

Perkuatan Struktur Bangunan Akibat Penurunan Mutu Beton dengan Metode Concrete Jacketing dan Fiber Reinforced Polymer (Studi Kasus)

Martius GINTING^{1*}, Yohanes SIBAGARIANG¹, Dandi Suwondo SITUMORANG¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Santo Thomas, e-mail: martius_gt@yahoo.com

Sejarah artikel

Diserahkan: 09 Januari 2025
Dalam bentuk revisi: 30 Juni 2025

Diterima: 30 Juni 2025
Tersedia online: 31 Juli 2025

Abstract

Strengthening is often carried out to reinforce buildings that have been damaged after an earthquake, poorly constructed buildings, functional changes in structures, and the deterioration of concrete quality in structures. In this study, the building to be strengthened is the building of the Anugerah Misi Theological College Apartment in West Nias. Many methods have been developed for strengthening techniques, such as concrete jacketing and fiber reinforced polymer, due to their ease of implementation. In this case, the author conducts an analytical study related to the capacity of a structure that has experienced a reduction in concrete quality, which is planned with the strengthening effort of concrete jacketing on the column structure and fiber reinforced polymer on the beam structure. The results of this final project research show that in the existing condition of the building structure, due to the decrease in concrete quality, the displacement exceeds the permissible displacement, and the capacity of the columns and beams is insufficient to resist the applied loads. Therefore, strengthening is carried out on the columns using the concrete jacketing method and on the beams using the fiber reinforced polymer method. With the application of concrete jacketing on the columns and fiber reinforced polymer on the beams, an increase in the base shear force will occur. Additionally, the strengthening can reduce the displacement and improve the axial moment capacity.

Keywords: strengthening, concrete jacketing, fiber reinforced polymer, displacement.

Abstrak

Perkuatan struktur sering kali diperlukan pada bangunan yang mengalami kerusakan akibat gempa, memiliki kualitas konstruksi yang buruk, mengalami perubahan fungsi, atau penurunan mutu material, khususnya beton. Penelitian ini difokuskan pada perkuatan struktur gedung Rumah Susun Sekolah Tinggi Teologi Anugerah Misi di Nias Barat. Dua metode perkuatan yang banyak digunakan karena kemudahan pelaksanaannya adalah concrete jacketing dan fiber reinforced polymer (FRP). Dalam studi ini, dilakukan analisis terhadap kapasitas struktur yang mengalami penurunan mutu beton, dengan menerapkan perkuatan concrete jacketing pada elemen kolom dan FRP pada elemen balok. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur eksisting mengalami simpangan melebihi batas izin serta memiliki kapasitas kolom dan balok yang tidak mencukupi untuk menahan beban yang bekerja. Setelah dilakukan perkuatan, terjadi peningkatan kapasitas struktur, terutama pada gaya geser dasar. Selain itu, perkuatan juga mampu mereduksi simpangan dan meningkatkan kapasitas aksial dan momen lentur struktur secara signifikan.

Kata kunci: perkuatan, concrete jacketing, fiber reinforced polymer, simpangan.

1. Pendahuluan

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 14 Tahun 2017 tentang Persyaratan Kemudahan Bangunan Gedung, setiap bangunan yang melayani kebutuhan masyarakat umum, termasuk rumah hunian, wajib memenuhi persyaratan teknis terkait kemanfaatan, keselamatan, kenyamanan, dan keserasian lingkungan. Aspek keselamatan bangunan sangat dipengaruhi oleh kekuatan elemen struktur seperti balok, kolom, dan pelat, yang harus direncanakan dan diawasi secara ketat sejak awal hingga akhir konstruksi, termasuk kualitas material dan pelaksanaan pekerjaan.

