

Kajian Perkuatan Struktur Rumah Sakit RKZ Surabaya Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Sheets

Muhammad Farhan Firmansyah, Tavio, dan Harun Al Rasyid
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: tavio@ce.its.ac.id

Abstrak—Kejadian gempa sering sekali terjadi di Indonesia karena posisi Indonesia yang menempati zona tektonik sangat aktif. Oleh karena itu, perlu dilakukan peninjauan terhadap desain struktur yang ada untuk mencegah terjadinya kerugian material dan korban jiwa. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan evaluasi kapasitas struktur terhadap SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019 untuk mengetahui kebutuhan perkuatan struktur agar memenuhi standar bangunan terbaru. Perkuatan tersebut dapat meningkatkan kekuatan pada bangunan beton bertulang. Salah satu metode perkuatan yang banyak digunakan dalam dua dekade terakhir ini adalah memberi selubung pada elemen struktur beton menggunakan material Fiber Reinforced Polymer (FRP). FRP adalah material yang memiliki kuat tarik yang tinggi, ringan, tidak cepat karat, dan mudah dalam pelaksanaannya di lapangan. Dari segi kekuatan, FRP dapat meningkatkan kapasitas lentur dari elemen struktur. Jenis FRP yang sering digunakan dalam perkuatan struktur beton antara lain adalah Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) dan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP). GFRP adalah serat polimer yang terbuat dari matriks plastik diperkuat oleh serat halus dari kaca. GFRP merupakan jenis FRP yang relatif lebih murah dibanding jenis FRP lainnya. Rumah Sakit RKZ Surabaya merupakan salah satu rumah sakit yang terletak di Kota Surabaya dengan total lantai sebanyak 8. Pada tugas akhir ini akan dilakukan evaluasi kekuatan struktur menggunakan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019 pada Rumah Sakit RKZ Surabaya. Dari hasil evaluasi respon gempa didapatkan struktur eksisting masih mampu ditambah sebanyak 2 lantai. Dengan penambahan 2 lantai, didapatkan 52 balok membutuhkan perkuatan lentur, 68 balok membutuhkan perkuatan geser, 13 kolom membutuhkan perkuatan aksial – lentur, dan 210 kolom membutuhkan perkuatan geser dari total sebanyak 400 kolom dan 400 balok.

Kata Kunci—Glass Fiber Reinforced Polymer, Perkuatan Struktur, Retrofit, Sheets.

I. PENDAHULUAN

KEJADIAN gempa sering sekali terjadi di Indonesia karena posisi Indonesia yang menempati zona tektonik sangat aktif. Tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya saling bertemu di wilayah Indonesia sehingga interaksi antar lempeng tersebut menyebabkan terjadinya gempa bumi [1]. Karena itulah dilakukan perubahan peraturan desain seperti perubahan SNI Gempa 03-1726-2012 menjadi SNI Gempa 03-1726-2019. Oleh karena itu, perlu dilakukan peninjauan terhadap desain struktur yang ada untuk mencegah terjadinya kerugian material dan korban jiwa.

Dengan merobohkan dan membangun kembali bangunan yang tidak sesuai dengan peraturan baru akan menimbulkan polusi dan boros dari segi ekonomi [2]. Maka dari itu, perlu dilakukan perkuatan atau perbaikan pada struktur beton. Perkuatan tersebut dapat meningkatkan kekuatan pada

bangunan beton bertulang.

Perkuatan struktur beton untuk mempertahankan atau meningkatkan kekuatan sebenarnya sudah lama dikembangkan, sehingga banyak metode yang dapat digunakan dalam memperkuat struktur. Salah satu metode perkuatan yang banyak digunakan dalam dua dekade terakhir ini adalah memberi selubung pada elemen struktur beton menggunakan material *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) [3].

FRP adalah material yang memiliki kuat tarik yang tinggi, ringan, dan tidak cepat karat [4]. Selain itu FRP juga terbukti dapat menambah daktilitas pada elemen struktur beton [5]. Dari segi pemasangan, FRP juga lebih mudah dipasang daripada metode perkuatan lainnya sehingga dapat mengurangi biaya pemasangan dan tidak terlalu merubah geometri struktur [2]. Dari segi kekuatan, FRP dapat meningkatkan kapasitas lentur dari elemen struktur [6].

FRP memiliki beberapa jenis tersedia yang dapat digunakan. Jenis FRP yang sering digunakan dalam perkuatan struktur beton antara lain adalah *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) [3]. GFRP adalah serat polimer yang terbuat dari matriks plastik diperkuat oleh serat halus dari kaca [5]. GFRP merupakan jenis FRP yang relatif lebih murah dibanding jenis FRP lainnya [7]. Selain itu, GFRP memiliki karakteristik bahan yang lebih elastis dan memiliki elongation yang lebih besar sehingga memiliki daktilitas yang lebih besar dari CFRP [4].

