

# PENGEMBANGAN MODEL PERBAIKAN DAN PENINGKATAN KEKUATAN STRUKTUR SAMBUNGAN BALOK-KOLOM PADA BANGUNAN PASCA GEMPA

Sri Murni Dewi<sup>1</sup>, Wisnumurti<sup>2</sup>, Ari Wibowo<sup>3</sup>, Adi Susetyo Dermawan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dosen, Prodi Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

<sup>2</sup>Dosen, Prodi Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

<sup>3</sup>Dosen, Prodi Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

<sup>4</sup>Dosen, Prodi Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Ahnad Yani.

Korespondensi: srimurnid@ub.ac.id

## ABSTRACT

This paper presents an experimental study on repairing damaged beam-column reinforced concrete joints using carbon fiber-reinforced polymer (CFRP). The test objects were in the shape of the letter T, representing the beam-column connection. The test object came from previous research, which had been a failure. The retrofitted action includes strengthening the column position, injection with concrete glue, and adding CFRP. Two kinds of CFRP were used, CFRP sheets (EB) and CFRP strips (NSM). The concrete's integrity after injection was tested with Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). The retrofitted specimens were tested in the loading frame to occur strength, stiffness, and ductility for each retrofitted action. Three tests were held, bending in one direction, shearing in one direction, and quasi-cyclic bending. The selection test adjusted to the damage history of the specimen.

**Keyword:** Beam-column Joint, Retrofit, FRP, quasi cyclic bending.

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan aktivitas kegempaan yang sangat tinggi. Rentang waktu tahun 1900–2019 tercatat telah terjadi > 52.000 kejadian gempa dengan magnituda  $M > 5,0$ SR [1] termasuk terbaru di Lombok dan di Palu yang mengakibatkan kerugian materi maupun korban jiwa. Gempa di Lombok mengakibatkan 555 orang meninggal dan 80.588 rumah rusak, dan Gempa Palu yang meninggal 925 orang dan 65.733 rumah rusak [2]. Kerusakan fatal gedung bertingkat terjadi pada sambungan balok-kolom (SBK) yang mengalami gaya geser besar selama kejadian gempa. Kegagalan sambungan didominasi oleh lepasnya tulangan longitudinal dan deformasi geser sambungan [3], serta retak yang mengurangi keutuhan beton.

Merobohkan bangunan adalah pilihan terakhir jika perbaikan tidak bisa dilakukan atau perbaikan berbiaya besar. Untuk ini perlu diamati tingkat kerusakan pada sambungan dengan

peralatan ultrasonic untuk melihat keadaan tulangan dan keutuhan beton dengan memakai teknik *forensic engineering* dengan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) serta pengecekan lebar retakan permukaan dengan mikroskop. Jika keadaan tulangan masih baik maka tindakan perlu adalah mengembalikan keutuhan beton. Metode yang sering dipakai adalah metode injeksi dengan penambahan kekuatan pada permukaan.

Studi ini berhubungan dengan perbaikan keutuhan beton dengan injeksi serta perbaikan sambungan dengan penguatan luar berupa *Carbon fiber reinforced polymer* (CFRP). Dua macam bentuk GFRP dicoba untuk dipakai yaitu berupa lembaran lentur dan berupa plat kaku.

## TINJAUAN PUSTAKA

Sambungan di dalam perencanaan elemen pracetak disamping sebagai penghubung antar elemen pracetak juga berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang bekerja dari elemen struktur yang satu dengan

elemen struktur yang lain yang nantinya akan diteruskan ke pondasi. Pada tahun 2012 telah diberlakukan SNI 7833-2012 tentang tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung [4]. Sambungan merupakan bagian struktur pracetak dengan sistem non monolit yang paling penting dalam mentransfer gaya dan berperilaku sebagai penghubung disipasi energi. Desain sambungan yang dipakai dalam pelaksanaan metode ini adalah sambungan basah dan sambungan kering.

