Desain Perkuatan Balok Beton Bertulang Menggunakan CFRP *(Carbon Fibre Reinforced Polymer)* (Studi Kasus: Balok Rumah Tinggal 2 Lantai Tipe 80)

Ismiatun Nurhasanah[1], Hariyanto[2]
[1,2,*]Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe
E-mail: *[1]*ismiatunnurhasanah123@gmail.com*, [2]*antokenginer@gmail.com*

Abstrak – *Ditemukan banyak perencanaan struktur pada bangunan perumahan yang tidak sesuai dengan standar keamanan bangunan tahan gempa di Indonesia, sehingga berpotensi memicu terjadinya kerusakan di kemudian hari saat terjadi gempa bumi. Salah satu bagian struktur yang memegang peranan penting adalah balok. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi pada kekuatan struktur balok pada salah satu perumahan dua lantai sesuai SNI 2847-2019 dan direncakan perkuatan berupa material CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer) sesuai ACI 440.2R.17 pada bagian struktur tersebut. Sistem pemikul gaya seismik yang bekerja pada perumahan yang dievaluasi adalah SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah). Balok yang ditinjau memiliki panjang 4 meter dimensi 15 x 30 cm. Dihasilkan kapasitas lentur balok bernilai aman sebesar ϕMn 28,940 kNm dan nilai Mu sebesar 28,927 kNm sedangkan hasil perhitungan kapasitas geser balok bernilai tidak aman sebesar ϕVn 43 kN dan Vu sebesar 55 kN dan 44 kN, sehingga diperlukan perencaan perkuatan geser balok agar dapat memikul beban rencana awal. Desain perkuatan dilakukan dengan variasi tipe pola pemasangan U-wrap dan Completed-Wrap serta jumlah lembar FRP yang digunakan. Dari hasil perencanaan perkuatan struktur didapatkan peningkatan pada kapasitas geser balok dan kenaikan paling efektif dan signifikan terjadi pada penambahan lembar pertama CFRP yaitu U-wrap sebesar 22,5 kN atau 52% dan Completed-Wrap sebesar 24,0 kN 55 %.*

Kata Kunci *— ACI 440.2R.17, Balok Beton Bertulang, Perkuatan dengan CFRP, Perumahan, SRPMM.*

Abstract – *Many structural designs in residential buildings have been found to be inconsistent with Indonesian earthquake-resistant building safety standards, potentially leading to future damage during an earthquake. One of the structural components that plays a crucial role is the beam. This study evaluated the structural strength of the beam in a two-story residential building in accordance with SNI 2847-2019 and planned reinforcement using CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) material in accordance with ACI 440.2R.17 in that structural component. The seismic force resisting system employed in the evaluated housing is the SRPMM (Intermediate Moment Resisting Frame System). The beam under review is 4 meters long and measures 15 x 30 cm. The resulting safe beam flexural capacity was ϕMn of 28,940 kNm and Mu of 28,927 kNm. However, the calculated unsafe shear capacity was ϕVn of 43 kN and Vu of 55 kN and 44 kN, respectively. Therefore, shear reinforcement planning was required to support the initial design load. The reinforcement design varied between U-wrap and Completed-Wrap installation patterns, as well as the number of FRP sheets used. The results showed an increase in the beam shear capacity, with the most effective and significant increase occurring with the addition of the first CFRP sheet: U-wrap by 22.5 kN (52%) and Completed-Wrap by 24.0 kN (55%).*

Keywords *— ACI 440.2R.17, Housing, Reinforced Concrete Beam, SRPMM, Structural Reinforcement with CFRP.*