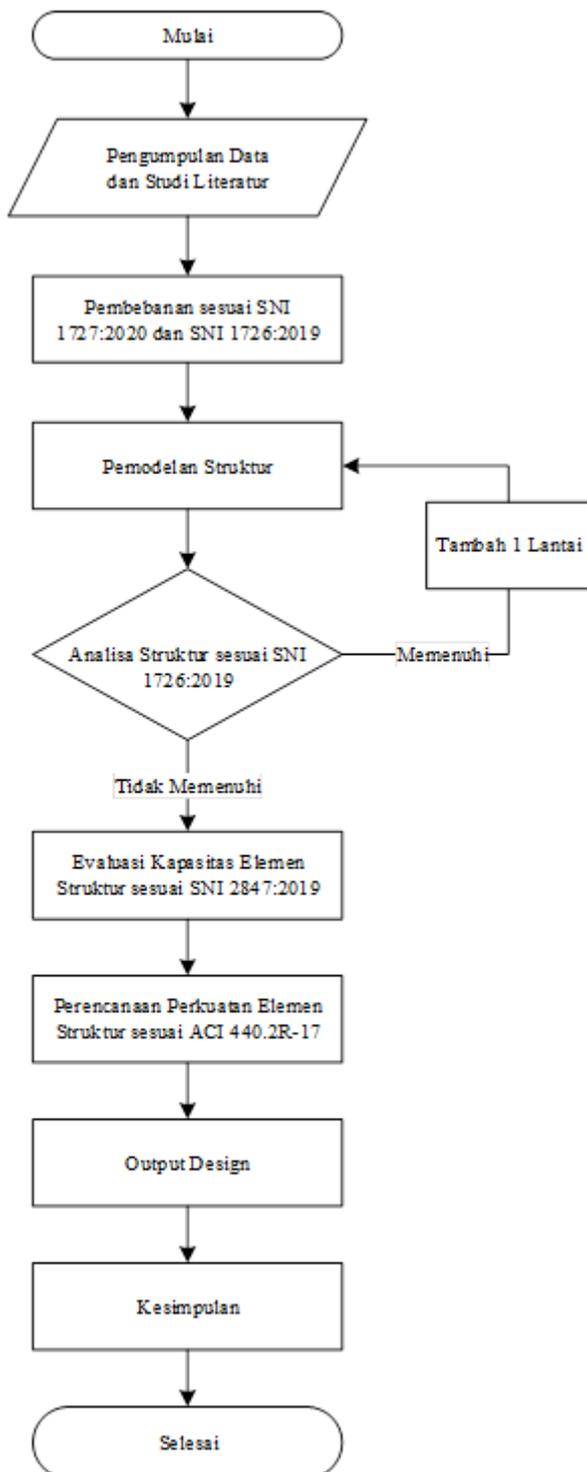
Objek perkuatan struktur dari tugas akhir ini adalah gedung Rumah Sakit RKZ yang terletak di Surabaya. Gedung tersebut merupakan bangunan yang memiliki 8 lantai yang akan dimodifikasi dengan penambahan lantai. Hal ini dikarenakan meningkatnya penyebaran COVID-19 yang menyebabkan kebutuhan kapasitas rumah sakit meningkat [8]. Selanjutnya gedung ini akan dievaluasi dengan SNI 1726:2019 pada kawasan zona gempa bumi yang kemudian akan direncanakan menggunakan perkuatan GFRP untuk meningkatkan kapasitas kekuatan elemen struktur.

II. MATERIAL DAN METODE

A. GFRP Sheets

GFRP Sheets yang dipakai menggunakan Tyfo SEH-81A. Spesifikasi GFRP Sheets berdasarkan brosur dapat dilihat sebagai berikut :

Nama Produk	: Tyfo SEH-81A
Tebal Lembaran	: 2 mm
Tegangan Tarik Material (f_{fu} *)	: 606 MPa
Regangan Putus Material (ϵ_{fu} *)	: 0,017
Modulus Elastisitas Material (E_f)	: 29.600 MPa



Gambar 1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir.

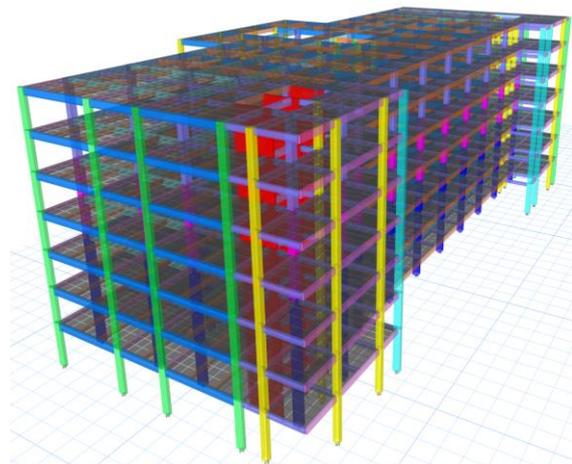
B. Metode Studi

Metode studi yang dilakukan dijelaskan dengan diagram alir pada Gambar 1.

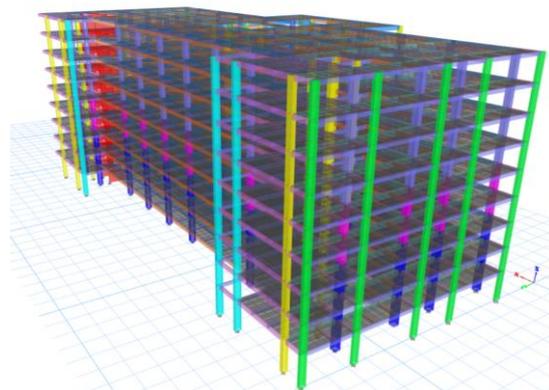
C. Data Eksisting Bangunan

1) Data Umum Bangunan

- Nama Gedung : Gedung Instalasi Rawat Jalan RKZ
- Tipe Bangunan : Rumah Sakit
- Jumlah Lantai : 8 Lantai (fl. to fl. 4,2 m)
- Lebar Bangunan : 39 meter
- Panjang Bangunan : 84 meter
- Tinggi Bangunan : 30,4 meter



Gambar 2. Pemodelan struktur eksisting rumah sakit RKZ.



