

PERENCANAAN PERKUATAN STRUKTUR GEDUNG SDN 4 MENGWI AKIBAT PENAMBAHAN LANTAI DENGAN FRP (*FIBER REINFORCED POLYMER*)

I Made Ardi Wiguna¹⁾, I Gusti Nyoman Putra Wijaya¹⁾, dan I Made Ardantha¹⁾

1) Jurusan Teknik Sipil, Universitas Warmadewa, Denpasar, Bali

ardiwiguna0@gmail.com

ABSTRACT

The existing building of SDN 4 Mengwi building consists of two floors, will be planned addition of two floors up which could lead to the existing structure is not able to withstand the loads that needed reinforcement structure. Concrete structure strengthening method uses FRP (Fiber Reinforced Polymer) type of carbon (ultra high modulus) with a tensile strength of 2200 MPa, FRP thickness of 0.5 mm, FRP width of 100 mm. After the addition of two floors there are several structural elements that are not strong enough to withstand additional loads including: K1 column is 21 unit, K1' column is 14 unit, K2 column is 40 unit, K4 column is 8 unit.

Keyword: FRP, strengthening, structure

ABSTRAK

Bangunan existing gedung SDN 4 Mengwi terdiri dari 2 lantai, akan direncanakan penambahan 2 lantai ke atas yang bisa mengakibatkan struktur existing tidak mampu menahan beban yang sehingga dibutuhkan perkuatan struktur. Metode perkuatan struktur beton menggunakan FRP (Fiber Reinforced Polymer) jenis carbon (ultra high modulus) dengan kuat tarik sebesar 2200 MPa, tebal FRP sebesar 0.5 mm, lebar FRP yaitu 100 mm. Setelah penambahan 2 lantai ada beberapa elemen struktur yang tidak kuat menahan beban tambahan antara lain: kolom K1 sebanyak 21 batang, kolom K1' sebanyak 14 batang, kolom K2 sebanyak 40 batang dan kolom K4 sebanyak 8 batang

Kata kunci: FRP, perkuatan, struktur

1 PENDAHULUAN

Sekolah merupakan lembaga pendidikan yang menyelenggarakan kegiatan belajar dan mengajar serta menerima dan memberi pelajaran sesuai dengan tingkatan, jurusan dan sebagainya, yang memiliki unsur pendukung seperti sarana dan prasarana sesuai aturan yang berlaku. Pada perencanaan gedung SDN 4 Mengwi dibuat penambahan lantai menjadi 4 lantai yang direncanakan dengan struktur beton bertulang yang sama dengan struktur bangunan existing. Penambahan lantai pada struktur gedung SDN 4 Mengwi dikarenakan syarat minimal perencanaan pada buku pedoman tugas akhir yang berlaku di Fakultas Teknik, Universitas Warmadewa yaitu minimal 4 lantai. Pertambahan 2 lantai pada bangunan existing bisa menyebabkan ketidakmampuan kekuatan struktur existing menahan 2 lantai tambahan sehingga perlu dilakukannya perkuatan struktur. Tujuan dari perencanaan ini adalah merencanakan perkuatan struktur dengan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) terhadap penambahan lantai bangunan pada gedung SDN 4 Mengwi. Manfaat dari perencanaan ini adalah sebagai suatu penerapan ilmu ketekniksipilan dibidang struktur untuk merencanakan perkuatan struktur bangunan gedung dengan FRP.

2 LANDASAN TEORI

2.1 Perkuatan Struktur

Perkuatan struktur biasanya dilakukan sebagai upaya pencegahan sebelum struktur mengalami kerusakan atau kehancuran. Perkuatan atau perbaikan struktur diperlukan apabila terjadi kerusakan yang menyebabkan degradasi yang berakibat tidak terpenuhi lagi persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik yaitu kekuatan, kekakuan dan daktilitas, kestabilan, serta ketahanan terhadap kinerja tertentu (Christiawan, Triwiyono, & Christady, 2008).