Beton bertulang merupakan material komposit yang tersusun dari beton sebagai elemen tekan dan baja tulangan sebagai elemen tarik, yang secara bersama-sama bekerja untuk menahan beban struktural. Kombinasi ini memungkinkan beton bertulang memiliki kekuatan tinggi, durabilitas yang baik, serta kemampuan menahan beban dalam jangka waktu lama (McCormac & Brown, 2015). Namun demikian, meskipun beton bertulang memiliki keunggulan struktural, kerusakan tetap dapat terjadi akibat berbagai faktor seperti kelebihan beban, korosi pada tulangan, kesalahan dalam pelaksanaan konstruksi, serta pengaruh lingkungan seperti siklus beku-cair atau reaksi kimia dalam beton (Wight & MacGregor, 2016). Kerusakan tersebut umumnya muncul dalam bentuk retak, spalling, penurunan kapasitas struktur, atau deformasi berlebih, yang jika tidak ditangani dapat membahayakan fungsi dan keselamatan bangunan secara keseluruhan.

Perkuatan dan perbaikan kolom beton bertulang dengan metode concrete jacketing merupakan salah satu teknik yang paling umum dan telah terbukti efektif dalam meningkatkan kapasitas struktur, terutama di wilayah rawan gempa. Metode ini dilakukan dengan mengecor lapisan beton baru yang diperkuat dengan tulangan longitudinal dan transversal mengelilingi kolom eksisting, sehingga tidak hanya memperbesar penampang kolom tetapi juga meningkatkan kekakuan, kekuatan lentur, kapasitas aksial, serta daktilitas elemen struktur tersebut (Habib dkk. 2020). Meskipun teknik ini dianggap sederhana dan dapat diterapkan pada berbagai bentuk penampang kolom, beberapa tantangan teknis masih perlu diperhatikan, seperti perlakuan permukaan untuk memastikan ikatan yang baik antara beton lama dan baru serta potensi perubahan sifat dinamis struktur akibat peningkatan massa dan kekakuan (Raza dkk., 2019). Dengan perkembangan material berperforma tinggi, *concrete jacketing* kini juga dapat dilakukan tanpa perlu memperbesar dimensi penampang secara signifikan, sehingga tetap mempertahankan estetika dan fungsi bangunan (Raza dkk., 2019; Rizqi, 2011).

Fiber Reinforced Polymer (FRP) merupakan salah satu teknologi material modern yang banyak digunakan dalam perkuatan eksternal struktur beton karena memiliki kekuatan tarik tinggi, ringan, tahan korosi, serta mudah diaplikasikan di lapangan. Penggunaan FRP, seperti *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP), terbukti mampu meningkatkan kapasitas struktur secara signifikan, baik dalam aspek kekuatan tekan maupun ketahanan terhadap gaya lateral dan getaran gempa (Tarigan dkk., 2018). CFRP khususnya menunjukkan kinerja lebih unggul dibanding GFRP dalam meningkatkan kuat tekan beton, dengan peningkatan hingga 26,89% (Tarigan dkk., 2018) serta bahkan mencapai 61,18% pada beton normal dengan material lokal seperti pasir Samboja (Respati & Achmad, 2017). Selain itu, aplikasi FRP dalam bentuk lembaran yang direkatkan menggunakan resin atau *epoxy* telah banyak digunakan sebagai solusi retrofit yang praktis dan efisien, menggantikan metode tradisional seperti pelat baja (Goreti dkk., 2024). Keunggulan inilah yang menjadikan FRP sebagai alternatif andalan dalam upaya rehabilitasi dan peningkatan kinerja struktur beton bertulang.

Pada proyek Rumah Susun Sekolah Tinggi Teologi Anugerah Misi – Nias Barat, hasil uji Hammer Test menunjukkan bahwa sebagian mutu beton pada elemen struktural tidak memenuhi standar PBI 1971, yaitu kurang dari 80% kuat tekan rencana. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis struktur lanjutan dan penerapan metode perkuatan, seperti *concrete jacketing* dan *fiber reinforced polymer* (FRP), guna memastikan bangunan tetap aman, layak huni, dan memiliki umur layan yang optimal.

2. Metodologi

Studi Kasus

Dalam penelitian ini dilakukan studi kasus sebuah perencanaan perkuatan struktur bangunan akibat penurunan mutu beton dengan metode *concrete jacketing* dan *fiber reinforced polymer* pada Rumah Susun Sekolah Tinggi Teologi Anugerah Misi – Nias Barat. Dalam studi kasus, yang paling utama adalah mengumpulkan dan mempelajari data-data perencanaan serta mengumpulkan keterangan dari buku-buku atau jurnal penelitian yang relevan dan berhubungan dengan analisa perencanaan perkuatan struktur bangunan gedung.