Desain untuk sambungan beton bertulang dalam peraturan gempa terbaru difokuskan untuk memastikan bahwa kapasitas sambungan lebih besar daripada bagian terlemah yang ada di dalamnya dan bahwa kapasitas menahan beban dari kolom tidak berkurang oleh potensi degradasi kekuatan dari inti sambungan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan eksperimen pada sambungan balok dan kolom untuk beban bolak balik dengan hasil bahwa ada tiga faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan SBK yaitu tulangan utama balok, kuat lekat tulangan baja dan kuat geser pada joint [5]. Penelitian mengenai perilaku SBK yang terkena gempa memiliki dampak besar pada respon struktur dan menghasilkan dua model perkuatan geser. Hasil penelitian Parvin, dkk. (2017) [6] menggunakan CFRP *wrap* dan strip pada SBK model T (dimensi yang sama) dengan 2 (dua) model retrofit *wrap* dan baja sehingga meningkatkan kapasitas geser sambungan. Hasil penelitian De Vita, dkk. (2017) [7] meneliti SBK dengan model *wrap* FRP tegak lurus dan plat baja sebagai angkur sehingga mencapai kekuatan geser yang lebih tinggi. Penguatan geser sambungan eksterior dan uji siklik pada 12 (dua belas) spesimen yang diperkuat dengan CFRP *wrap* tegak lurus sumbu dan bentuk-U dilakukan oleh Karayannis, dkk (2008) [8]. Selain itu, penelitian mengenai pemasangan *wrap* FRP oleh Le-Trung, dkk. (2010) [9], Hadi dan Tran (2014) [10], Beydokhti, dkk. (2016) [11], Javanmardi, dkk. (2017) [12], Rante, dkk. (2017) [13]. Penelitian tentang NSM dilakukan oleh Mario Coelho, dkk. (2017) [14] dan MA. Akter Hosen, dkk. (2018) [15].

## METODE PENELITIAN

Benda uji yang dipakai berupa sambungan balok kolom berbentuk huruf T yang sebelumnya sudah dibebani sampai runtuh pada peneletian sebelumnya. Foto benda uji kerusakan awal dapat dilihat pada **Gambar 1**. Ada tiga macam kerusakan benda uji yaitu:

1. Kerusakan lentur satu sisi akibat beban monotonik.
2. Kerusakan geser akibat beban monotonik
3. Kerusakan lentur dua sisi akibat beban siklik.



**Gambar 1** Benda uji rusak awal

Dari uji ultrasonik tampak kerusakan terjadi berupa retak beton dan leleh baja. Program perbaikan yang dilakukan adalah:

1. meluruskan posisi balok dengan memberi beban.
2. memberi injeksi pada beton sampai keutuhan kembali normal dan uji ultrasonic menunjukkan kepadatan cukup.
3. Memperkuat sambungan dengan lapisan CFRP untuk sebagian benda uji.

Benda uji yang telah diinjeksi dan yang diberi perkuatan dibebani kembali sesuai dengan bentuk kerusakan awal yaitu, lentur monotonik, geser monotonik dan lentur siklik. Dengan demikian terdapat 48 benda uji dengan masing2 18 benda uji lentur satu sisi, 18 benda uji geser dan 12 benda uji lentur dua sisi akibat beban siklik. Untuk 18 benda uji lentur satu sisi, 6 benda uji diperbaiki hanya dengan injeksi, 6 benda uji diperbaiki dengan injeksi dan lapisan CFRP lentur, dan 6 benda uji dengan perbaikan injeksi dan perkuatan CFRP plat kaku.

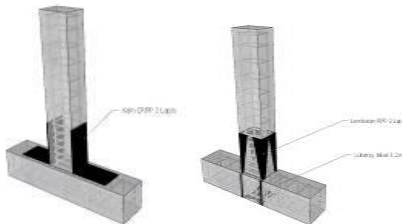
Untuk 18 benda uji geser, 6 benda uji diperbaiki hanya dengan injeksi, 6 benda uji diperbaiki dengan injeksi dan lapisan CFRP lentur, dan 6 benda uji dengan perbaikan injeksi dan perkuatan CFRP plat kaku.

Untuk 12 benda uji lentur satu sisi, 6 benda uji diperbaiki dengan injeksi dan lapisan CFRP lentur, dan 6 benda uji dengan perbaikan injeksi dan perkuatan CFRP plat kaku.