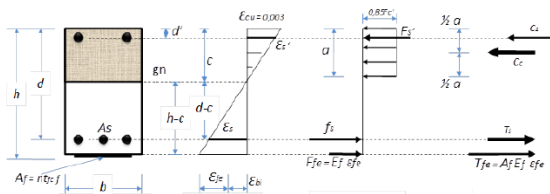
2.2 Perkuatan Struktur dengan FRP

Perkuatan FRP pada beton dilakukan dengan cara menempelkannya pada permukaan beton dengan menggunakan perekat epoxy. FRP merupakan bahan yang ringan, kuat dan tahan terhadap korosi. FRP cukup mudah diaplikasikan pada beton bertulang dan terbukti ekonomis digunakan sebagai material untuk memperbaiki dan meningkatkan ketahanan struktur balok dan kolom. Secara umum, bahan serat yang digunakan pada FRP ada 3 jenis serat yaitu carbon, aramid dan glass. Ada beberapa faktor kelebihan dan kekurangan dalam penggunaan FRP (Christiawan, 2009).

2.2.1 FRP pada balok

Momen FRP pada balok dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 dengan diagram regangan yang terjadi pada Gambar 1.

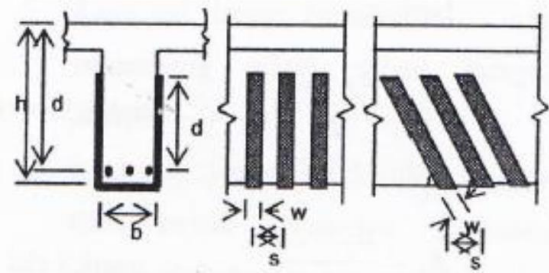
$$Mn = A_s f (d - a/2) + A'_s f'_s (d - d') + \psi f A_f f_f e (h - a/2) \dots \dots \dots (1)$$



Gambar 1. Diagram Regangan Tegangan FRP Balok
(Sumber: Anonim, 2002)

Geser FRP pada balok dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 dengan diagram regangan yang terjadi pada Gambar 2.

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s + \psi V_f) \dots \dots \dots (2)$$



Gambar 2. Perkuatan Geser Balok
(Christiawan, Triwiyono, & Christady, 2008)

2.2.2 FRP pada kolom

Nilai kuat nominal pada kolom dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$P(maks) = 0,80 [0,85 \psi f'_c c c (A_g - A_g) + f_y A_s t] \dots \dots \dots (3)$$

dimana:

A_g = luas bruto beton

A_{st} = luasan tulangan memanjang baja

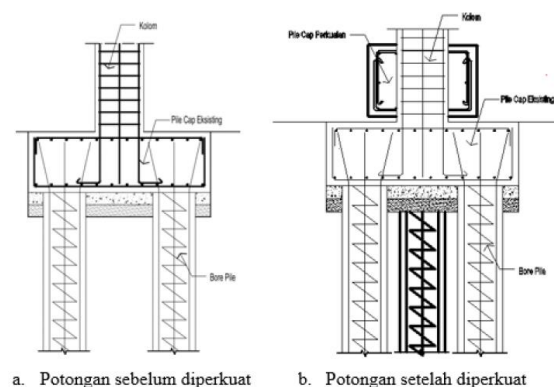
f_y = tegangan leleh baja longitudinal

ψf = faktor reduksi FRP

f'_{cc} = kuat tekan beton terkekang

2.3 Perkuatan Pondasi dan Pile Cap

Perkuatan pondasi dilakukan jika bangunan yang pondasinya sudah tidak memungkinkan (kurang kuat atau beban melebihi rencana, misalnya akan ada penambahan jumlah lantai), maka sebaiknya dibongkar dan dibuat sesuai dengan beban rencananya. Karena tergantung tanahnya, mungkin pondasi yang ada hanya pondasi beton setempat, padahal untuk beban misalnya penambahan lantai diperlukan pondasi pancang atau pondasi bore pile. Perkuatan pada pondasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perkuatan Pondasi Bore Pile

2.4 Pedoman Perencanaan Struktur

1. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726 - 2012).
2. Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727 - 2013).
3. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013).