Lokasi Penelitian

Nama Bangunan = Rumah Susun Sekolah Tinggi Teologi Anugerah Misi
 Letak Bangunan = Jl. R.A. Kartini, Kec. Mandrehe, Kab. Nias Barat, Sumatera Utara
 Koordinat Lintang = 1,012694
 Koordinat Bujur = 97,499566
 Fungsi Bangunan = Gedung Apartemen/Rumah Susun
 Jumlah Lantai = 3 Lantai
 Tinggi Bangunan = 14,6 m
 Panjang Total Bangunan Arah Y = 20,175 m
 Panjang Total Bangunan Arah X = 38,250 m

Data Hasil Kuat Tekan Berdasarkan Hammer Test dan Core Drill

Adapun hasil uji kuat tekan berdasarkan *hammer test* dan *core drill* sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil uji kuat tekan berdasarkan *hammer test*

No.	Elemen	Tegangan Beton Karakteristik (σ_{bk}) (MPa)	Target Tegangan Beton Karakteristik (σ_{bk}) (MPa)	Ket.	80% Mutu Rencana	Rekomendasi	
1	Kolom Lantai 1	B-10	27,33	24,9	Ok	19,92	Aman
		E-10	27,16	24,9	Ok	19,92	Aman
		F-9	22,27	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		F-8	23,02	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		E-8	24,07	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		E-7	26,04	24,9	Ok	19,92	Aman
		F-6	24,73	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		F-5	30,42	24,9	Ok	19,92	Aman
		E-5	28,50	24,9	Ok	19,92	Aman
		E-4	27,58	24,9	Ok	19,92	Aman
		E-3	23,21	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		F-2	20,00	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		A-7	26,42	24,9	Ok	19,92	Aman
		B-8	25,62	24,9	Ok	19,92	Aman
		E-9	22,14	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		E-6	24,41	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		F-4	29,41	24,9	Ok	19,92	Aman
		E-2	21,54	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		B-1	29,88	24,9	Ok	19,92	Aman
		A-3	30,47	24,9	Ok	19,92	Aman
		A-4	31,43	24,9	Ok	19,92	Aman
		A-5	34,42	24,9	Ok	19,92	Aman
		A-1	26,31	24,9	Ok	19,92	Aman
		A-2	29,01	24,9	Ok	19,92	Aman
		E-1	12,98	24,9	Tidak ok	19,92	Perkuatan
		B-2	21,32	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		B-3	23,86	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		B-4	33,50	24,9	Ok	19,92	Aman
B-5	30,89	24,9	Ok	19,92	Aman		
B-6	27,24	24,9	Ok	19,92	Aman		
B-7	27,78	24,9	Ok	19,92	Aman		
B-9	24,19	24,9	Tidak ok	19,92	Aman		
2	E-1	22,23	24,9	Tidak ok	19,92	Aman	