1. PENDAHULUAN

Ditemukan banyak perencanaan struktur pada bangunan perumahan yang tidak sesuai dengan standar keamanan bangunan tahan gempa di Indonesia sehingga dapat memicu terjadinya kerusakan di kemudian hari jika terjadi gempa bumi. Menurut data BPS pada tahun 2024, salah satu provinsi dengan kasus kerusakan bangunan tertinggi akibat bencana gempa bumi adalah provinsi Jawa Tengah dengan 13 kasus kerusakan berat, 30 kasus kerusakan sedang, dan 230 kasus kerusakan ringan. Salah satu solusi untuk mengurangi potensi kerusakan adalah memberikan perkuatan tambahan pada elemen struktur yang telah ada. Perkuatan struktur adalah proses peningkatan kekuatan elemen struktur untuk menahan beban yang direncanakan dan mencegah kegagalan geser. [1] Metode perkuatan struktur bisa dilakukan dengan cara penyelubungan dengan beton atau Concrete Jacketing, penyelubungan dengan baja atau Steel Jacketing dan penyelubungan dengan material ringan komposit yaitu Fiber Reinforced Polymer (FRP) – kutipan 1 FRP biasanya terbuat dari tiga jenis serat: serat karbon (Carbon Fiber Reinforced Polymer), serat gelas (Glass Fiber Reinforced Polymer), dan serat aramid. Metode perkuatan ini sangat efektif dan tidak mudah berkarat. [2] Kerugian utama menggunakan FRP terutama CFRP sebagai sistem perkuatan adalah biaya material yang lebih tinggi – kutipan 2. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis kekuatan struktur balok pada bangunan perumahan yang telah ada dan menghitung pengaruh penggunaan CFRP terhadap peningkatan kekuatan

struktur pada bagian tersebut serta melakukan pemodelan perkuatan struktur. Terdapat beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian ini diantaranya skripsi yangberjudul Evaluasi dan Analisis Perkuatan Struktur Gedung Mengunakan CFRP oleh Desfitri Ayu Wandaning (2023) yang memeperoleh hasil analisa struktur pada gedung setelah dilakukan penambahan jumlah lantai dan perhtungan kebutuhan perkuatan struktur.

2. METODE PENELITIAN



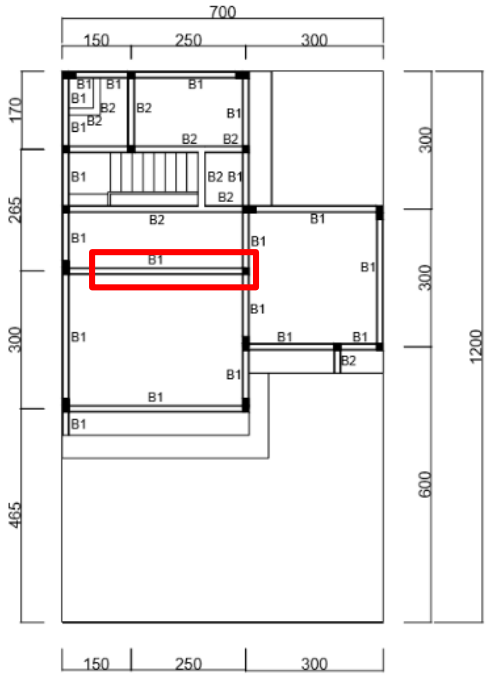
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

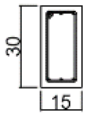
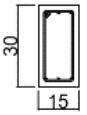
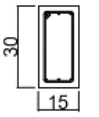
Berupa data properti material bangunan, data gambar dan data wilayah gempa bangunan. Tipe bangunan adalah rumah tinggal dua lantai tipe 80 dan struktur bangunan yang digunakan adalah beton bertulang. Lokasi bangunan berada di Kabupaten Batang, Provinsi Jawa Tengah.

Mutu beton (fc')	= 25 Mpa
Kuat Leleh Tul. Logitudinal	= 420 MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal	= 280 MPa
Dimensi Balok Induk	=150x300mm
Bentang Balok	= 4 m (B1)
Konfigurasi Tul. Pokok	= 6D12 mm
Konfigurasi Tul. Sengkang	=∅6–150mm
Dimensi Kolom	=150x300mm

Berikut untuk desain gambar balok yang ditinjau dan detail penulangan balok



Gambar 2. Denah Lantai 2

TYPE	SLOOF (S1)	SLOOF (S2)	KOLOM (K1)	KOLOM (K2)	RING BALK (B1)	RING BALK (B2)
DETAIL SKALA 1:20						
TUL.UTAMA	6Ø12MM	4Ø10MM	6Ø12MM	4Ø10MM	6Ø12MM	4Ø10MM
SENGKANG	Ø6-150MM	Ø6-150MM	Ø6-150MM	Ø6-150MM	Ø6-150MM	Ø6-150MM

Gambar 3. Konfigurasi Tulangan balok

2.2 Penentuan jenis sistem pemikul gaya seismik bangunan berdasarkan SNI 1726:2019 serta dilakukan perhitungan pembebanan sesuai SNI 2847:2019.