2.5 Pembebanan Struktur

2.5.1 Beban mati

Menurut SNI 1727:2013 halaman 15 beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

2.5.2 Beban hidup

Menurut SNI 1727:2013 halaman 18 beban hidup beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Beban hidup pada struktur utama yaitu beban merata dan terpusat.

2.5.3 Beban angin

Beban angin mengacu pada SNI 1727-2013 disesuaikan dengan lokasi perencanaan.

2.5.4 Beban air hujan

Menurut SNI 1727:2013 halaman 38 setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup ditambah beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya. Beban air hujan berdasarkan SNI 1727-2013, diperoleh dari Persamaan 4.

$$R=0.0098 (ds+dh) \dots\dots\dots(4)$$

2.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perencanaan struktur beton adalah SNI 2847: 2013 yaitu:

1. $1.4D$
2. $1.2D + 1.6L + 0.5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1.2D + 1.6 (L_r \text{ atau } R) + (1.0L \text{ atau } 0.5W)$
4. $1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5 (L_r \text{ atau } R)$
5. $((1.2+0.2(SDS))D + 1.3E + 1.0L$

$$6. \quad 0.9D + 1.0W$$

$$7. \quad ((0.9-0.2(SDS))D + 1.3E$$

dimana:

D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen.

L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dll.

L_r = Beban hidup atap

E = Beban gempa

W = Beban angin

R = Beban hujan

SDS = Parameter percepatan spektrum respons desain.

2.7 Struktur Balok

Momen balok dapat dihitung menggunakan Persamaan 5 dan dengan diagram regangan tegangan dapat dilihat pada Gambar 4.

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \dots\dots\dots(5)$$

dengan:

$$M_{nc} = C_c \cdot (d - d_2)$$

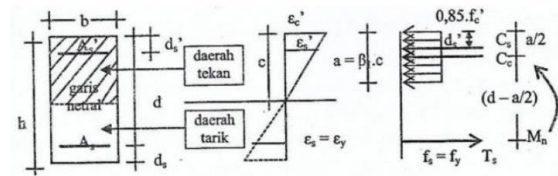
$$C_c = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$M_{ns} = C_s \cdot (d - d')$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s'$$

$$M_r = \phi \cdot M_n$$

Dengan syarat: $M_r \geq M_u$



Gambar 4. Diagram Regangan Tegangan Balok

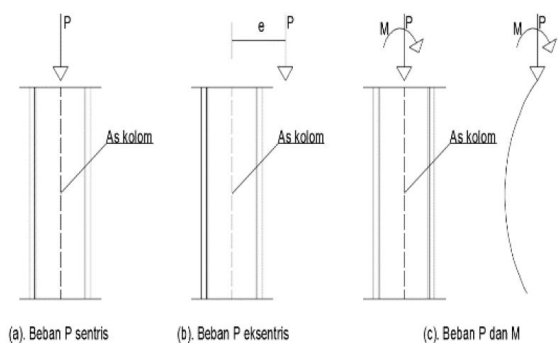
(Sumber: Asroni, 2010)

Gaya geser rencana, gaya geser nominal, gaya geser yang ditahan oleh beton dan Sengkang dirumuskan pada Persamaan 6.

$$\phi \cdot V_n \geq V_u \dots\dots\dots(6)$$

2.8 Struktur Kolom

Jenis kolom berdasarkan titik beban pada kolom seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Beban Pada Kolom

(Sumber: Asroni, 2010)

Beban Aksial pada kolom dapat dihitung menggunakan Persamaan 7.

$$P_o = 0.85f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \dots\dots\dots(7)$$

Momen pada kolom dapat dihitung menggunakan Persamaan 8.