No.	Elemen	Tegangan Beton Karakteristik (σ_{bk}) (MPa)	Target Tegangan Beton Karakteristik (σ_{bk}) (MPa)	Ket.	80% Mutu Rencana	Rekomendasi	
3	Kolom Lantai 2	A-2	15,29	24,9	Tidak ok	19,92	Perkuatan
		A-4	20,75	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		B-6	24,02	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		B-9	23,11	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		F-9	25,77	24,9	Ok	19,92	Aman
		E-7	26,30	24,9	Ok	19,92	Aman
		F-4	26,52	24,9	Ok	19,92	Aman
		E-3	28,89	24,9	Ok	19,92	Aman
		F-1	24,08	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		B-1	20,23	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		F-2	21,25	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		E-2	32,51	24,9	Ok	19,92	Aman
		B-2	21,83	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		A-3	19,03	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		B-3	18,81	24,9	Tidak ok	19,92	> 70% rencana
		B-4	29,67	24,9	Ok	19,92	Aman
		B-5	25,78	24,9	Ok	19,92	Aman
		A-5	30,29	24,9	Ok	19,92	Aman
		A-6	28,27	24,9	Ok	19,92	Aman
		B-7	29,26	24,9	Ok	19,92	Aman
		A-7	21,57	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		B-8	21,16	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		B-10	22,89	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		E-10	21,05	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		E-9	23,98	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		F-8	25,10	24,9	Ok	19,92	Aman
		E-8	19,21	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		F-7	31,43	24,9	Ok	19,92	Aman
		E-5	25,93	24,9	Ok	19,92	Aman
		E-4	28,88	24,9	Ok	19,92	Aman
		F-3	29,22	24,9	Ok	19,92	Aman
		3	Balok Lantai 2	10-A,B	27,86	24,9	Ok
A-9,10	29,25			24,9	Ok	19,92	Aman
1-A,B	25,80			24,9	Ok	19,92	Aman
1,2-A	21,89			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
E,F-1	25,65			24,9	Ok	19,92	Aman
F-1,2	22,90			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
E,F-2	26,45			24,9	Ok	19,92	Aman
F-2,3	21,03			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
E-3,4	23,57			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
E,F-3	22,76			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
F-3,4	21,31			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
E,F-4	21,37			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
F-4,5	22,37			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
E,F-5	25,79			24,9	Ok	19,92	Aman
E,F-6	19,37			24,9	Tidak ok	19,92	> 70% rencana
E-5,6	17,18			24,9	Tidak ok	19,92	Perkuatan
F-6,7	25,93			24,9	Ok	19,92	Aman
E,F-7	22,96			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
B,E-9	23,48			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
B-9,10	22,17			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
B-8,9	21,69			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
A,B-9	23,50			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
B-7,8	20,29			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
A,B-7	20,00			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
A,B-5	21,82			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
A-5,6	12,67			24,9	Tidak ok	19,92	Perkuatan
A,B-3	22,92			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
A-3,4	24,04			24,9	Tidak ok	19,92	Aman
B-1,2	22,16	24,9	Tidak ok	19,92	Aman		
B,E-1	25,23	24,9	Ok	19,92	Aman		

No.	Elemen	Tegangan Beton Karakteristik (σ_{bk}) (MPa)	Target Tegangan Beton Karakteristik (σ_{bk}) (MPa)	Ket.	80% Mutu Rencana	Rekomendasi	
4	Pelat Lantai 1	8,9-E,F	16,18	24,9	Tidak ok	19,92	Perkuatan
		9,10-B,E	11,38	24,9	Tidak ok	19,92	Perkuatan
		9,10-E,F	21,23	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		1,2-E,F	26,57	24,9	Ok	19,92	Aman
		E,F-2,3	28,25	24,9	Ok	19,92	Aman
		D,E-3,4	24,05	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		D,E-2,3	27,08	24,9	Ok	19,92	Aman
		E,F-3,4	25,25	24,9	Ok	19,92	Aman
		E,F-4,5	20,07	24,9	Tidak ok	19,92	Aman
		E,F-5,6	14,73	24,9	Tidak ok	19,92	Perkuatan
		E,F-6,7	35,35	24,9	Ok	19,92	Aman
		8,9-B,E	14,46	24,9	Tidak ok	19,92	Perkuatan
		A,B-8,9	15,52	24,9	Tidak ok	19,92	Perkuatan
		A,B-7,8	15,41	24,9	Tidak ok	19,92	Perkuatan
		A,B-5,6	14,21	24,9	Tidak ok	19,92	Perkuatan
A,B-3,4	24,49	24,9	Tidak ok	19,92	Aman		
B,E-1,2	22,09	24,9	Tidak ok	19,92	Aman		
A,B-1,2	22,23	24,9	Tidak ok	19,92	Aman		