2.3 Pemeriksaan kekuatan Lentur dan geser Kuat Lentur jika ϕMn > Mu (aman), kuat geser , ϕVn / Vu >= 1 (aman).

2.4 Perhitungan perkuatan struktur

Perhitungan perkuatan struktur berdasarkan ACI 440.2R.17

Berikut spesifikasi CFRP yang digunakan:

Nama Bahan = SIKA Wrap 231C
Type = CFRP Wrap
Lebar = 100 mm
Tebal = 0,131 mm
Tensile Strength (ffu*) = 4800 Mpa
Regangan Putus (εfu*) = ≥ 1,8%
Modulus Elasticity (Ef) = 234.000Mpa
Faktor Reduksi Lingkungan = 0,95 (Tabel 9.1 ACI 440.2R-08)
Faktor Reduksi FRP = 0,85 (pola pemasangan U)
0,95 (Pola pemasangan menyeluruh)

Kapasitas Lentur, dengan cek tegangan layan

$$f_{f,s} = f_{s,s}\left(\frac{Ef}{Es}\right)\left[\frac{(df - kd)}{(d - kd)}\right] - \varepsilon_{bi}Ef \qquad (1)$$

Kapasitas Geser setelah perkuatan

$$\Phi\, Vn = \Phi[V_c + V_s + (\psi V_f)] \qquad (2)$$

$$\Phi\, Vn\ akhir - \Phi\, Vn\ awal$$

[3] Adapun perekat yang biasa digunakan untuk melekatkan material CFRP dengan material beton adalah zat perekat epoksi dimana jenis bentuk CFRP yang digunakan adalah bentuk plat dan lembaran.

2.5 Output Penelitian

Menyajikan hasil perhitungan berupa nilai dan persentase kekuatan lentur dan geser pada struktur balok pada saat sebelum dan sesudah diperkuat dengan perhitungan pada variasi jumlah lapis CFRP dan jenis pola pemasangan CFRP yang digunakan, serta desain gambar pemodelan perkuatan struktur balok.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kabupaten Batang terletak pada wilayah gempa kategori C dan sistem pemikul gaya seismik yang bekerja pada bangunan rumah tinggal 2 lantai adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan parameter percepatan spektra desain sebagai berikut: Koefisien modifikasi respon (R^a) = 5, faktor kuat lebih sistem ($\Omega 0^b$) = 3 dan faktor pembesaran defleksi (Cd^c) = 4 ½
2. Berat Efektif Bangunan (W total) = W1 + W2
   = 565,2265 kN + 281,78 kN
   = 847,0065 kN
3. Hasil evaluasi kekuatan struktur balok
   a. Kekuatan Lentur

Tabel 1. Hasil perhitungan Kekuatan Lentur

Daerah Balok	Mn (kNm)	ϕMn (kNm)	Mu (kNm)	Cek Keamanan ($\phi M_n > M_u$)
Tumpuan Negatif	32	28,940	28,927	OK
Tumpuan Positif	32	28,940	28,927	OK
Lapangan Negatif	32	28,940	28,927	OK
Lapangan Positif	32	28,940	28,927	OK

Kekuatan struktur balok ditinjau dari kuat lentur sudah memenuhi syarat atau AMAN, maka balok tidak memerlukan perkuatan lentur.

b. Kekuatan Geser

Tabel 2. Hasil perhitungan kekuatan lentur

Daerah Balok	Vn (kN)	ϕV_n (kN)	Vu (kN)	Cek Keamanan (ϕV_n / V_u >=1)
Tumpuan	57,8	43,4	55	0,787 <=1 (Not Ok)
Lapangan	57,8	43,4	44	0,985 <= 1 (Not Ok)

Kekuatan struktur balok ditinjau dari kuat geser belum memenuhi syarat atau TIDAK AMAN, maka balok tidak memerlukan perkuatan geser.