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \dots\dots\dots(8)$$

dengan:

$$M_{nc} = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot (d - a/2)$$

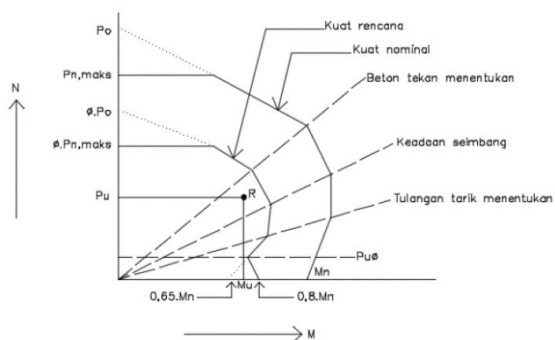
$$Mns = As' \cdot fs' \cdot (d - ds')$$

$$Mr = \emptyset \cdot Mn$$

Geser pada kolom dapat dihitung menggunakan Persamaan 9.

$$Vn = Vc + Vs \dots\dots\dots(9)$$

Diagram interaksi kolom seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Interaksi Kolom
(Sumber: Asroni, 2010)

3 METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan perkuatan struktur gedung SDN 4 Mengwi Badung terletak di Jalan Wibisana, Banjar Pregae, Mengwi, Kabupaten Badung, Bali.

3.2 Data Perencanaan

Data yang digunakan berupa data sekunder yaitu data gambar arsitektur, gambar struktur dan data tanah sondir.

3.3 Flow Chart Perencanaan

Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 7.

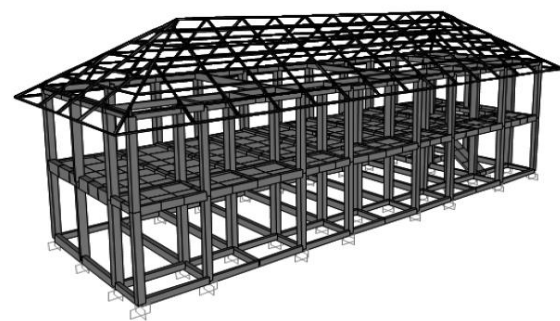


Gambar 7. Alur Perencanaan Perkuatan Struktur

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur Existing

Struktur existing gedung SDN 4 Mengwi terdiri dari 2 lantai dengan tinggi perlantai 4.2 m seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Pemodelan 3D View Bangunan Existing

4.2 Perhitungan Pembebanan

4.2.1 Beban mati

Perhitungan beban mati untuk perencanaan struktur dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Beban Mati Pada Gording

Beban Kg/m ²	Perhitungan	Beban Mati Kg/m
44	Beban x jarak gording	44
44	Beban x ½ jarak gording	22

1. Beban mati pada pelat lantai sebesar 172.86 kg/m².
2. Beban mati pada tembok sebesar 1700 kg/m³ dan 2600 kg/m³.
3. Beban pada kolom sebesar 2600 kg/m³.

4.2.2 Beban hidup

Beban hidup terpusat diatap sebesar 133 kg, kemudian untuk beban hidup pada pelat lantai ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban Hidup Pada Pelat Lantai

No	Fungsi Ruangan	Beban Hidup Kg/m ²
1	Koridor lantai 1	479
2	Koridor diatas lantai 1	383
3	Ruang kelas	192
4	Kamar mandi	192
5	Tangga	479

4.2.3 Beban hujan

Besaran nilai beban hujan dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Beban Beban Hujan Pada Gording

R (kg/m ²)	Perhitungan	Beban hujan (kg/m)
0.0196	R x jarak gording	0.0196
0.0196	R x ½ jarak gording	0.0098

4.2.4 Beban angin

Kecapatan angina rata-rata daerah badung 6.39 m/s. Untuk angin dating sebesar 0.35 kg/m² dan angin pergi sebesar 0.73 kg/m².

4.2.5 Beban gempa

Beban gempa adalah hasil Analisa input koefisien faktor keutamaan gempa (Ie) = 1.5, SS Badung= 1.0, S1 Badung 0.4, Faktor modifikasi respons = 3, Kelas lokasi SD.

4.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perencanaan struktur beton adalah SNI 2847:2013.

