



Peningkatan Kekuatan Struktur Eksisting dengan Penguatan Struktur Menggunakan CFRP & Concrete Jacketing

Finantika Sekar Asmara^{*1}, Muhamad Ziddan², dan Anis Rosyidah³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus Baru UI Depok, Jawa Barat – 16424

E-mail: ^{*1}finansekar@gmail.com, ²muhammadziddan134@gmail.com dan ³anis.rosyidah@sipil.pnj.ac.id

Abstrak

Terdapat bangunan gedung yang tidak didesain dengan kaidah-kaidah perancangan struktur. Kontraktor lebih sering menggunakan bekal pengalaman yang mereka miliki untuk menentukan dimensi struktur bangunan. Bangunan yang didesain tidak sesuai dengan kaidah-kaidah perancangan struktur akan mengakibatkan dampak yang fatal. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kekuatan kapasitas komponen struktur bangunan eksisting setelah penambahan beban gempa dan menentukan metode penguatan struktur yang tepat. Penelitian dilakukan dengan menganalisis bangunan eksisting dengan penambahan beban gempa. Penguatan struktur diperlukan dengan membandingkan kekuatan eksisting dengan kekuatan rencana, metode penguatan struktur yang digunakan adalah carbon fiber reinforced polymer (CFRP) dan concrete jacketing dengan memperhatikan faktor keefektifan dan kondisi bangunan eksisting. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur kolom kuat dalam menerima beban yang bekerja. Struktur balok memerlukan penguatan struktur sebab kekuatan nominal balok eksisting kurang dari kekuatan rencananya. Balok eksisting memerlukan tambahan kekuatan geser dan lentur rata-rata sebesar 76,90% dan 90,92%. Hasil penelitian juga menunjukkan kekuatan momen balok setelah diberi penguatan naik sebesar 202,82% dan 265,65% untuk masing-masing metode. Kekuatan geser balok setelah diberi penguatan naik sebesar 352,78% dan 381,65% untuk masing-masing metode.

Kata kunci: penguatan struktur eksisting, beban gempa, CFRP, concrete jacketing

Abstract

Some building is not designed with structural design rules. Contractors often use their experience to determine the dimensions of building structures. Buildings that are designed not by the rules of structural design will have a fatal impact. This study aims to calculate the capacity of the existing structural components of the building capacity after addition of earthquake loads and determine the correct method of strengthening the structure. The study was conducted by analyzing existing buildings with the addition of earthquake loads. Strengthening the structure is needed by comparing the existing strength with the strength of the plan, the structural reinforcement method used is carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and concrete jacketing because those methods have merit to the effectiveness and conditions of the existing building. The results showed that the column structure was strong in accepting workloads. The beam structure requires strengthening the structure because the nominal strength of the existing beam is less than the strength of the plan. Existing beams require additional shear and flexural strength, averaging 76,90% and 90,92%. The results also showed the beam moment strength after being

given an increase of 202,82% and 265,65% for each method. The beam shear strength after being given an increase in strength of 352,78% and 411,66% for each method.

Keywords: strengthening existing structures, earthquake forces, CFRP, concrete jacketing

1. PENDAHULUAN

Terdapat bangunan gedung yang tidak didesain dengan kaidah-kaidah perancangan struktur. Pihak kontraktor lebih sering menggunakan bekal pengalaman yang mereka miliki untuk menentukan dimensi elemen struktur bangunan. Mereka beralasan bangunan yang pernah dibangun sebelumnya dengan dimensi yang sama tidak menimbulkan dampak kerusakan dan bertahan lama. Padahal, dengan membangun sesuai kaidah-kaidah persyaratan berstandar nasional, bangunan akan lebih terjamin dari segi keamanan, kenyamanan dan kekuatan.

Ada beberapa jenis metode penguatan struktur yang dapat digunakan, yaitu *fiber reinforced polymer* (FRP), *concrete jacketing*, *inject column*, dan *steel plate* [1], [2], [3]. Untuk mendapatkan hasil penguatan struktur yang tepat guna dan mencapai sasaran yang telah ditetapkan, maka diperlukan beberapa pertimbangan dalam melakukan penguatan dengan melalui tahapan investigasi, analisis dan evaluasi serta kontrol pelaksanaan [4], [5].

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, perbaikan struktur pada tahap *ultimate* dengan menggunakan jacketing dengan bahan ferosemen dapat meningkatkan kapasitas beban *ultimate* sebesar 91,667%, 81,818%, dan 28,571% [6], [7].