### Pemasangan CFRP lembaran lentur

Langkah yang dilakukan adalah:

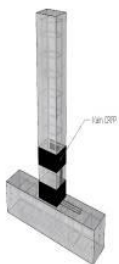
1. Haluskan permukaan dengan mesin gerinda.
2. Buat empat alur pada kolom untuk posisi lilitan.
3. Pasang dua lembar CFRP pada balok dan pada kolom dililitkan agar bisa masuk pada alur yang tersedia, seperti pada Gambar-2
4. Silangkan CFRP pada kolom menuju seberang balok, dililit dan dimasukkan pada alur disisi seberang kolom, seperti pada Gambar-3
5. Setelah masuk alur lilitan dibuka dan direkat pada balok
6. Lembaran CFRP selebar 10 cm dililitkan pada balok tiga kali pada dua tempat, seperti pada Gambar-4



**Gambar 2** Pemasangan CFRP pada balok



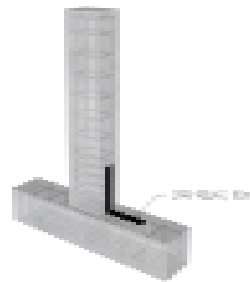
**Gambar 3** CFRP pada kolom



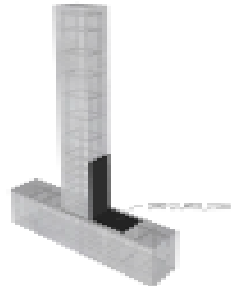
**Gambar 4** Lapis penguat CFRP

### Pemasangan CFRP dengan plat kaku

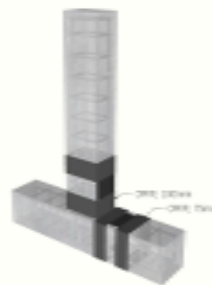
1. Buat alur sedalam 5mm lebar 3mm pada balok menyambung ke kolom. panjang 20 cm pada balok dan 25 cm pada kolom.
2. Pasang plat CFRP kakulebar 16 mm pada balok panjang 20 cm dan pada kolom panjang 25 cm, seperti tampak pada **Gambar 5**.
3. diatas CFRP tertanam pasang lagi CFRP dengan lebar 50 mm seperti pada **Gambar 6**.
4. pasang pengikat berupa CFRP lembaran dililitkan pada kolom dan balok pada dua tempat seperti tampak pada **Gambar 7**.



**Gambar 5** CFRP Plat



**Gambar 6** Lapis ke-2 CFRP Plat



**Gambar 7** Penguatan CFRP Plat dengan CFRP lentur

### Pengujian Lentur Satu Sisi

Untuk uji lentur satu sisi, benda uji diletakkan pada Rangka Uji dan diberi beban horizontal satu sisi pada ketinggian 100 cm agar momen lentur

lebih dominan dari gaya lintang. Pengukuran lenturan dengan LVDT pada jarak 10 cm dan 100 cm dari kolom. Posisi uji dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Posisi uji lentur

### Pengujian Geser

Untuk uji geser, benda uji diletakkan pada Rangka Uji dan diberi beban horizontal satu sisi pada ketinggian 50 cm agar gaya lintang lebih dominan. Pengukuran simpangan pada jarak 10 cm dan 100 cm dari kolom. Posisi uji dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Posisi piston uji Geser

### Pengujian Lentur Siklik

Pada pengujian lentur siklik digunakan dua piston sebelah kiri dan sebelah kanan pada

ketinggian 100 cm dari kolom. Beban piston diberikan bergantian sesuai taraf uji siklik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil U Lentur Satu Sisi

#### 4.1.1 Benda Uji Retrovit Injeksi (Model-1)

No.	P maks kg	Lenturan P maks mm	
		100cm	10 cm
<b>a</b>	1.695	33,45	5,25
<b>b</b>	1.615	33,69	8,42
<b>c</b>	1.398	27,87	5,40
<b>d</b>	1.350	24,81	5,85
<b>e</b>	1.446	33,5	6,34
<b>f</b>	1.448	19,1	7,40
<b>Rata2 dev</b>	1.492 47		