4.4 Analisa Struktur Existing

4.4.1 Analisis balok

Berdasarkan analisis yang dilakukan dapat diketahui kemampuan balok eksisting dalam Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

Tabel 4. Kontrol Balok Lapangan Existing

Tipe balok	Mu (kNm)	Mn (kNm)	Mu ≤ Mn	Keterangan
S1	32.54	196.67	Ok	Tidak diperkuat
S2	22.14	111.54	Ok	Tidak diperkuat
B1	120.52	565.13	Ok	Tidak diperkuat
B2	79.01	185.36	Ok	Tidak diperkuat
B3	31.57	114.36	Ok	Tidak diperkuat
BA	10.65	98.12	Ok	Tidak diperkuat
R1	26.07	196.67	Ok	Tidak diperkuat
R2	28.91	98.12	Ok	Tidak diperkuat

Tabel 5. Kontrol Balok Tumpuan Existing

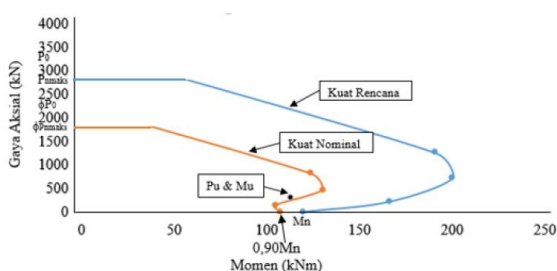
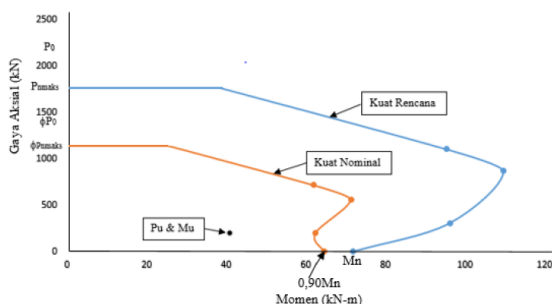
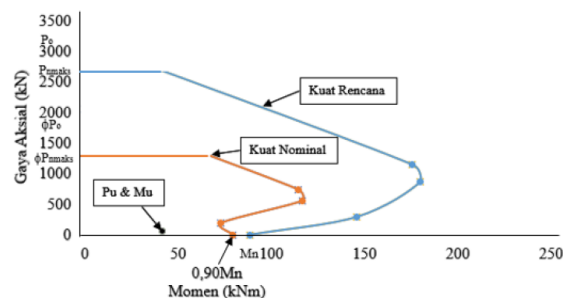
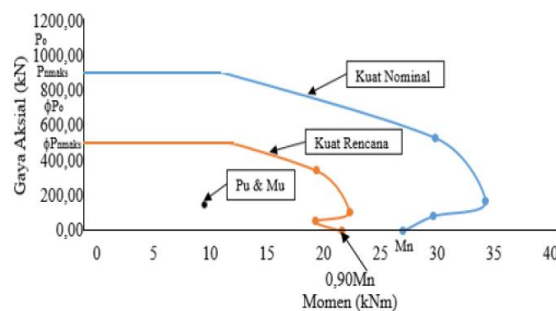
Tipe balok	Mu (kNm)	Mn (kNm)	$Mu \leq Mn$	Keterangan
S1	65.09	148.88	Ok	Tidak diperkuat
S2	31.88	100.60	Ok	Tidak diperkuat
B1	193.74	824.43	Ok	Tidak diperkuat
B2	92.32	264.28	Ok	Tidak diperkuat
B3	51.53	179.66	Ok	Tidak diperkuat
BA	20.93	87.19	Ok	Tidak diperkuat
R1	36.17	248.99	Ok	Tidak diperkuat
R2	22.62	100.60	Ok	Tidak diperkuat

Tabel 6. Kontrol Geser Balok Existing

Tipe balok	Vu (kN)	Vn (kN)	$Vu \leq Vn$	Keterangan
S1	55.79	188.61	Ok	Tidak diperkuat
S2	42.29	135.78	Ok	Tidak diperkuat
B1	139.50	440.22	Ok	Tidak diperkuat
B2	104.66	178.69	Ok	Tidak diperkuat
B3	47.66	153.86	Ok	Tidak diperkuat
BA	18.64	135.78	Ok	Tidak diperkuat
R1	24.74	188.61	Ok	Tidak diperkuat
R2	26.42	135.78	Ok	Tidak diperkuat

4.4.2 Analisis kolom

Hasil analisis kolom ditampilkan dalam bentuk diagram interaksi kolom pada Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12.