4. Perhitungan Perkuatan Balok

a. U-Wrap (FRP Berjarak)

Tabel 3. Perhitungan Perkuatan Tipe U-Wrap

Jumlah Lapis FRP	1	2	3	4	5	Satuan
Kapasitas Geser Balok setelah perkuatan $\phi Vnf = \phi(Vc+Vs+\psi Vf)$	65821	72374	77084	80904	84178	N
	65,8	72,4	77,1	80,9	84,2	kN
Kapasitas geser balok awal (Vn)	43,4	43,4	43,4	43,4	43,4	kN
Gaya Geser Ultimate (Vu)	55	55	55	55	55	kN
Cek	OK	OK	OK	OK	OK	

Tabel 4. Tabel Kenaikan kapasitas geser balok

Jumlah Lapis CFRP (n)	Kapasitas Geser Balok (kN)	Nilai Peningkatan Kapasitas Geser Balok (kN)	Persentase Peningkatan (dihitung dari nilai kapasitas awal)	Persentase Peningkatan (dihitung dari nilai kapasitas sebelumnya)
0 (awal)	43,4	-	-	-
1	65,8	22,5	52%	52%
2	72,4	29,0	67%	10%
3	77,1	33,7	78%	7%
4	80,9	37,6	87%	5%
5	84,2	40,8	94%	4%

Lebar tiap CFRP adalah sebesar 10 cm dan dipasang berjarak 20 cm yang disalurkan sepanjang wilayah tumpuan balok atau sebesar ¼ L = ¼ x 400 cm = 100 cm = 1 m

b. C-Wrap (FRP Berjarak)

Tabel 5. Perhitungan Kapasitas geser Tipe C-Wrap

Jumlah Lapis FRP	1	2	3	4	5	Satuan
Kapasitas Geser Balok setelah perkuatan $\phi Vnf = \phi(Vc+Vs+\psi V_f)$	67310	74634	79898	84167	87826	N
	67,3	74,6	79,9	84,2	87,8	kN
Kapasitas geser balok awal ϕVn)	43,4	43,4	43,4	43,4	43,4	kN
Gaya Geser Ultimate (Vu)	55	55	55	55	55	kN
Cek	OK	OK	OK	OK	OK	

Tabel 6. Kenaikan kapasitas geser balok

Jumlah Lembar CFRP (n)	Kapasitas Geser Balok (kN)	Nilai Peningkatan Kapasitas Geser Balok (kN)	Persentase Peningkatan (dihitung dari nilai kapasitas awal)	Persentase Peningkatan (dihitung dari nilai kapasitas sebelumnya)
0 (awal)	43,4	-	-	-
1	67,3	24,0	55%	55%
2	74,6	31,3	72%	11%
3	79,9	36,5	84%	7%
4	84,2	40,8	94%	5%
5	87,8	44,5	103%	4%

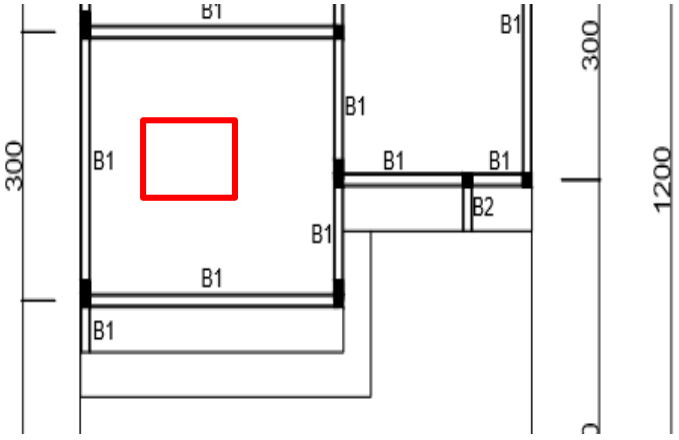
Semakin banyak jumlah lapis CFRP yang digunakan, maka semakin tinggi pula nilai peningkatan kapasitas geser pada balok. Namun, persentase kenaikan cenderung lebih sedikit seiring bertambahnya lapis CFRP yang digunakan (jika dihitung dari lapis sebelumnya).