2. METODE PENELITIAN

Data umum yang digunakan adalah gambar *as built drawing*, hasil pengujian *hammer test* dan data teknis eksisting struktur bangunan perkantoran.

2.1. Peraturan yang Digunakan

1. (SNI 1727, 2013) Tentang Beban Minimum Untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain [8].

2. (SNI 1726, 2012) Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung [9].
3. (SNI 03-2847, 2013) Tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung [10].
4. (ACI 440.2R, 2017) *Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures* [11].

2.2. Perhitungan Pembebanan

1. Beban Mati
Menghitung beban mati yang bekerja pada atap, pelat lantai, pelat tangga, balok, dan kolom. Beberapa unsur tambahan beban mati yang meliputi bahan bangunan dan komponen gedung antara lain [8].
2. Beban Hidup
Menghitung beban hidup yang bekerja pada pelat atap, pelat lantai, dan pelat tangga [8].
3. Beban Gempa
Adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu [9].

2.3. Penguatan Struktur

2.3.1 Concrete Jacketing

Penguatan *Concrete Jacketing* ini adalah pembesaran dimensi dengan melapisi beton lama dengan beton baru dan penambahan tulangan *longitudinal* maupun tulangan *transversal* pada elemen struktur untuk meningkatkan kinerja elemen tersebut [12], [3]. Ada beberapa kerugian dari penerapan metode *concrete jacketing*. Pertama, pada pelaksanaan pengeboran lubang elemen struktur eksisting dapat menyebabkan reduksi kekuatan pada penampang jika lebar pengeboran kecil dan beton tidak dalam kondisi bagus. Kedua, beton yang baru membutuhkan ikatan yang tepat untuk menempel pada beton yang lama, dan ketiga, penambahan beton

mengakibatkan penambahan ukuran dan berat dari penampang [13].

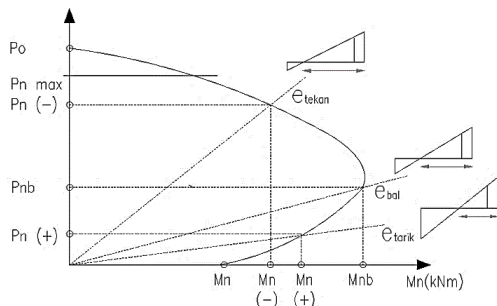
2.3.2 Carbon Fiber Reinforced Polymer

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) merupakan material komposit yang mengandung serat polimer resin dengan serat berkekuatan tinggi. CFRP sangat berguna untuk memperbaiki dan memperkuat komponen struktur agar kapasitas momen lentur dan geser meningkat [1], [13]. Penambahan CFRP pada komponen struktur dapat meningkatkan kapasitas geser dan lentur hingga mencapai 150% [4].

2.5 Kapasitas Komponen Struktur

2.5.1 Kolom

Untuk mengetahui kapasitas kekuatan pada kolom, dibutuhkan diagram interaksi P-M yang menunjukkan hubungan antara beban aksial dengan momen lentur pada penampang kolom secara jelas [14]. Diagram interaksi berguna untuk mendesain kolom-kolom dengan dimensi dan jumlah tulangan yang sama tiap lantai dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Diagram Interaksi P-M [14]

2.5.2 Balok

Analisis kekuatan lentur dan geser pada balok dengan membandingkan nilai Momen *Ultimate* dengan Momen Nominal dan Geser *Ultimate* dengan Geser Nominal menggunakan pers (1) dan (2) [15].

$$Mu \leq \phi Mn \quad (1)$$

$$Vu \leq \phi Vn \quad (2)$$

Dalam pemilihan metode penguatan elemen struktur terdapat beberapa faktor yang menentukan. Hasil yang diharapkan dalam penerapan di lapangan kemudahan pengerjaan dan ekonomis. **Tabel 1**

menjabarkan kelebihan dari masing-masing metode.