**Gambar 9. Diagram Interaksi Kolom K1****Gambar 10. Diagram Interaksi Kolom K1'****Gambar 11. Diagram Interaksi Kolom K2****Gambar 12. Diagram interaksi kolom K4**

Kolom K1, K1', K2, dan K4 existing berada di dalam diagram kuat rencana pada interaksi kolom berarti kolom existing masih mampu menahan beban yang bekerja. Kemudian untuk kontrol geser pada kolom dapat dilihat dalam Tabel 7.

Tabel 7. Kontrol Geser Kolom Existing

Tipe kolom	Vu (kN)	ϕVn (kN)	$Vu \leq \phi Vn$	Keterangan
K1	52.69	284.50	Ok	Tidak diperkuat
K1'	18.53	169.60	Ok	Tidak diperkuat
K2	17.48	294.00	Ok	Tidak diperkuat
K4	6.15	71.32	Ok	Tidak diperkuat

4.5 Analisa Struktur Lantai Tambahan

4.5.1 Analisis balok

Hasil penambahan struktur di dapat rekapitulasi balok yang dicatumkan dalam Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10.

Tabel 8. Kontrol Balok Lapangan Lantai Tambahan

Tipe balok	Mu (kNm)	Mn (kNm)	$Mu \leq Mn$	Keterangan
S1	32.54	196.67	Ok	Tidak diperkuat
S2	22.14	111.54	Ok	Tidak diperkuat
B1	360.37	565.13	Ok	Tidak diperkuat
B2	145.23	185.36	Ok	Tidak diperkuat
B3	104.30	114.36	Ok	Tidak diperkuat
BA	29.91	98.12	Ok	Tidak diperkuat
R1	28.07	196.67	Ok	Tidak diperkuat
R2	28.71	98.12	Ok	Tidak diperkuat

Tabel 9. Kontrol Balok Tumpuan Lantai Tambahan

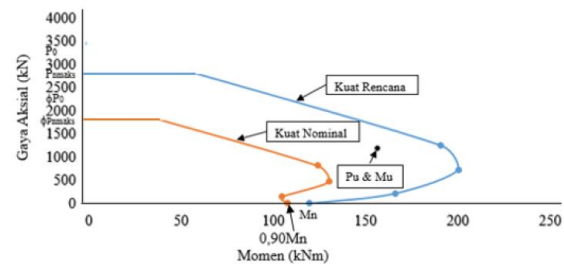
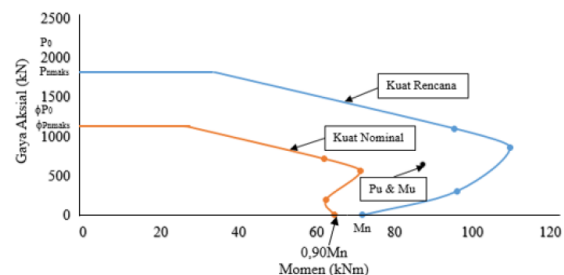
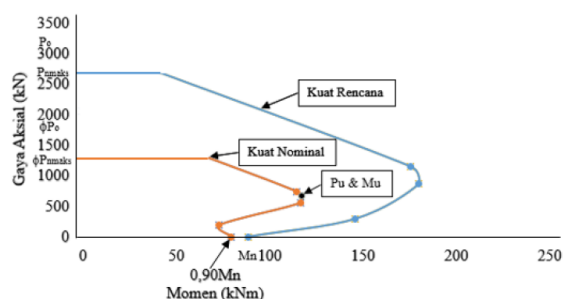
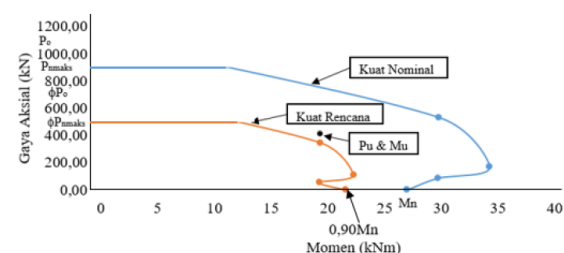
Tipe balok	Mu (kNm)	Mn (kNm)	$Mu \leq Mn$	Keterangan
S1	65.09	148.88	Ok	Tidak diperkuat
S2	31.88	100.60	Ok	Tidak diperkuat
B1	386.47	824.43	Ok	Tidak diperkuat
B2	178.55	264.28	Ok	Tidak diperkuat
B3	112.66	179.66	Ok	Tidak diperkuat
BA	38.53	87.19	Ok	Tidak diperkuat
R1	46.94	248.99	Ok	Tidak diperkuat
R2	24.37	100.60	Ok	Tidak diperkuat