Gambar 3. Pemodelan struktur rencana rumah sakit RKZ.

- Lokasi Gedung : Surabaya
- Situs Tanah : SE
- Kategori Risiko : IV
- Struktur Utama : Beton Bertulang

2) Data Material

- Kuat tekan beton (f_c') : 33,20 MPa
- Kuat leleh tulangan baja ulir (f_y) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan baja polos (f_y) : 240 MPa
- Modulus Elastisitas Baja (E_s) : 200.000 MPa

D. Data Rencana Bangunan

1) Data Umum Bangunan

- Nama Gedung : Gedung Instalasi Rawat Jalan RKZ
- Tipe Bangunan : Rumah Sakit
- Jumlah Lantai : 10 Lantai (fl. to fl. 4,2 m)
- Lebar Bangunan : 39 meter
- Panjang Bangunan : 84 meter
- Tinggi Bangunan : 38,8 meter
- Lokasi Gedung : Surabaya
- Situs Tanah : SE
- Struktur Utama : Beton Bertulang

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur didesain sebagai berikut:

1) Beban mati

- Beton Bertulang : 2400 kg/m³
- Plafon : 11 kg/m²

Tabel 1.
Hasil Partisipasi Massa Struktur Eksisting.

Mode	Period sec	SumUX	SumUY
10	0.234	0.9703	0.9416
11	0.218	0.9703	0.9543
12	0.212	0.9703	0.9656

Tabel 2.
Hasil Partisipasi Massa Struktur Rencana.

Mode	Period sec	SumUX	SumUY
10	0.285	0.9784	0.9419
11	0.282	0.9787	0.9551
12	0.261	0.9787	0.9552

Tabel 3.
Gaya Geser Dasar Seismik Eksisting.

Parameter Gaya Geser Dasar Seismik			
Koefisien Respons Seismik	C_s	=	0,0850
Periode Struktur (s)	T	=	1,41
Berat Seismik Efektif (kN)	W	=	224183
Gaya Geser Dasar Statik (kN)	V	=	19056,41
Gaya Geser Dasar Dinamik (kN)	$V_{dyn, X}$	=	12301,36
	$V_{dyn, Y}$	=	9695,23
Penskalaan Gaya Gempa	f_x	=	1,549
	f_y	=	1,966
Faktor Skala Awal (mm/s ²)	SF	=	2101,43
Faktor Skala Baru (mm/s ²)	SF_x	=	3255,38
	SF_y	=	4130,44

Tabel 4.
Gaya Geser Dasar Seismik Eksisting Rencana.

Parameter Gaya Geser Dasar Seismik Rencana			
Koefisien Respons Seismik	C_s	=	0,0683
Periode Struktur (s)	T	=	1,75
Berat Seismik Efektif (kN)	W	=	288261
Gaya Geser Dasar Statik (kN)	V	=	19701,76
Gaya Geser Dasar Dinamik (kN)	$V_{dyn, X}$	=	12454,39
	$V_{dyn, Y}$	=	9771,23
Penskalaan Gaya Gempa	f_x	=	1,582
	f_y	=	2,016
Faktor Skala Awal (mm/s ²)	SF	=	2101,43
Faktor Skala Baru (mm/s ²)	SF_x	=	3324,27
	SF_y	=	4237,11

Tabel 5.
Kontrol Sistem Ganda Struktur Eksisting.

No	Load Case	Persentase Dinding	Persentase Rangka
1	Gempa X	0%	100%
2	Gempa Y	41%	59%

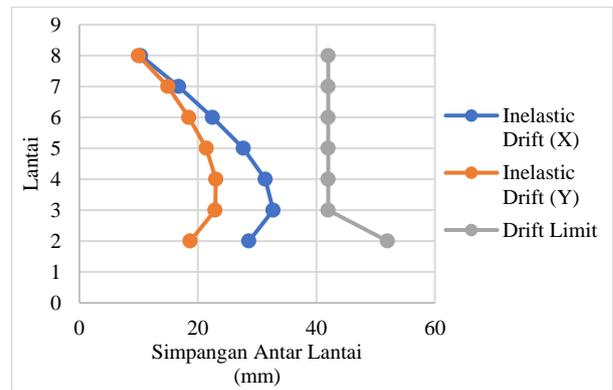
Tabel 6.
Kontrol Sistem Ganda Struktur Rencana.