Tabel 2. Hasil uji kuat tekan berdasarkan *core drill*

No.	Elemen	Tegangan Beton Karakteristik (σ_{bk}) (Mpa)	Target Tegangan Beton Karakteristik (σ_{bk}) (Mpa)	Ket.	> 75%	Rekomendasi	
1.	Pelat Lantai 2	A-B, 3-4	26,75	24,9	Ok	18,675	Aman
		E-F, 3-4	19,26	24,9	Tidak Ok	18,675	Aman
		A-B, 7-8	23,10	24,9	Tidak Ok	18,675	Aman
		E-F, 7,8	24,69	24,9	Tidak Ok	18,675	Aman
		Balkon E-F, 6-7	20,78	24,9	Tidak Ok	18,675	Aman

Data Tanah

Dari data hasil Boring Test, diperoleh nilai N-SPT lapisan tanah hingga kedalaman 30 meter.

Tabel 3. Perhitungan nilai \bar{N} untuk menentukan klasifikasi kelas situs tanah

No	Kedalaman (m)	T (m)	N (SPT)	T/N
1	0-2	2	9	0,222
2	2-4	2	12	0,167
3	4-6	2	19	0,105
4	6-8	2	21	0,095
5	8-10	2	32	0,063
6	10-12	2	60	0,033
7	12-14	2	60	0,033
8	14-16	2	60	0,033
9	16-18	2	60	0,033
10	18-20	2	60	0,033
11	20-22	2	60	0,033
12	22-24	2	60	0,033
13	24-26	2	60	0,033
14	26-28	2	60	0,033
15	28-30	2	60	0,033
Jumlah		$\sum T = 30$		$\sum T/N = 0,985$
$\bar{N} = \sum T / (\sum T/N) = 30/0,985 = 30,450$				

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.3, dengan nilai $\bar{N} = 30,45$ di antara nilai 15 – 50, maka klasifikasi tanah adalah Tanah Sedang (SD).

Pembebanan

Pembebanan pada struktur merupakan salah satu hal yang terpenting dalam perencanaan sebuah gedung. Perhitungan pembebanan harus dilakukan secara baik dan matang agar bangunan aman saat dibangun dan digunakan. Jenis beban yang direncanakan adalah Beban mati (*Dead Load*), Beban hidup (*Live Load*), dan Beban gempa (*Seismic Load*). Struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu. Hal ini dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor yang sesuai dengan ketentuan tata cara dalam SNI 1726:2019.

$$1,4D \tag{1}$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5L_r \tag{2}$$

$$1,2D + 1,6L_r + L \tag{3}$$

$$1,2D + L + 0,5L_r \tag{4}$$

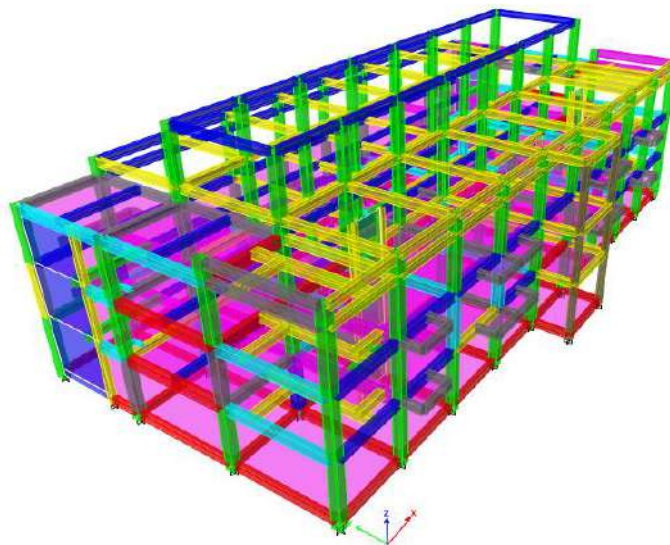
$$0,9D \tag{5}$$

$$(1,2 + 0,2S_{Ds}) D \pm \rho'(E_h) + L \tag{6}$$

$$(0,9 - 0,2S_{Ds}) D \pm \rho'(E_h) \tag{7}$$

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur yang dilakukan adalah pemodelan 3 dimensi dengan bantuan aplikasi ETABS. Pembebanan yang diberikan pada pemodelan struktur adalah beban mati, beban hidup dan beban gempa. Denah bangunan, mutu material dan dimensi penampang kolom, balok dan pelat yang di-input ke dalam aplikasi ETABS berdasarkan data perencanaan yang telah dikumpulkan. Setelah pemodelan selesai, maka dapat segera dilakukan *run analysis* struktur pada aplikasi ETABS.