Tabel 10. Kontrol Geser Balok Lantai Tambahan

Tipe balok	Vu (kN)	ϕV_n (kN)	$Vu \leq \phi V_n$	Keterangan
S1	55.79	188.61	Ok	Tidak diperkuat
S2	42.29	135.78	Ok	Tidak diperkuat
B1	191.93	440.22	Ok	Tidak diperkuat
B2	174.04	178.69	Ok	Tidak diperkuat
B3	117.92	153.86	Ok	Tidak diperkuat
BA	31.40	135.78	Ok	Tidak diperkuat
R1	33.82	188.61	Ok	Tidak diperkuat
R2	26.19	135.78	Ok	Tidak diperkuat

4.5.2 Analisis kolom

Hasil analisis kolom untuk struktur lantai tambahan ditampilkan dalam bentuk diagram interaksi kolom pada Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15, dan Gambar 16.

**Gambar 13. Diagram Interaksi Kolom K1****Gambar 14. Diagram Interaksi Kolom K1'****Gambar 15. Diagram Interaksi Kolom K2****Gambar 16. Diagram Interaksi Kolom K4**

Kolom K1, K1', K2 dan K4 berada di luar diagram kuat rencana pada interaksi kolom berarti kolom tidak mampu menahan beban yang bekerja. Kemudian untuk kontrol geser pada kolom dapat dilihat dalam Tabel 11.

Tabel 11. Kontrol Geser Kolom

Tipe kolom	V_u (kN)	ϕV_n (kN)	$V_u \leq \phi V_n$	Keterangan
K1	122.62	284.50	Ok	Tidak diperkuat
K1'	39.37	169.60	Ok	Tidak diperkuat
K2	118.77	294.00	Ok	Tidak diperkuat
K4	27.75	71.32	Ok	Tidak diperkuat

4.6 Perkuatan Struktur

4.6.1 Perkuatan kolom

Analisis perkuatan struktur kolom dengan FRP jenis carbon dengan kuat tarik sebesar 2200 MPa, tebal FRP sebesar 0.5 mm, lebar FRP yaitu 100 mm dan jumlah FRP yang digunakan yaitu 1 lilitan.

Tabel 12. Hasil Kontrol Gaya Aksial Rencana Perkuatan FRP

Tipe kolom	P_u (kN)	ϕP_n (kN)	$P_u \leq \phi P_n$
K1	1194.85	21598.26	Ok
K1'	642.27	13503.06	Ok
K2	675.42	16104.94	Ok
K4	408.97	10051.70	Ok

Tabel 13. Hasil Kontrol Momen Rencana Perkuatan FRP

Tipe kolom	M_u (kNm)	M_n (kNm)	$M_u \leq \phi M_n$
K1	297.54	480.10	Ok
K1'	88.38	173.20	Ok
K2	254.73	291.68	Ok
K4	36.75	121.70	Ok

4.6.2 Perkuatan *bore pile*

Dimensi pile cap adalah panjang = 2.2 m, lebar = 1.2 m, dan tebal = 0.55 m. Hasil perhitungan penambahan pile cap, diketahui kontrol pile cap:

1. Kontrol geser akibat kolom ($P_u \leq \phi V_c$, 1813.82 kN $\leq$ 1831.71 kN).

2. Kontrol geser akibat tiang ($P_{maks} \leq \phi V_c$, 453.32 kN $\leq$ 1311.02 kN).

Dipakai tulangan utama arah x dengan diameter D19 dipasang 14 buah dengan jarak tulangan (158 mm) dan arah y dipasang 8 buah dengan jarak tulangan (150 mm). Dan tulangan atas arah x dengan diameter D19 dipasang 7 buah dengan jarak tulangan (342 mm) dan arah y dipasang 4 buah dengan jarak tulangan (350 mm).