No	Load Case	Persentase Dinding	Persentase Rangka
1	Gempa X	0%	100%
2	Gempa Y	40%	60%

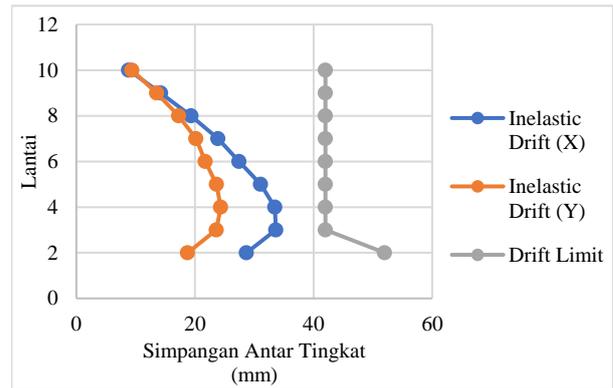
Penggantung : 7 kg/m²
 Ducting & Plumbing : 20 kg/m²
 Spesi (2 cm) : 42 kg/m²
 Keramik : 24 kg/m²
 Dinding bata ringan : 200 kg/m²

2) *Beban Hidup*

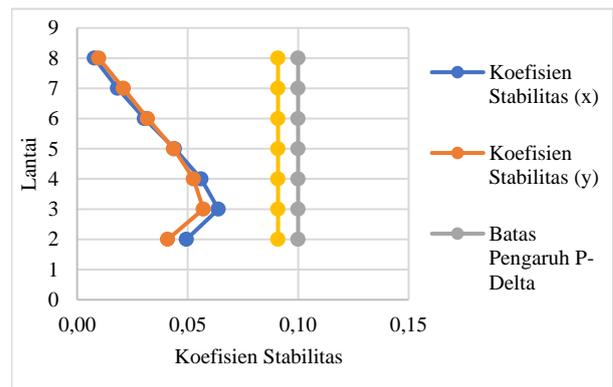
Lantai Atap : 97,89 kg/m²
 Ruang Koridor : 390,55 kg/m²
 Ruang Komputer : 488,44 kg/m²
 Ruang Pasien : 195,78 kg/m²



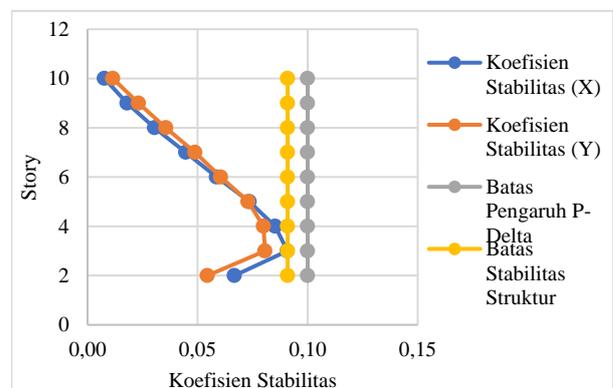
Gambar 4. Simpangan antar lantai struktur eksisting.



Gambar 5. Simpangan antar lantai struktur rencana.



Gambar 6. Koefisien stabilitas struktur eksisting.



Gambar 7. Koefisien stabilitas struktur rencana.

3) *Beban Gempa*

Menggunakan analisa respon spektrum sesuai SNI 1726:2019 dengan perencanaan berlokasi di Surabaya. Sistem struktur menggunakan sistem ganda SRPMK dan Dinding Geser Beton Bertulang Khusus.

Tabel 7.
Rekapitulasi Kapasitas Lentur Balok.

Label	ϕM_n Eksisting (kN-m)		M_u ETABS (kN-m)		Perkuatan Lentur	
	T (-)	L (+)	T (-)	T (-)	L (+)	T (-)
B340	404,73	307,98	431,39	203,71	Butuh	Tidak Butuh
B275	404,73	307,98	239,29	62,25	Tidak Butuh	Tidak Butuh
B273	404,73	307,98	282,79	70,09	Tidak Butuh	Tidak Butuh
B329	1119,78	941,67	801,18	373,74	Tidak Butuh	Tidak Butuh
B225	1119,78	941,67	1014,05	509,58	Tidak Butuh	Tidak Butuh
B178	1119,78	941,67	1168,75	468,47	Butuh	Tidak Butuh
B224	246,73	246,73	278,64	166,58	Butuh	Tidak Butuh
B134	246,73	246,73	212,88	75,99	Tidak Butuh	Tidak Butuh
B136	1119,78	941,67	1160,55	545,83	Butuh	Tidak Butuh
B59	246,73	246,73	212,25	81,27	Tidak Butuh	Tidak Butuh

Tabel 8.
Rekapitulasi Kapasitas Geser Balok.

Label	ϕV_n Eksisting (kN)		V_u Pakai (kN)		Perkuatan Geser	
	T	L	T	T	L	T
B340	270,86	219,92	332,33	187,05	Butuh	Tidak Butuh
B275	152,82	219,92	200,43	169,21	Butuh	Tidak Butuh
B273	270,86	219,92	368,06	159,9	Butuh	Tidak Butuh
B329	633,09	354,49	528,32	307,58	Tidak Butuh	Tidak Butuh
B225	633,09	354,49	371,47	329,49	Tidak Butuh	Tidak Butuh
B178	633,09	354,49	566,93	436,56	Tidak Butuh	Butuh
B224	220,75	179,23	210,7	145,28	Tidak Butuh	Tidak Butuh
B134	220,75	179,23	179,7	104,24	Tidak Butuh	Tidak Butuh
B136	633,09	354,49	659,59	539,69	Butuh	Butuh
B59	220,75	179,23	139,98	96,85	Tidak Butuh	Tidak Butuh

Tabel 9.
Rekapitulasi Kapasitas Aksial Lentur Kolom.