Gambar 1. Pemodelan 3D dalam software ETABS

Analisis Struktur Bangunan Eksisting

Analisis struktur eksisting pada penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh penurunan mutu beton pada balok, kolom, dan pelat. Atau, dengan kata lain, apakah struktur dapat menahan beban-beban yang bekerja. Hasil analisis eksisting ini harus sesuai dengan SNI 2847:2019 tentang “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung”.

Analisis Struktur Bangunan setelah Perkuatan

Dari hasil analisis eksisting diperoleh beberapa struktur kolom dan balok yang perlu diberikan sistem perkuatan. Dalam hal ini, untuk bagian kolom dipergunakan perkuatan *concrete jacketing* sesuai dengan peraturan SNI 2847:2019 dan *Indian Standard*. Sementara itu, untuk

balok digunakan perkuatan *fiber reinforced polymer* sesuai dengan peraturan SNI 8971:2021 dan ACI 440.2R-08.

3. Hasil dan Pembahasan

Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur pada Bangunan Eksisting

Pemeriksaan ketidakberaturan struktur pada bangunan eksisting dilakukan terhadap 2 hal: ketidakberaturan horizontal dan pengecekan ketidakberaturan vertikal (SNI 1726:2019). Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengecekan ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada bangunan eksisting

Pengecekan Ketidakberaturan		Keterangan
Ketidakteraturan Horizontal		
1. Ketidakberaturan Torsi:		
1a. Ketidakberaturan Torsi		Ada
1b. Ketidakberaturan Torsi Berlebihan		Ada
2. Ketidakberaturan Sudut Dalam		Ada
3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma		Tidak Ada
4. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang		Tidak Ada
5. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel		Tidak Ada
Ketidakteraturan Vertikal		
1. Ketidakberaturan Kekakuan:		
1a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak		Ada
1b. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan		Tidak Ada
2. Ketidakberaturan Berat (Massa)		Ada
3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal		Tidak Ada
4. Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral		Tidak Ada
5. Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat:		
5a. Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat		Tidak Ada
5b. Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat Berlebihan		Tidak Ada

Kontrol Kinerja Struktur Eksisting

Kinerja struktur gedung ditentukan oleh simpangan-simpangan antar tingkat struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa tingkat di atas dan di bawah yang ditinjau. Besarnya nilai simpangan antarlantai tingkat dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

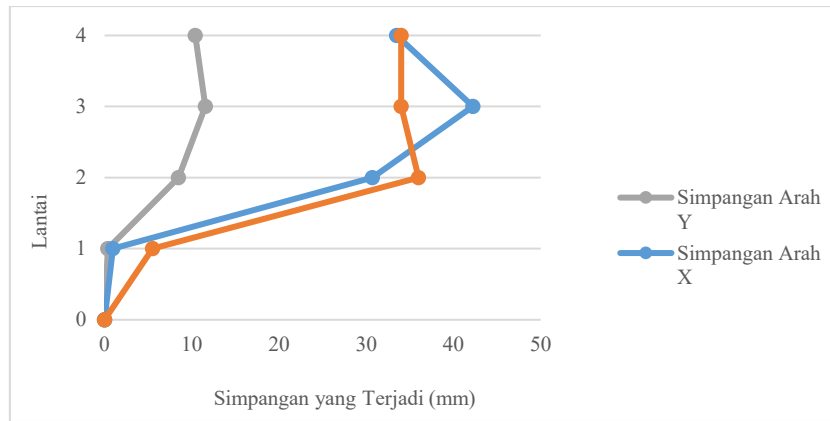
Tabel 5. Hasil kinerja struktur pada arah X pada bangunan eksisting