Tabel 1 Kelebihan masing-masing metode penguatan

Faktor-Faktor	Concrete Jacketing	Fiber Reinforced Polymer (FRP)	Inject Column	Steel Plate
Meningkatkan kuat lentur	✓	✓	✓	✓
Meningkatkan kuat geser	✓	✓	✓	✓
Bahan mudah didapatkan	✓	✓	✓	
Mudah dikerjakan		✓		
Harga murah	✓			✓
Tidak perlu ruang kerja yang luas		✓		✓
Tahan api	✓		✓	
Kemudahan perawatan	✓	✓	✓	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Komponen Struktur Balok Eksisting

Kekuatan eksisting dihitung dengan data balok eksisting. Perhitungan kekuatan eksisting bertujuan untuk mendapatkan kuat nominal balok. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan pada dua kondisi yaitu, kekuatan eksisting dan kekuatan rencana. Perbandingan dilakukan untuk mendapatkan kekuatan sisa dan jenis metode penguatan yang dibutuhkan dapat dilihat pada **Tabel.2** menunjukkan perbandingan kekuatan momen *ultimate* dan momen nominal, sedangkan **Tabel. 3** menunjukkan perbandingan kekuatan geser *ultimate* dengan geser nominal.

Tabel 2 Perbandingan kekuatan momen *ultimate* dengan momen nominal

Kode	Lantai	Panjang	Tipe	Mu (kNm)		ϕMn (kNm)	Mu - ϕMn (kNm)	KET
				Tumpuan	Lapangan			
B56/E		2.6	B1	128.63	90.84	76.78	-51.85	Tidak Kuat
B27/4	1	4.85	B1	117.77	130.08	76.78	-53.3	Tidak Kuat
B52/D-E		4	B2	38.28	35.8	43,46	+5.18	OK
B60/D		2.2	B1	210.26	92.37	76.78	-133.48	Tidak Kuat
B27/4	2	4.85	B1	129.78	154.81	76.78	-78.03	Tidak Kuat
B69/C		4.85	B2	108.08	81.64	43,46	-64,62	Tidak Kuat

Sumber: Data Pribadi

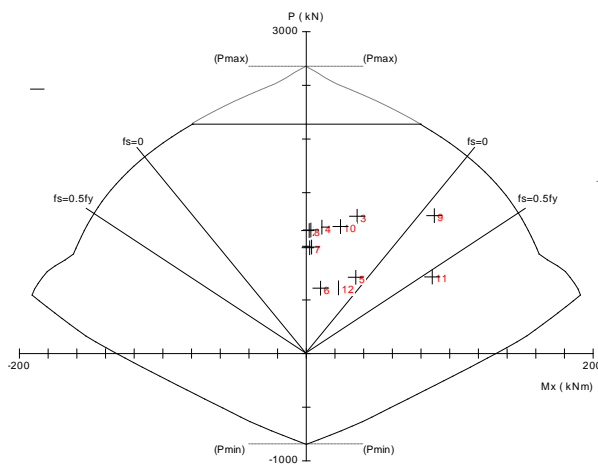
Tabel 3 Perbandingan kekuatan geser ultimate dengan geser nominal

Kode	Lantai	Panjang	Tipe	Vu (kNm)	ϕVn (kNm)	Vu - ϕVn (kNm)	KET
B56/E		2.6	B1	84.53	55.42	-29.11	Tidak Kuat
B27/4	1	4.85	B1	115.78	55.42	-60.36	Tidak Kuat
B52/D-E		4	B2	101.46	34.21	-67.25	Tidak Kuat
B60/D		2.2	B1	93.95	55.42	-38.53	Tidak Kuat
B27/4	2	4.85	B1	130.38	55.42	-74.96	Tidak Kuat
B69/C		4.85	B2	55.00	34.21	-19.89	Tidak Kuat
B8/2		4.85	B1	107.03	55.42	-51.61	Tidak Kuat
B73/E	3	2.2	B1	127.00	55.42	-71.58	Tidak Kuat
B69/C		2.4	B2	66.70	34.21	-20.79	Tidak Kuat

Sumber: Data Pribadi

3.2 Komponen Struktur Kolom Eksisting

Kolom dilakukan analisis dari segi kapasitas tekan (Pn), momen (Mn), dan geser (Vs). Analisis kekuatan kolom dapat dilihat dari diagram interaksi P-M masing-masing tipe kolom. Diagram interaksi P-M dibuat menggunakan program SP Column. Semua jenis Kombinasi beban yang bekerja (ETABS) pada kolom tiap lantai di plot ke dalam diagram interaksi. Hal ini menunjukkan parameter kekuatan kolom yang menerima beban yang bekerja dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 4.