#### 4.1.2 Benda Uji Retrovit Injeksi dan CFRP Lentur (Model-2)

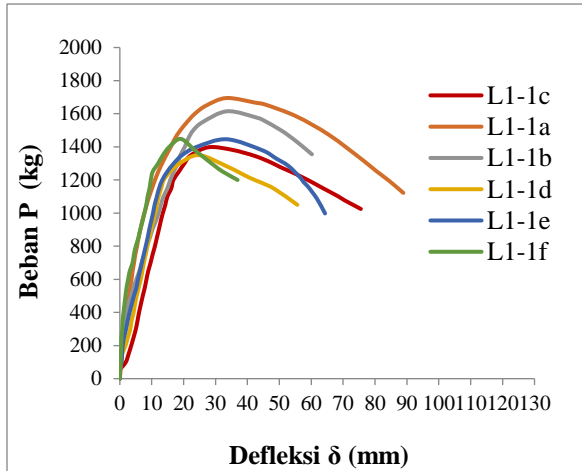
No	P maks kg	Lenturan P maks mm	
		100cm	10 cm
<b>a</b>	1.948	67,52	4,8
<b>b</b>	1.585	64,79	6,78
<b>c</b>	1.586	55,88	3,8
<b>d</b>	1.698	57,3	5,16
<b>e</b>	1.445	66,61	6,66
<b>f</b>	1.395	80,26	10,82
<b>Rata2 dev</b>	1.609 198		

#### 4.1.3 Benda Uji Retrovit Injeksi dan CFRP Plat Kaku (Model-3)

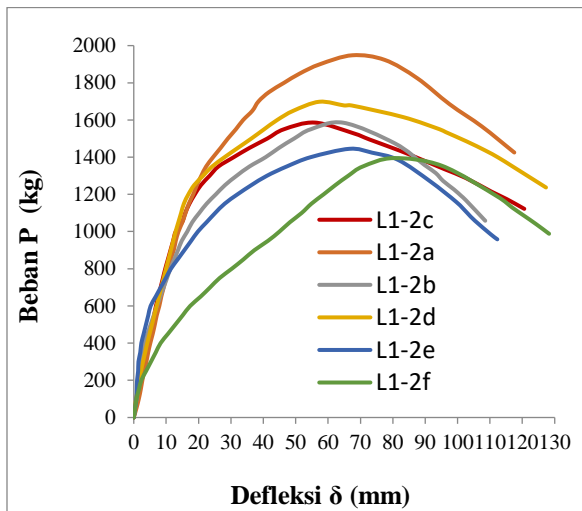
No	P maks kg	Lenturan P maks mm	
		100cm	10 cm
<b>a</b>	1.845	63,41	5,5
<b>b</b>	2.083	59,6	12,22
<b>c</b>	1.684	65,16	6,9
<b>d</b>	1.748	79,22	6,75
<b>e</b>	1.589	107,75	12,68
<b>f</b>	1.689	57,18	11,37
<b>Rata2 dev</b>	1.773 56		

Terdapat pengaruh CFRP terhadap daya dukung lentur satu sisi dibandingkan tanpa perkuatan. Sedangkan pengaruh dua tipe CFRP tidak berbeda signifikan. Deviasi Model-2 cukup besar karena dua benda uji (e dan f) mengalami kerusakan tulangan. Jika dua benda uji ini diabaikan maka rerata Model-2 adalah 1.704 tidak berbeda dengan Model-3

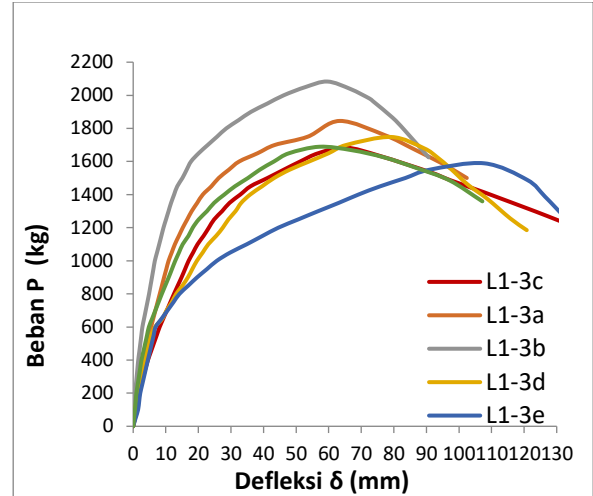
#### 4.1.4 Kurva Lentur pada 100cm



Gambar 10 Kurva Lentur Model-1



Gambar 11 Kurva Lentur Model-2



Gambar 12 Kurva Lentur Model-3

#### 4.2 Hasil Uji Geser

##### 4.2-1 Benda uji retrovit injeksi saja (Model-1)

No.	P maks kg	Lenturan P maks mm	
		100cm	10 cm
<b>a</b>	3.785	64,63	14,72
<b>b</b>	3.100	25,53	7,86
<b>c</b>	3.250	39,53	13,91
<b>e</b>	3.650	44,61	11,13
<b>f</b>	2.350	45,98	10,83
<b>g</b>	2.750	58,25	11,12
<b>Rata2</b>	3.148		
<b>dev</b>	247		