Story	Tinggi (mm)	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	Δ (mm)	Δ_{ijin} (mm)	Ket.
Lantai Dak	3400	19,524	107,382	33,495	34	Aman
Lantai 3	3400	13,434	73,887	42,235	34	Tidak Aman
Lantai 2	3600	5,755	31,653	30,707	36	Aman
Lantai 1	550	0,172	0,946	0,946	6	Aman

Tabel 6. Hasil kinerja struktur pada arah Y pada bangunan eksisting

Story	Tinggi (mm)	δ_{ye} (mm)	δ_y (mm)	Δ (mm)	Δ_{ijin} (mm)	Ket.
Lantai Dak	3400	5,597	30,784	10,401	34	Aman
Lantai 3	3400	3,706	20,383	11,556	34	Aman
Lantai 2	3600	1,605	8,828	8,465	36	Aman
Lantai 1	550	0,066	0,363	0,363	6	Aman

Dari hasil kinerja struktur pada Tabel 5 dan Tabel 6, struktur bangunan mengalami simpangan struktur yang terjadi pada arah X pada lantai 3 lebih besar daripada simpangan izinnnya. Hal ini dapat kita lihat juga pada Gambar 2.



Gambar 2. Kinerja struktur pada arah X dan Y pada bangunan eksisting

Desain Penulangan Elemen Balok pada Bangunan Eksisting

Analisis dan pemodelan struktur yang sudah dilakukan di *software* ETABS menghasilkan gaya-gaya dalam untuk digunakan dalam mendesain detail struktur pada perencanaan struktur primer, seperti kolom dan balok. Hasil analisis dan *output* ETABS beserta gaya-gaya yang terjadi pada tiap jenis balok yang mutu beton rendah dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi hasil *output* gaya dalam balok eksisting

Section	Mu (Tumpuan) (kN.m)	Mu (Lapangan) (kN.m)	Vu (Tumpuan) (kN)	Vu (Lapangan) (kN)	Tu (kN)
Balok BL2 5-6, E (25 × 45)	-198,9150	84,3817	-173,5642	-159,2152	16,8424
Balok BL2 5-6, E (35 × 45)	-196,2047	89,7576	-171,542	-134,6511	12,4346
Balok G7.1 (30 × 55)	-204,3282	-182,7219	-211,6472	-206,4832	-22,8725

Setelah dilakukan perhitungan penulangan terhadap masing-masing tipe balok, maka dapat dilakukan rekapitulasi pengecekan penulangan tiap balok dengan mutu beton rendah, seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi pengecekan penulangan balok eksisting

Balok Lantai 2	Daerah	Tul. Longitudinal		Tul. Transversal		Cek Tul. Longitudinal		Cek Tul. Transversal	
		Tum.	Lap.	Tum.	Lap.	Tum.	Lap.	Tum.	Lap.
Balok BL2 5-6, E (25 × 45)	Atas	5 D16	3 D16	Ø10 – 95	Ø10 – 130	Tidak Aman	Aman	Aman	Aman
	Tengah	2 D13	2 D13						
	Bawah	2 D16	4 D16						
Balok BL2 5-6, A (35 × 45)	Atas	5 D16	3 D16	Ø10 – 95	Ø10 – 150	Tidak Aman	Aman	Aman	Aman
	Tengah	2 D13	2 D13						
	Bawah	3 D16	3 D16						
Balok G7.1 (30 × 55)	Atas	6 D16	4 D16	Ø10 – 95	Ø10 – 150	Tidak Aman	Aman	Aman	Aman
	Tengah	2 D13	2 D13						
	Bawah	5 D16	4 D16						

Dari hasil Tabel 8, terdapat beberapa jenis balok yang tidak dapat menahan momen pada tulangan longitudinal di tumpuan sehingga diperlukan perkuatan pada balok.