5 SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil evaluasi struktur bangunan gedung SDN 4 Mengwi disimpulkan sebagai berikut:

1. Semua tipe balok dan type kolom mampu menahan bebanbeban yang bekerja pada gedung existing.
2. Setelah ditambahkan lantai, semua balok masih mampu menahan beban-beban yang bekerja sedangkan semua type kolom tidak mampu menahan beban-beban yang bekerja akibat penambahan lantai sehingga dilakukan perkuatan. Jumlah kolom yang diperkuat berdasarkan type kolom yaitu

kolom K1 sebanyak 21 *frame*,
kolom K1' sebanyak 14 *frame*,
kolom K2 sebanyak 40 *frame*,
kolom K4 sebanyak 8 *frame*.

3. Analisis perkuatan struktur kolom dengan FRP jenis carbon dengan kuat tarik sebesar 2200 MPa, tebal FRP sebesar 0.5 mm, lebar FRP yaitu 100 mm dan jumlah FRP yang digunakan yaitu 1 lilitan.
4. Hasil perhitungan penambahan pondasi bore pile dengan kontrol $D_k > P$ ($1432.71 \text{ kN} > 1711.29 \text{ kN}$), didapatkan tambahan 2 tiang bore pile dengan dimensi 300 mm dan kedalam tiang yang sama seperti pondasi bore pile existing sedalam 3 m.
5. Hasil perhitungan penambahan pile cap, diketahui kontrol pile cap:
 - a. Kontrol geser akibat kolom ($P_u \leq \phi V_c$, $1813.82 \text{ kN} \leq 1831.71 \text{ kN}$).
 - b. Kontrol geser akibat tiang ($P_{maks} \leq \phi V_c$, $453.32 \text{ kN} \leq 1311.02 \text{ kN}$).
6. Dimensi pile cap 2200 x 1200 x 550 mm, dipakai tulangan utama arah x dengan diameter D19

dipasang 14 buah dengan jarak tulangan (158 mm) dan arah y dipasang 8 buah dengan jarak tulangan (150 mm). Dan tulangan atas arah x dengan diameter D19 dipasang 7 buah dengan jarak tulangan (342 mm) dan arah y dipasang 4 buah dengan jarak tulangan (350 mm).

5.2 Saran

Dalam melakukan analisis perkuatan dengan menggunakan FRP (harus tepat dalam memprediksi beban yang bekerja sebelum dilakukan perkuatan, untuk menentukan regangan awal sebelum dilakukan perkuatan sehingga dapat menentukan akurasi perhitungan yang tepat.

6 DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983* (PPIUG 1983). Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. (2002). *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures ACI 440.2R-02*. America: ACI Committee 440.

- Anonim. (2012). *SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2013). *SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2013). *SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2014). *SNI 2052:2014 tentang Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Asroni, A. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang Edisi Pertama*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Asroni, A. (2010). *Kolom, Fondasi dan Balok "T" Beton Bertulang Edisi pertama*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Christiawan, I., Triwiyono, A., Christady, H. (2008). Evaluasi Kinerja dan Perkuatan Struktur Gedung Guna Alih Fungsi Bangunan. *Forum Teknik Sipil No.XVIII/ 1- Januari* <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/cef/>, diunduh 9 April 2017.
- Christiawan, I. (2009). Perkuatan (Strengthening) Struktur Beton Dengan Fiber Reinforced Polymer (FRP), Vol. 6, No. 01. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/metana/article/view/1797> , diunduh 17 April 2018.