##### 4.2.2 Benda uji retrovit injeksi dan CFRP lentur (Model-2)

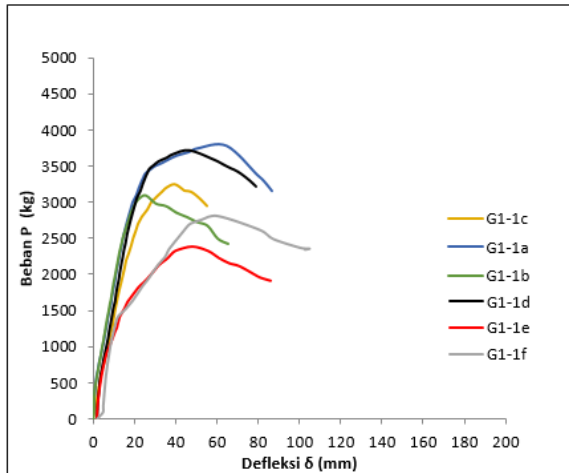
No.	P maks kg	Lenturan P maks mm	
		100cm	10 cm
<b>a</b>	3.842	67,52	4,80
<b>b</b>	4.163	164,06	16,52
<b>c</b>	3.000	111,62	15,2
<b>d</b>	3.800	80,40	6,74
<b>e</b>	3.995	169,96	20,98
<b>f</b>	3.410	114,88	11,92
<b>Rata2</b>	3.702		
<b>dev</b>	190		

### 4.2.3 Benda Uji Retrovit Injeksi dan CFRP Plat Kaku (Model-3)

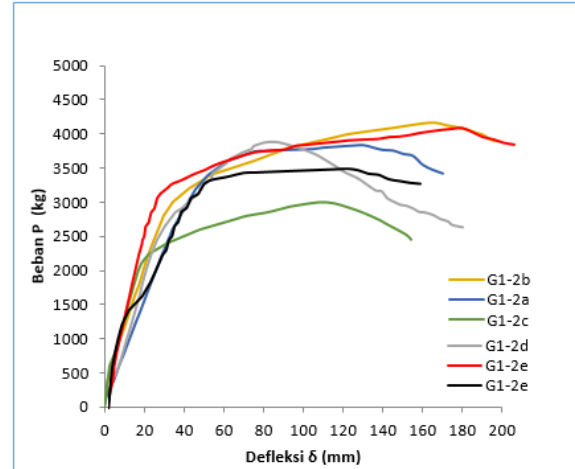
No.	P maks kg	Lenturan P maks mm	
		100cm	10 cm
<b>a</b>	3.550	63,41	5,5
<b>b</b>	3.250	95,34	9,9
<b>c</b>	5.000	132,04	13,87
<b>d</b>	2.350	41,22	3,78
<b>e</b>	3.650	148,13	17,92
<b>f</b>	4.035	80,43	8,32
<b>Rata2 dev</b>	3.639 391		

Terdapat pengaruh CFRP terhadap daya dukung geser dibandingkan tanpa perkuatan. Sedangkan pengaruh dua tipe CFRP tidak berbeda signifikan.