Label	Kapasitas Aksial Kolom (kN)			Strong Coloumn Weak Beam (kN-m)		
	ϕP_n	P_u	Cek	1.2 Mnb	2 x Mnc	Cek
C72	11155,36	12076,13	Not OK	1462,87	2324,60	OK
C58	11155,36	11749,09	Not OK	1462,87	2324,60	OK
C54	11155,36	11701,92	Not OK	1462,87	2324,60	OK
C84	11155,36	11673,92	Not OK	1462,87	2324,60	OK
C74	11155,36	11659,64	Not OK	1462,87	2324,60	OK
C40	11155,36	11316,48	Not OK	1462,87	2324,60	OK
C56	11155,36	11627,01	Not OK	1462,87	2324,60	OK
C46	11155,36	11613,20	Not OK	1462,87	2324,60	OK
C76	11155,36	11595,69	Not OK	1462,87	2324,60	OK
C44	11155,36	11558,95	Not OK	1462,87	2324,60	OK
C86	11155,36	11516,43	Not OK	1462,87	2324,60	OK

4) *Beban Angin*

Mengacu pada SNI 1727:2020 dengan perencanaan berlokasi di perkotaan Surabaya.

B. *Pemodelan Struktur Eksisting dan Rencana*

Struktur gedung rumah sakit RKZ Surabaya dimodelkan menggunakan program bantu ETABS v18. Pada struktur eksisting memiliki total 8 lantai dengan ketinggian total sebesar 30,4 m yang dapat dilihat pada Gambar 2. Pada struktur rencana dengan penambahan 2 lantai didapatkan total 10 lantai dengan ketinggian total sebesar 38,8 m yang dapat dilihat pada Gambar 3.

C. *Analisa Pemodelan Struktur*

1) *Kontrol Partisipasi Massa*

Hasil Analisa struktur eksisting dan rencana pada mode 12 menunjukkan partisipasi massa telah melebihi 90% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 sebagaimana yang disyaratkan pada SNI 1726:2019.

2) *Kontrol Gaya Geser Dasar Seismik*

Koefisien respons seismik (C_s) ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 Nilai R yang digunakan untuk sistem ganda dengan dinding geser beton bertulang khusus adalah 7. Berikut rekapitulasi untuk gaya geser dasar seismik pada struktur eksisting dan rencana pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Dari Tabel 3 dan 4 didapati bahwa gaya geser dasar dinamik perlu diperbesar hingga sama dengan gaya geser statik sesuai persyaratan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1

3) *Kontrol Simpangan Antar Lantai (Drift)*

Simpangan antar lantai tidak boleh melebihi simpangan izin sebagaimana disyaratkan pada SNI 1726:2019 pasal 7.12.1. Hasil rekapitulasi grafik simpangan antar lantai pada struktur eksisting dan rencana dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Dari Gambar 4 dan Gambar 5 didapati bahwa simpangan antar lantai struktur masih memenuhi persyaratan.

Tabel 10.
Rekapitulasi Kapasitas Geser Kolom.

Label	ϕV_n Eksisting (kN)		V_u Pakai (kN)		Perkuatan Geser	
	T	L	T	T	L	T
C72	802,16	675,17	892,88	233,24	Not OK	OK
C58	799,18	672,18	892,88	220,22	Not OK	OK
C54	799,31	672,31	892,88	196,24	Not OK	OK
C84	799,45	672,45	892,88	129,81	Not OK	OK
C74	798,29	671,29	892,88	176,62	Not OK	OK
C40	789,86	662,86	892,88	213,74	Not OK	OK
C56	799,59	672,59	892,88	189,49	Not OK	OK
C46	798,55	671,55	892,88	244,51	Not OK	OK
C76	798,08	671,08	892,88	162,30	Not OK	OK
C44	797,43	670,43	892,88	255,46	Not OK	OK

Tabel 11.
Kapasitas Aksial Lentur Dinding Geser.

No.	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	$\phi M_u / M_u$
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm	
1	-1231,2	15,94	3583,39	25,03	5626,09	1,57
2	8505,37	3,45	6901,28	7,94	15884,9	2,302
3	454,7	498,43	-626,65	558,03	-701,58	1,12
4	2424,34	-417,71	40,89	-776,58	76,02	1,859
5	1256,43	29,01	6769,29	40,4	9427,66	1,393
6	7662,05	-55,5	-7834,7	-107,43	-15166,7	1,936

Tabel 12.
Kapasitas Geser Dinding Geser.

Pengecekan Kapasitas Geser			
Gaya Geser Ultimate	V_u	=	1075,54 kN
Faktor Reduksi Geser	ϕ	=	0,75
Gaya Geser Desain	V_u / ϕ	=	1434,05 kN
Gaya Geser Nominal (kN)	V_n	=	3897,31 kN
Cek Kapasitas Geser		=	OK

4) Kontrol Pengaruh P-delta

Pengaruh P-delta ditentukan berdasarkan nilai dari koefisien stabilitas (θ) sebagaimana mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.7. Hasil rekapitulasi grafik koefisien stabilitas pada struktur eksisting dan rencana dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Pada Gambar 7 didapati bahwa dengan penambahan 2 lantai, maka koefisien stabilitas struktur mendekati batas stabilitas struktur (θ_{max}) sehingga jika dilakukan penambahan lantai lagi maka struktur berpotensi tidak stabil sehingga diperlukan desain ulang.