c. FRP Skala Penuh

Tabel 7. Perhitungan Perkuatan Penuh

Jenis pemasangan	U-Wrap	Completed-wrap	Satuan
Kapasitas Geser Balok setelah perkuatan (ϕVnf) $\phi Vnf = \phi(Vc+Vs+\psi V_f)$	78476	81454	N
	78,5	81,5	kN
Kapasitas geser balok awal (ϕVn)	43,4	43,4	kN
Gaya Geser Ultimate (Vu)	55	55	kN
Cek	OK	OK	

d. Perhitungan Gaya Aksial Kolom



Gambar 4. Kolom Pojok

Kolom lantai 1 yang ditinjau termasuk ke dalam jenis kolom pojok dengan interval faktor kali sebesar 1,16 – 1,33. Berikut besar gaya aksial (Pu) kolom

Gaya aksial (Pu) kolom = total beban kolom lantai 1 x 1,33
= 93,075 kN x 1,33
= 123, 8 kN

Perhitungan V Kolom dan V joint

V kolom

Vc = 0,17 $\left(1+\frac{Pu}{14Ag}\right)\lambda\sqrt{fc'}$bw d
= 0,17 x(1 + 123,8/45000) 1 x √25 x 150 x248
= 31.613,676
= 31,6 kN

Vs =Av. fyv. $\frac{d}{s}$ hnnn
= 26.178 N
= 26,1 kN

Sehingga, nilai Vn kolom = Vc + Vs = 31,6 kN + 26,2 Kn = 57,8 kN

V Joint Balok Kolom

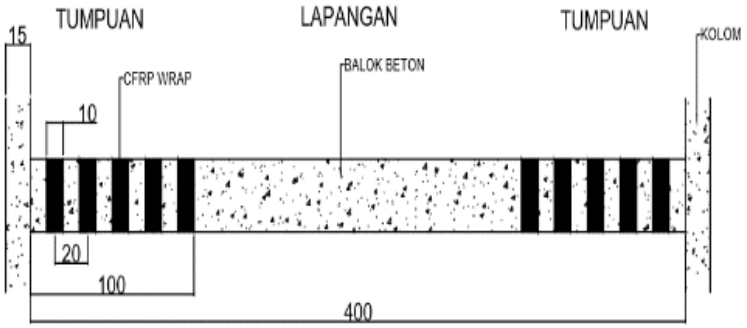
Kuat Geser Nominal Joint Gempa X,

V_{nX} (18.8.4.1) $= c \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times Aj$
= 1 x 1 x $\sqrt{25}$ x 45000
=225.000 N
= 225 kN

Faktor Reduksi, Φ = 0,85 (21.2.4.3)
$= \varnothing \times Vnx$
= 0,85 x 225
= 191,25 kN (18.8.4.1)

4. KESIMPULAN

1. Kabupaten Batang terletak pada wilayah gempa kategori C dan sistem pemikul gaya seismik yang bekerja pada bangunan rumah tinggal 2 lantai adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan parameter percepatan spektra desain sebagai berikut: Koefisien modifikasi respon (R^a) = 5, faktor kuat lebih sistem ($\Omega 0^b$) = 3 dan faktor pembesaran defleksi (Cd^c) = 4 ½
2. Evaluasi kekuatan dan Pemeriksaan Tulangan balok yang ditinjau
    1. Kekuatan Lentur $\phi M_n > M_u$ (ok/aman) sehingga tidak memerlukan perkuatan lentur
    2. Kekuatan Geser $\phi V_n / V_u <= 1$ (tidak aman) sehingga memerlukan PERKUATAN GESER
    3. Perhitungan Perkuatan
        a. Berjarak U-Wrap
        Peningkatan paling efektif/signikan terjadi pada penggunaan lapis yang pertama yaitu sebesar 22,5 kN atau 52 % dari semula 43,4 kN menjadi 65,8 kN
        b. Berjarak Completed-Wrap
        Peningkatan paling efektif/signikan terjadi pada penggunaan lapis yang pertama yaitu sebesar 24 kN atau 55 % dari semula 43,4 kN menjadi 67,3 kN