Gambar 3. Diagram Interaksi P-M
Sumber: Data Pribadi

Tabel 4 Rekapitulasi Diagram Interaksi P-M

Lantai	Tipe Kolom	Dimensi (mm)	KET
1	K1	400 x 400	OK
	K2	200 x 400	OK
2	K1	400 x 400	OK
	K2	200 x 400	OK
3	K1	400 x 400	OK
	K2	200 x 400	OK
4	K1	400 x 400	OK
	K2	200 x 400	OK

Sumber: Data Pribadi

3.3 Perancangan Penguatan Struktur

3.3.1 Metode Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

Metode ini dapat meningkatkan kekuatan momen dan geser pada balok. Oleh karena ini metode ini digunakan untuk tipe balok yang membutuhkan penambahan kekuatan momen dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6. dan geser yang dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 5 Momen Nominal Balok Setelah Diberi Penguat CFRP

Lantai	Balok	Panjang (m)	Momen Rencana Mu (kNm)	CFRP ϕMn (kNm)	KET
1	B27/4-B1	4.85	130.08	149.21	OK
	B27/4-B1	4.85	154.80	163.30	OK
2	B69/C-B2	2	108.08	124.19	OK
	B8/2-B1	4.85	131.62	149.37	OK
3	B69/C-B2	2.4	70.34	107.48	OK
	B8/2-B1	4.85	108.97	129.12	OK
4	B68/D-E-B2	2.4	70.34	107.48	OK
	B61/E-B1	2.6	89.59	129.12	OK
	B27/4-B1	4.85	100.601	129.12	OK
Atap	B27/4-B1	4.85	100.601	129.12	OK
	B68/D-E-B2	2.4	75.68	107.48	OK

Sumber: Data Pribadi

Tabel 6 Rekapitulasi Penguatan Momen Nominal Balok menggunakan CFRP

Balok	CFRP	Profil Penampang		Tul. Atas	Tul. Tengah	Tul. Bawah	Tul. Senggang
		Tumpuan	Lapangan				
Lt.1 B27/4-B1	2 lapis			3D16	2D16	3D16	Ø10-100
Lt.2 B27/4-B1	3 lapis			3D16	2D16	3D16	Ø10-100

Sumber: Data Pribadi

Tabel 7 Geser Nominal Balok Setelah Diberi Penguat CFRP

Lantai	Balok	Panjang (m)	Geser Rencana	FRP	KET
			Vu (kN)	ϕV_n (kN)	
1	B27/4-B1	4.85	115.78	196.86	OK
	B27/4-B1	4.85	130.38	196.86	OK
2	B69/C-B2	2	54.10	118.66	OK
	B8/2-B1	4.85	107.03	196.86	OK
3	B69/C-B2	2.4	55.00	118.66	OK
	B8/2-B1	4.85	90.30	196.86	OK
4	B68/D-E-B2	2.4	87.97	118.66	OK
	B61/E-B1	2.6	69.97	196.86	OK
Atap	B27/4-B1	4.85	90.82	196.86	OK
	B68/D-E-B2	2.4	57.14	118.66	OK

Sumber: Data Pribadi

Tabel 8 Rekapitulasi Penguatan Geser Nominal Balok menggunakan CFRP

Balok	CFRP	Profil Penampang		Tul. Atas	Tul. Tengah	Tul. Bawah	Tul. Senggang
		Tumpuan	Lapangan				
Lt.1 B27/4-B1	1 lapis			3D16	2D16	3D16	Ø10-100
				3D16	2D16	3D16	Ø10-100

Sumber: Data Pribadi

b. Metode *Concrete Jacketing*

Metode ini digunakan untuk balok jenis kantilever yang menerima momen *ultimate* paling besar tiap lantai. **Tabel 9** merupakan hasil rekapitulasi perhitungan kekuatan momen balok setelah diberi penguat dengan metode *concrete jacketing*, sedangkan **Tabel 10** merupakan hasil rekapitulasi perhitungan kekuatan geser balok setelah diberi penguat dengan metode *concrete jacketing*. Perubahan penampang dan tulangan setelah diberi penguat *concrete jacketing* dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 9 Momen Nominal Balok Setelah Diberi Penguat *Concrete Jacketing*

Lantai	Balok	Panjang (m)	Momen Rencana	Concrete Jacketing	KET
			Mu (kNm)	ϕM_n (kNm)	
1	B56/E - B1	2.6	128.63	161.62	OK
2	B60/D - B1	2.2	210.26	217.68	OK
3	B73/E - B1	2.2	197.88	217.68	OK
4	B81/D - B1	2.4	191.38	217.68	OK