5) Kontrol Sistem Ganda

Pada sistem struktur SPRMK dan dinding geser (*shear wall*), rangka harus memikul minimum 25% dari gaya seismik total yang bekerja pada struktur sesuai persyaratan SNI 1726:2019 pasal 7.2.5.1. Kontrol sistem ganda pada struktur eksisting dan rencana dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Dari Tabel 5 dan Tabel 6 didapati sistem rangka masih memikul lebih dari 25% sehingga masih memenuhi persyaratan.

D. Evaluasi Kapasitas Elemen Struktur Rencana

1) Analisa Lentur Balok

Pengecekan kapasitas lentur balok menggunakan metode tulangan rangkap dengan memasukkan pengaruh tulangan tekan sehingga dapat menghasilkan kapasitas lentur nominal aktual yang dapat dipikul oleh balok. Berikut hasil

rekapitulasi kapasitas lentur balok lantai 2 pada Rumah Sakit RKZ Surabaya dengan contoh 10 sampel pada Tabel 7.

Dari hasil analisa kapasitas lentur balok didapatkan bahwa 52 balok pada rumah sakit RKZ membutuhkan perkuatan lentur pada daerah tumpuan.

2) Analisa Geser Balok

Pengecekan kapasitas geser balok dilakukan pada daerah tumpuan dan lapangan. Pada daerah tumpuan gaya geser yang dipakai adalah terbesar dari gaya geser pada pasal 18.6.5.1 SNI 2847:2019 dan gaya geser output ETABS. Berikut hasil rekapitulasi kapasitas geser balok lantai 2 pada Rumah Sakit RKZ Surabaya dengan contoh 10 sampel pada Tabel 8.

Dari hasil analisa kapasitas geser balok didapatkan bahwa 68 balok pada rumah sakit RKZ membutuhkan perkuatan geser pada daerah tumpuan maupun lapangan.

3) Analisa Aksial Lentur Kolom

Pengecekan kapasitas lentur kolom menggunakan program bantu spColumn dan sesuai persyaratan pada SNI 2847:2019 pasal 22.4.2.2. Berikut hasil rekapitulasi kapasitas aksial lentur kolom lantai 1 pada Rumah Sakit RKZ Surabaya dengan contoh 10 sampel pada Tabel 9.

Dari hasil analisa kapasitas aksial lentur kolom didapatkan bahwa 13 kolom pada rumah sakit RKZ membutuhkan perkuatan aksial lentur.

4) Analisa Geser Kolom

Pengecekan kapasitas geser kolom dilakukan pada daerah tumpuan dan lapangan. Pada daerah tumpuan gaya geser yang dipakai adalah terbesar dari gaya geser pada pasal 18.7.6.1

Tabel 13.
Kapasitas Geser Hubungan Balok Kolom.

Joint	Sumbu X		Sumbu Y		Cek Kapasitas HBK	
	ϕV_n	V_u	ϕV_n	V_u	Sb, X	Sb, Y
K3-B3-B1	3526,31	1601,77	3526,31	2974,68	OK	OK
K5-B3-B4	2350,87	1601,77	2350,87	1349,94	OK	OK
K1-B3-B1	4701,75	1601,77	4701,75	2974,68	OK	OK
K6-B3-B4	2644,73	1601,77	2644,73	1349,94	OK	OK
K1-B3-B4	4701,75	1601,77	4701,75	1349,94	OK	OK
K3-B3-B1	3526,31	1601,77	3526,31	2974,68	OK	OK
K6-B5-B4	2644,73	956,66	2644,73	1349,94	OK	OK
K1-B1-B1	4701,75	2974,68	4701,75	2974,68	OK	OK
K1-B2-B1	4701,75	2654,89	4701,75	2974,68	OK	OK
K1-B2-B2	4701,75	2654,89	4701,75	2654,89	OK	OK

Tabel 14.
Rekapitulasi Perkuatan Lentur Balok.

Label	ϕM_n Perkuatan (kN-m)		Mu ETABS (kN-m)		Jumlah Lembaran GFRP Sheet	
	T (-)	L (+)	T (-)	L (+)	T (-)	L (+)
B340	448,39	307,98	431,39	203,71	2	0
B340	466,96	307,98	450,44	203,70	3	0
B178	1174,42	941,67	1155,73	442,75	3	0
B224	306,41	246,73	293,57	146,32	3	0
B178	1148,92	941,67	1124,56	434,28	2	0
B224	290,36	246,73	278,64	166,58	2	0
B136	1174,06	941,67	1160,55	545,83	3	0
B224	309,05	246,73	294,59	138,78	3	0
B340	426,73	307,98	413,45	196,51	1	0
B224	268,63	246,73	258,42	119,43	1	0

SNI 2847:2019 dan gaya geser output ETABS. Berikut hasil rekapitulasi kapasitas geser kolom lantai 1 pada Rumah Sakit RKZ Surabaya dengan contoh 10 sampel pada Tabel 10.