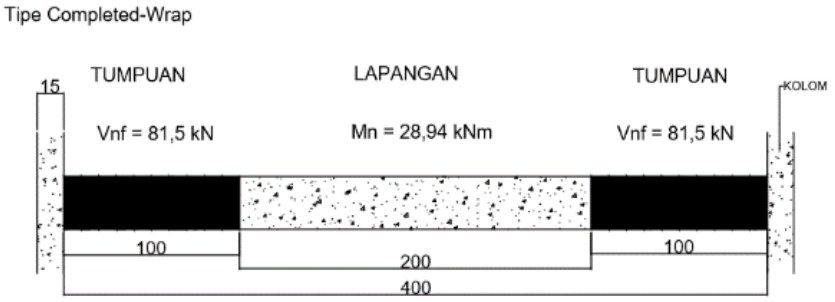
Gambar 5. Desain Perkuatan Berjarak

	TYPE	TUL.UTAMA	SENGKANG	DIMENSI
	COMPLETED WRAP	6Ø12MM	Ø6-150MM	15/30
	U-WRAP	6Ø12MM	Ø6-150MM	15/30

Gambar 6. Konfigurasi Perkuatan CFRP

c. Penuh U-Wrap
Peningkatan kapasitas geser pada penggunaan lapis pertama adalah sebesar 35,1 kN dari semula 43,4 kN menjadi 78,5 kN

d. Penuh Completed Wrap
Peningkatan kapasitas geser pada penggunaan lapis pertama adalah sebesar 38,1 kN dari semula 43,4 kN menjadi 81,5 kN



Gambar 7. Desain Perkuatan Penuh

5. SARAN

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan pemeriksaan kekuatan pada kolom dan hubungan balok kolom bangunan untuk selanjutnya dilakukan perkuatan struktur atau tidak.
2. Dapat menggunakan bahan atau materi perkuatan jenis lain sebagai pembanding tingkat kekuatan struktur.
3. Dapat dijadikan pertimbangan bagi konsultan perencana dalam melakukan perencaan struktur bangunan agar sesuai dengan aturan atau standar yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. Hirwo and A. Rozak, "Evaluasi Perkuatan Struktur Menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Pada Struktur Beton Bertulang Proyek Transformasi Gedung Sarinah Thamrin, Jakarta Pusat," *J. Ismetek*, vol. 14, no. 2, pp. 75–80, 2022.

[2] C. R. Suryamisena, R. Milyardi, and C. Lesmana, "Perbandingan Biaya, Durasi, dan Kerugian Pendapatan Operasional Metode Perkuatan Struktur Kolom Beton Bertulang Gedung Pabrik," *J. Rekayasa Konstr. Mek. Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 93–103, 2024, doi: 10.54367/jrkms.v7i2.3983.

[3] R. A. Mato, "Studi Perilaku Lekatan Geser Abaca Fiber Reinforced Polymer Sheet Pada Beton Dengan Variasi Epoxy," 2023, [Online]. Available: http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/28541/%0Ahttp://repository.unhas.ac.id/id/eprint/28541/1/D011191018_skripsi_08-08-2023 1-2.pdf

[4] F. Aulia, R. Roestaman, and E. Walujodjati, "Pengaruh Perkuatan Beton Menggunakan CFRP Terhadap Kuat Tekan," *J. Konstr.*, vol. 19, no. 1, pp. 128–136, 2021, doi: 10.33364/konstruksi/v.19-1.899.

[5] S. Rejeki Laku Utami, "Pengaruh Carbon Fiber Reinforced Polymer (Cfrp) Terhadap Balok Beton Bertulang," *INERSIA lNformasi dan Ekspose Has. Ris. Tek. SIpil dan Arsit.*, vol. 15, no. 1, pp. 23–42, 2019, doi: 10.21831/inersia.v15i1.24861.

[6] N. P. Silvi and I. P. Laintarawan, "Analisis Perilaku Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan FiberReinforced Polymer (FRP) Berdasarkan Variasi Tinggi," *J. Ilm. Rekayasa Sipil*, vol. 22, no. 1, pp. 64–73, 2025, [Online]. Available: http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jirs/

[7] *440.2R-17: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. 2017. doi: 10.14359/51700867.

[8] Munawwaroh, "ANALISIS NUMERIK PERKUATAN GESER PADA BALOK BETON BERTULANG MENGGUNAKAN CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP) BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA," 2025.

[9] D. Sistem and P. Standar, "Penerapan Standar Nasional Indonesia," no. 8, 2020.

[10] Badan Standardisasi Nasional, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," *Sni 2847-2019*, no. 8, p. 720, 2019.