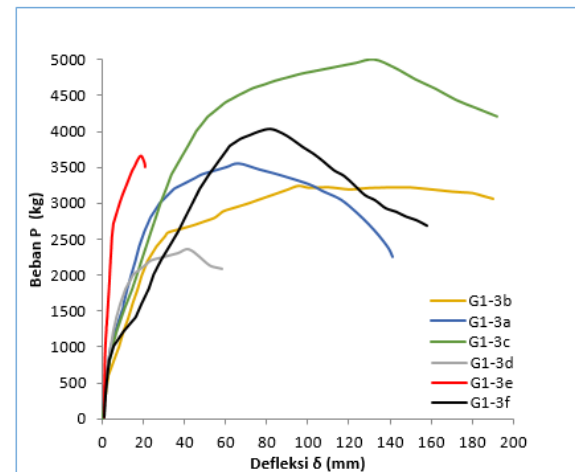
### 4.2.4 Kurva Geser pada 100 cm



Gambar 13 Kurva Geser Model-1



Gambar 14 Kurva geser model-2



Gambar 15 Kurva Geser Model-3

## 4.3 Hasil Uj Lentur Siklik

### 4.3.1 Benda uji retrovit injeksi dan CFRP lentur (Model-2)

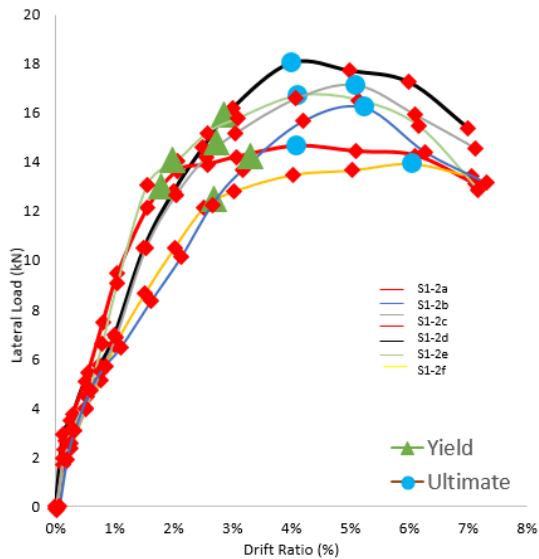
No.	P maks kN	Drift rasio %	
		leleh	ultimate
<b>a</b>	12.75	1.73	4.0
<b>b</b>	12.74	2.0	4.0
<b>c</b>	14.17	1.7	5.0
<b>d</b>	15.4	3.0	4.0
<b>e</b>	12.64	2.0	4.0
<b>f</b>	11,78	3.0	6.0
<b>Rata2</b>	13.24		

### 4.3.2 Benda uji retrovit injeksi dan CFRP plat kaku (Model-3)

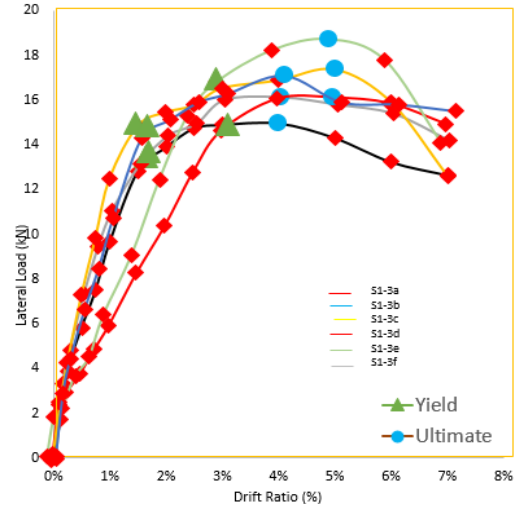
No.	P maks kN	Drift rasio %	
		leleh	ultimate
a	14.22	1.64	4.0
b	15.45	1.6	4.0
c	12.41	1.47	5.0
d	13.65	2.0	4.0
e	14.02	3.0	5.0
f	9.27	3.0	6.0
<b>Rata2</b>	13.17		

Tidak terdapat perbedaan signifikan antara dua tipe CFRP

### 4.3.3 Kurva siklik pada 100 cm



Gambar 16 Kurva siklik model-2



Gambar 17 Kurva siklik model-3

### KESIMPULAN DAN SARAN

Beberapa kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Pada uji lentur satu sisi telah diuji tiga model perbaikan. Kuat lentur rata-rata model-1 adalah 14.92 kN. Kuat lentur rata-rata model-2 adalah 16.09 kN dan kuat lentur rata-rata model-3 adalah 17.73 kN.
2. Pada uji geser juga diuji tiga model perbaikan dengan kuat geser model-1 sebesar 31.48 kN, model-2 sebesar 37.02 kN dan model-3 sebesar 36.39 kN.
3. Pada uji lentur siklik hanya diuji perbaikan model 2 dengan rata-rata 13.24 kN dan model-3 dengan rata-rata 13.17 kN.
4. Penambahan CFRP pada perbaikan yaitu model-2 dan model-3 dapat menambah kekuatan lentur dan geser jika dibandingkan perbaikan injeksi saja pada model-1.
5. Tidak ada perbedaan berarti antara model-2 dan model-3, baik pada uji lentur satu sisi, uji geser, dan uji siklik.
6. Penambahan FRP menambah daktilitas sambungan.
7. Pengujian dilakukan sesuai dengan kerusakan awal sebelum perbaikan, jadi yang retak geser diuji geser dan yang retak lentur satu sisi diuji lentur monotonic dan yang retak lentur dua sisi diuji dengan lentur siklik/berulang.