Dari hasil analisa kapasitas geser kolom didapatkan bahwa 210 kolom pada rumah sakit RKZ membutuhkan perkuatan geser pada daerah tumpuan.

5) Analisa Dinding Geser

Dinding geser pada Rumah Sakit RKZ mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- Tebal Dinding Geser = 300 mm
- Panjang Dinding Geser = 4000 mm
- Rasio Tulangan = 0,96 %

Pengecekan kapasitas aksial lentur dan geser dilakukan sesuai dengan persyaratan SNI 2847:2019 pasal 18.10.2 dan 18.10.4.1. Berikut hasil rekapitulasi kapasitas aksial lentur pada Tabel 11 dan untuk kapasitas geser pada Tabel 12.

Pada Tabel 11 didapati bahwa rasio momen nominal dengan momen *ultimate* masih lebih dari 1 dan pada Tabel 12 gaya geser nominal masih lebih dari gaya geser desain sehingga dinding geser eksisting masih kuat terhadap gaya aksial lentur dan gaya geser yang terjadi.

6) Analisa Hubungan Balok Kolom

Pengecekan kapasitas hubungan balok kolom dilakukan sesuai dengan persyaratan SNI 2847:2019 pasal 18.8 dengan kapasitas nominal geser berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.1. Berikut hasil rekapitulasi kapasitas hubungan balok kolom pada Rumah Sakit RKZ Surabaya dengan contoh 10 sampel pada Tabel 13.

Dari hasil analisa kapasitas geser hubungan balok dengan total 52 konfigurasi kolom balok yang ada pada rumah sakit RKZ didapatkan bahwa semua aman dari gaya geser.

E. Perkuatan Struktur Primer Rencana

Dari analisa kapasitas kekuatan struktur diatas didapatkan bahwa terdapat elemen struktur yang membutuhkan perkuatan akibat penambahan 2 lantai. Material perkuatan menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) dari Tyfo dalam memperkuat lentur dan geser elemen struktur.

1) Perkuatan Lentur Balok

Perencanaan perkuatan lentur balok dilakukan sesuai dengan ACI 440.2R-17 pasal 16.3. Berikut rekapitulasi perkuatan lentur balok dengan contoh 10 sampel pada Tabel 14. Total balok yang diperkuat lentur berjumlah 52.

Dari hasil analisa perkuatan lentur balok didapatkan bahwa kebutuhan jumlah lembaran semakin berkurang seiring dengan naiknya lantai yang ditinjau dikarenakan momen *ultimate* yang semakin mengecil.

2) Perkuatan Geser Balok

Perencanaan perkuatan geser balok dilakukan sesuai dengan ACI 440.2R-17 pasal 16.6. Berikut rekapitulasi perkuatan geser balok dengan contoh 10 sampel pada Tabel 15. Total balok yang diperkuat geser berjumlah 68.

3) Perkuatan Aksial Lentur Kolom

Perencanaan perkuatan aksial lentur kolom dilakukan sesuai dengan ACI 440.2R-17 pasal 16.9. Berikut rekapitulasi perkuatan aksial lentur dengan contoh 10 sampel pada Tabel 16. Total kolom yang diperkuat aksial lentur berjumlah 13.

Dari hasil analisa perkuatan aksial lentur kolom didapatkan bahwa kebutuhan jumlah lembaran semakin berkurang seiring dengan naiknya lantai yang ditinjau dikarenakan gaya aksial dan lentur yang semakin mengecil. Total kolom yang diperkuat berjumlah 12 kolom pada lantai 1 dan 1 kolom pada lantai 2.

Tabel 15.
Rekapitulasi Perkuatan Geser Balok.

Label	ϕV_n Perkuatan (kN)		V_u Pakai (kN)		Jumlah Lembaran – Spasi Lembaran	
	T	L	T	T	L	T
B340	336,98	219,92	332,33	187,05	1-500	0
B275	325,96	219,92	200,43	169,21	1-600	0
B273	381,06	219,92	368,06	159,90	1-300	0
B178	633,09	455,08	566,93	436,56	0	1-500
B136	716,91	689,79	659,59	539,69	1-600	1-150
B112	325,96	219,92	258,04	156,33	1-600	0
B113	633,09	605,96	562,66	438,72	0	1-200
B325	325,96	219,92	239,91	128,73	1-600	0
B30	325,96	219,92	173,23	113,15	1-600	0
B340	336,98	219,92	334,23	188,35	1-500	0

Tabel 16.
Rekapitulasi Perkuatan Aksial Lentur Kolom.

Label	Kapasitas Aksial Kolom Eksisting (kN)		Jumlah Lapisan GFRP Sheets		ϕP_n Perkuatan Pu	Kapasitas Aksial Kolom Eksisting (kN) Cek
	ϕP_n	Pu	Cek	ϕP_n		
C72	11155,36	12076,13	Not OK	3	12246,94	C72
C58	11155,36	11749,09	Not OK	2	11883,08	C58
C54	11155,36	11701,92	Not OK	2	11883,08	C54
C84	11155,36	11673,92	Not OK	2	11883,08	C84
C74	11155,36	11659,64	Not OK	2	11883,08	C74
C40	11155,36	11316,48	Not OK	1	11519,22	C40
C56	11155,36	11627,01	Not OK	2	11883,08	C56
C46	11155,36	11613,20	Not OK	2	11883,08	C46
C76	11155,36	11595,69	Not OK	2	11883,08	C76
C44	11155,36	11558,95	Not OK	2	11883,08	C44

Tabel 17.
Rekapitulasi Perkuatan Geser Kolom.