Sumber: Data Pribadi

Tabel 10 Geser Nominal Balok Setelah Diberi Penguat *Concrete Jacketing*

Lantai	Balok	Panjang (m)	Geser Rencana	Concrete Jacketing	KET
			Vu (kNm)	ϕV_n (kN)	
1	B56/E - B1	2.6	84.53	184.40	OK
2	B60/D - B1	2.2	115.78	247.76	OK
3	B73/E - B1	2.2	101.46	247.76	OK
4	B81/D - B1	2.4	93.95	232.64	OK

Sumber: Data Pribadi

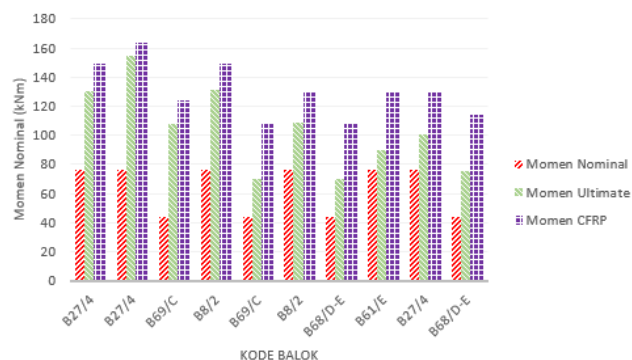
Tabel 11 Rekapitulasi Penguatan Momen Nominal Balok menggunakan CFRP

Balok	B56/E		B60/D, B73/E, B81/D	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Profil Penampang				
Dimensi (mm)	300x500	300x500	300x500	300x500
Tul. Atas	3D16 + 4D19	3D16 + 2D19	3D16 + 6D19	3D16 + 2D19
Tul. Tengah	2D16	2D16	2D16	2D16
Tul. Bawah	3D16 + 2D19	3D16 + 2D19	3D16 + 2D19	3D16 + 2D19
Tul. Senggang	Ø10-60	Ø10-60	Ø10-60	Ø10-60

Sumber: Data Pribadi

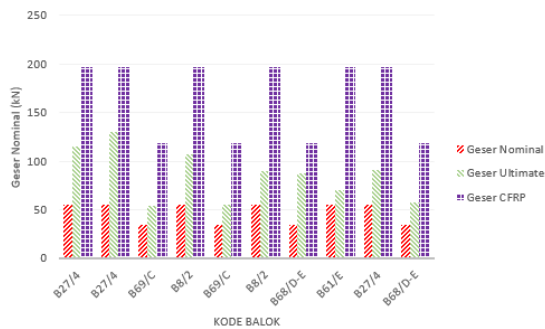
3.4 *Pembandingan Kekuatan Struktur*

Pembandingan kekuatan struktur dilakukan dalam tiga kondisi, yaitu kondisi eksisting, kondisi ultimate, dan kondisi setelah diberi penguat yang dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5** untuk penguatan struktur dengan metode CFRP, sedangkan **Gambar 6** dan **Gambar 7** untuk penguatan struktur dengan metode *Concrete Jacketing*.

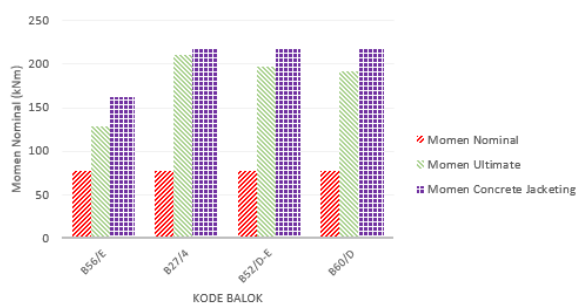


Gambar 4 *Pembandingan Penguatan Momen dengan CFRP*

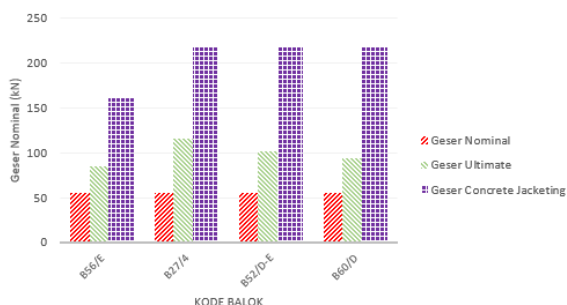
Sumber: Data Pribadi



Gambar 5 Perbandingan Penguatan Geser dengan CFRP
Sumber: Data Pribadi



Gambar 6 Perbandingan Penguatan Momen Nominal dengan Concrete Jacketing
Sumber: Data Pribadi



Gambar 7 Perbandingan Penguatan Geser Nominal dengan Concrete Jacketing
Sumber: Data Pribadi

4. KESIMPULAN

Hasil analisis elemen struktur eksisting:

- Kekurangan rata-rata momen dari setiap tipe balok sebesar 76,90%.
- Kekurangan rata-rata geser dari setiap tipe balok sebesar 90,92%.
- Balok dengan kode B27/4, B69/C, B8/2, B68/D-E, dan B61/E dipenguat dengan metode *fiber reinforced polymer*, karena memperhatikan faktor kondisi eksisting

bangunan Perkantoran dan kemudahan dalam pelaksanaannya.