8. Karena keterbatasan waktu dan biaya, belum dilakukan pengujian silang yaitu kerusakan awal geser diuji lentur dan sebaliknya.
9. Kekurangan lain adalah pada retrovit model-1 hanya dilakukan pelurusan tulangan dan perbaikan beton tidak ada tindakan perbaikan baja, sehingga didapat variasi besar pada kelompok model-2 karena dari sejarahnya terdapat benda uji yang putus tulangan. Hal ini akan menjadi saran agar perbaikan tidak berfokus hanya pada perbaikan beton.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dilaksanakan dengan bantuan dana dari Kementerian Pendidikan Kebudayaan Riset dan Teknologi melalui Hibah Penelitian Disertasi Doktor tahun 2020 dan 2021, untuk itu disampaikan terimakasih.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asrurifak, M., 2010. *Development of spectral Hazard Map for Indonesia with a Return Period Of 2500 years using probabilistic Method.* Jurnal Civil Engineering Dimension, Vol. 12 No. 1 Maret 2010, ISSN1410-9530. 52-62.
- [2] Berita harian Kompas. 2018. <https://regional.kompas.com/read/2018/08/24/10231051/gempa-lombok-555-korban-meninggal-390529-mengungsi>.
- [3] Akguzel,U., and Pampanin, S. (2007). *Seismic Response of RC Beam-Column Joints Upgraded with FRP Sheets. II: Analysis and Parametric Study.* ASCE, Journal of Composites for Construction, Vol. 11, No 6, pp. 590-600.
- [4] SNI 7833. 2012. Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Prategang Untuk Bangunan Gedung, BSN, Jakarta.
- [5] Tsonos A-DG. 2004. *Improvement of the Earthquake Resistance of R/C Beam-Column Joints Under the Influence of P-D Effect and Axial Force Variations Using Inclined Bars.* Struct Eng Mech 2004;18(4): 389–410.
- [6] Parvin, A., Altay, S., Yalcin , C., and Kaya, O. 2010. *CFRP Rehabilitation of Concrete Frame Joints with Inadequate Shear and Anchorage Details.* Journal Composite Construction 2010;14 (1):72–82.
- [7] De Vita, A., Napoli, A., and Realfonzo, R. 2017. *Full Scale Reinforced Concrete Beam-Column Joints Strengthened with Steel Reinforced Polymer Systems.* Frontiers in Materials, (4): 1-17.
- [8] Karayannis, C. G. and Sirkelis, G. M. 2008. *Strengthening and Rehabilitation of RC Beam–Column Joints Using Carbon-FRP Jacketing and Epoxy Resin Injection,* Earthquake Eng. Struct. Dyn., 37(5), 769–790.
- [9] Le-Trung, K., Lee, K., Lee, J., Lee, D. H., and Woo, S. 2010. *Experimental Study of RC Beam–Column Joints Strengthened Using CFRP Composites.* Composites Part B:Engineering, 41(1), 76–85.
- [10] Hadi, M. N. S., and Tran, T. M. 2014. *Retrofitting Nonseismically Detailed Exterior Beam–Column Joints Using Concrete Covers Together with CFRP Jacket.* Construction and Building Materials, 63, 161–173.
- [11] Beydokhti, E. Z., and Shariatmadar, H. 2016. *Strengthening and Rehabilitation of Exterior RC Beam–Column Joints Using Carbon-FRP Jacketing.* Materials and Structures, 1–17.
- [12] Javanmardi, M.R. and Mahmoud R.M. 2017. *Anisotropic Damage Plasticity Model for Concrete and its Use in Plastic Hinge Relocation in RC Frames with FRP.* The Institution of Structural Engineers, 1–40.
- [13] Rante, H., Parung, H., Victor, S., and Djamaluddin, R. 2017. *Experimental Study on Precast Beam-Column Joint Method using Fiber Reinforced Plastic Sheet (CFRPS).* International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 5 (2017) pp. 769-772.



- [14] Mario, C., Luis, N., and Jose, S. C. 2017. *Designing NSM FRP Systems in Concrete Using Partial Safety Factors*. Jurnal Composite 1-57.
- [15] Hosen, M.A., Jumaat, M. Z., Alengaram, J., Sulong, R.N.H. 2018. *CFRP Strips for Enhancing Flexural Performance of RC Beams by SNSM Strengthening Technique*. Construction & Building Material pp.28-4.