Label	ϕV_n Perkuatan (kN)	ϕV_n Eksisting (kN)	V_u ETABS (kN)	Jumlah Lembaran GFRP Sheet	Spasi GFRP Sheet (mm)	Label
	T	T	T	T	T	
C68	581,89	497,14	515,61	1	300	C68
C78	1341,20	1178,18	1184,11	1	300	C78
C106	1339,37	1164,42	1184,11	1	300	C106
C48	1340,05	1169,53	1184,11	1	300	C48
C68	702,85	483,61	638,37	1	300	C68
C16	1336,71	1144,45	1184,11	1	300	C16
C34	1340,51	1172,97	1184,11	1	300	C34
C26	1337,52	1150,56	1184,11	1	300	C26
C100	1340,02	1169,30	1184,11	1	300	C100
C122	1319,09	1012,35	1184,11	1	300	C122

4) Perkuatan Geser Kolom

Perencanaan perkuatan geser kolom dilakukan sesuai dengan ACI 440.2R-17 pasal 16.7. Berikut rekapitulasi perkuatan geser dengan contoh 10 sampel pada Tabel 17. Total kolom yang diperkuat geser berjumlah 210.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi perencanaan perkuatan struktur akibat penambahan lantai dengan GFRP *Sheets* disimpulkan sebagai berikut: (1) Hasil evaluasi respon dinamis gempa struktur eksisting 8 lantai menggunakan SNI 1726:2019 didapatkan bahwa struktur masih aman. (2) Hasil iterasi penambahan lantai pada struktur eksisting didapatkan maksimal penambahan lantai adalah 2 lantai. Hal ini dikarenakan koefisien stabilitas struktur mendekati θ_{max} sehingga jika dilakukan penambahan lantai lagi struktur berpotensi tidak stabil. (3) Hasil evaluasi dinding geser sesuai SNI 2847:2019 didapatkan bahwa dinding geser eksisting

masih mampu menahan gaya yang bekerja akibat perubahan skala faktor gaya gempa dikarenakan penambahan 2 lantai. (4) Pada hasil evaluasi kapasitas elemen struktur balok didapatkan beberapa balok membutuhkan perkuatan lentur dan geser dikarenakan perubahan skala faktor gaya gempa akibat penambahan 2 lantai. Total balok yang diperkuat lentur sebanyak 52 dan diperkuat geser sebanyak 68. (5) Pada hasil evaluasi kapasitas elemen struktur kolom didapatkan beberapa kolom membutuhkan perkuatan lentur dan geser dikarenakan perubahan skala faktor gaya gempa akibat penambahan 2 lantai. Total kolom yang diperkuat aksial lentur sebanyak 13 dan diperkuat geser sebanyak 210. (6) Pada hasil evaluasi kapasitas hubungan balok kolom didapatkan bahwa konfigurasi balok dan kolom yang terhubung pada struktur aman dari kegagalan geser pada *joint*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. K. Apriyadi and R. Amelia, "Tingkat pengetahuan kesiapsiagaan resiko bencana tsunami disaat pandemi covid-19," *PENDIPA Journal*

- of Science Education*, vol. 5, no. 1, pp. 56–62, Dec. 2020, doi: 10.33369/pendipa.5.1.56-62.
- [2] S. Raza, M. K. I. Khan, S. J. Menegon, H.-H. Tsang, and J. L. Wilson, “Strengthening and repair of reinforced concrete columns by jacketing: state-of-the-art review,” *Sustainability*, vol. 11, no. 11, 2019, doi: 10.3390/su11113208.
- [3] H. Ali, J. Assih, and A. Li, “Flexural capacity of continuous reinforced concrete beams strengthened or repaired by CFRP/GFRP sheets,” *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 104, p. 102759, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102759>.
- [4] I. Putu, P. Rusmana, G. Nyoman, P. Wijaya, and M. Ardantha, “Perencanaan perkuatan struktur gedung kantor camat petang akibat penambahan lantai dengan frp (fiber reinforced polymer),” *PADURAKSA*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [5] S. Nurlina, H. Suseno, M. T. Hidayat, and I. M. Y. Pratama, “Perbandingan daktilitas balok beton bertulang dengan menggunakan perkuatan CFRP dan GFRP,” *Rekayasa Sipil*, vol. 10, no. 1, 2016.
- [6] M. Hasan, Mahlil, and A. Mubarak, “Desain perkuatan struktur bangunan gedung akibat perubahan fungsi dan umur bangunan menggunakan cfrp sheet,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 9, no. 1, pp. 21–31, May 2020, doi: <https://doi.org/10.24815/jts.v9i1.15945>.
- [7] V. Kissman and L. Sundar, “An experimental study on strengthening of RC column with GFRP,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 21, pp. 278–285, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.430>.
- [8] G. E. Weissman *et al.*, “Locally informed simulation to predict hospital capacity needs during the covid-19 pandemic,” *Annals of Internal Medicine*, vol. 173, no. 1, pp. 21–28, Jul. 2020, doi: 10.7326/M20-1260.