- Balok jenis kantilever yang mendapatkan momen *ultimate* terbesar perwakilan tiap lantai akan di penguat dengan *concrete Jacketing*.

Hasil analisis elemen struktur setelah diberi penguatan

- Kekuatan momen nominal naik rata-rata menjadi 202,82% setelah balok diberi penguatan dengan *carbon fiber reinforced polymer*.
- Kekuatan geser nominal naik rata-rata menjadi 352,78% setelah balok diberi penguatan dengan *carbon fiber reinforced polymer*.
- Kekuatan momen nominal rata-rata naik menjadi 265,65% setelah balok jenis kantilever diberi penguatan dengan *concrete jacketing*.
- Kekuatan geser nominal rata-rata naik menjadi 411,66% setelah balok jenis kantilever diberi penguatan dengan *concrete jacketing*.
- Penguatan metode *Concrete Jacketing* digunakan untuk penguatan balok jenis kantilever karena kekuatan *ultimate* yang diterima terlalu besar hampir 2-3 kali lipat kekuatan nominal eksisting. Oleh karena itu tidak memungkinkan untuk dipenguat dengan *fiber reinforced polymer*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada teman dan dosen Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberi memberi kesempatan, sehingga artikel ilmiah ini dapat diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Taljsten, "Strengthening Concrete Beams for Shear with CFRP Sheets," *Constr. Build. Mater.*, vol. 17, pp. 15–26, 2003.
- [2] A. Rosyidah, D. Wiratenaya, and A. Pattisia, "Perkuatan Struktur pada Bangunan Rumah Tinggal 3 Lantai," *Politeknologi*, vol. 9, no. 1,

- pp. 8–21, 2010.
- [3] A. Rosyidah, Rinawati, D. Wiratenaya, and A. Pattisia, “Perkuatan Struktur pada Bangunan Rumah Tinggal 3 Lantai,” *Politeknologi*, vol. 9, no. 1, pp. 8–21, 2010.
- [4] Tavio, R. Purwono, and A. Rosyidah, “Peningkatan Daya Dukung dan Daktilitas Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Perkuatan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer),” *Din. Tek. SIPIL*, vol. 9, no. 1, pp. 9–18, 2009.
- [5] A. Khalifa and A. Nanni, “Rehabilitation of rectangular simply supported RC beams with shear deficiencies using CFRP composites,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 16, pp. 135–146, 2002.
- [6] B. Soebandono, A. Triwiyono, and Muslikh, “Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode Jacketing dengan Bahan Fero semen Akibat Beban Siklik pada Beban Ultimit,” *J. Ilm. SEMESTA Tek.*, vol. 14, no. 2, pp. 166–176, 2011.
- [7] A. Soenaryo, M. H. Taufik, and H. Siswanto, “Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan Concrete Jacketing dengan Prosentase Beban Runtuh yang Bervariasi,” *J. REKAYASA SIPIL*, vol. 3, no. 2, pp. 91–100, 2009.
- [8] SNI-1727-2013, “SNI-1727-2013 Perencanaan-Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung,” 2013.
- [9] B. S. Nasional and B. S. Nasional, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. 2012.
- [10] SNI 03-2847-2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. 2013.
- [11] A. C. 440, *ACI 440.2R-17. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. 2017.
- [12] J. T. Kaontole, M. D. J. Sumajouw, and R. S. Windah, “Evaluasi Kapasitas Kolom Beton Bertulang yang Diperkuat dengan Metode Concrete Jacketing,” *Sipil Statik*, vol. 3, no. 3, pp. 167–174, 2015.
- [13] A. R. Santhakumar, “Retrofit of masonry buildings,” *Handb. Seism. retrofit Build.*, no. April, 2007.
- [14] T. Paulay and M. J. N. Priestley, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. 1992.
- [15] T. Park, R. & Paulay, *Reinforced Concrete Structures*. 1974.