Desain Penulangan Elemen Kolom pada Bangunan Eksisting

Berdasarkan hasil analisa dari *output software* ETABS, gaya-gaya dalam pada kolom yang memiliki *ratio* lebih besar dari 1, seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi hasil *Output* gaya dalam kolom eksisting

Section	Mux (kN.m)	Muy (kN.m)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Pux (kN)	Puy (kN)
K1 Lantai 1 (450 × 450)	42,9684	146,2653	53,148	16,394	-2406,2410	2152,5262

Setelah dilakukan perhitungan penulangan terhadap kolom yang memiliki *ratio* lebih besar dari 1, maka dapat dilakukan rekapitulasi pengecekan penulangan kolom, seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi pengecekan penulangan kolom eksisting

Kolom	Tul. Longitudinal	Tul. Transversal Tumpuan		Tul. Transversal Lapangan		Cek Tul. Longitudinal	Cek Tul. Transversal
		Sumbu Lemah	Sumbu Kuat	Sumbu Lemah	Sumbu Kuat		
K1 Lantai 1 (450 × 450)	12 D16	4Ø10 - 95	4Ø10 - 95	2Ø10 - 95	2Ø10 - 95	Tidak Aman	Aman

Hasil analisis pengecekan penulangan kolom eksisting di atas menunjukkan bahwa kolom eksisting harus diberikan perkuatan.

Desain Penulangan Elemen Pelat pada Bangunan Eksisting

Desain penulangan pelat bertujuan untuk mengecek penulangan pelat eksisting apakah dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan kombinasi pembebanan yang dialaminya. *Output* yang dihasilkan pada bagian ini adalah jumlah tulangan, yang diperoleh dengan nilai luas tulangan yang dibutuhkan dan spesifikasi tulangan lentur yang digunakan. Selain itu, memperoleh spasi tulangan yang dibutuhkan serta cek kelayakan tulangan tersebut.

Tabel 11. Rekapitulasi pengecekan penulangan pelat eksisting

Section	Arah	Ukuran Pelat		Bagian	Penulangan	Cek Kelayakan
		Lx	Ly			
Pelat 1 (130 mm)	2	3075	4250	Tumpuan	3 Ø10 – 300	Aman
				Lapangan	3 Ø10 – 300	
Pelat 2 (130 mm)	2	2925	4250	Tumpuan	3 Ø10 – 300	Aman
				Lapangan	3 Ø10 – 300	

Dari hasil analisis pengecekan kapasitas penulangan pelat lantai eksisting di atas. Maka, pelat lantai tidak memerlukan perkuatan.

Perencanaan Metode Perkuatan

Dalam perencanaan metode perkuatan ini, akan dibahas perkuatan pada elemen balok dan kolom berdasarkan hasil perhitungan struktur eksisting. Perkuatan balok akan dilakukan dengan metode *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*, sedangkan perkuatan kolom menggunakan metode *Concrete Jacketing*. Sebelum membahas metode perkuatan, terlebih dahulu dilakukan pengecekan partisipasi massa, penentuan periode struktur, analisis gaya geser dasar dinamis, serta evaluasi kinerja struktur bangunan pada kondisi setelah diperkuat.

Pengecekan Partisipasi Massa pada Bangunan Perkuatan

Diperoleh hasil *output* software ETABS untuk pengecekan Rasio Partisipasi Ragam sebagai berikut.

Tabel 12. Pengecekan ratio partisipasi ragam

Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0,5350	0,5908	0,0000	0,5908	0,0000	0,0016	0,0016
2	0,3630	0,0000	0,3201	0,5908	0,3201	0,0001	0,0017
3	0,3110	0,0000	0,0000	0,5908	0,3547	0,2623	0,0017
4	0,2940	0,0002	0,0000	0,5910	0,3547	0,0910	0,0927
5	0,2860	0,0000	0,0000	0,5910	0,3547	0,0048	0,0975
6	0,2610	0,0000	0,1849	0,5910	0,5396	0,0009	0,0984
7	0,2410	0,0000	0,0030	0,5910	0,5426	0,0002	0,0985
8	0,2340	0,0004	0,0462	0,5915	0,5888	0,0840	0,1826
9	0,2320	0,0021	0,0183	0,5936	0,6072	0,3535	0,5361
10	0,2100	0,0441	0,0000	0,6377	0,6072	0,0065	0,5426
11	0,2030	0,0015	0,0000	0,6392	0,6072	0,0205	0,5631
12	0,1920	0,0003	0,0000	0,6394	0,6072	0,0157	0,5788
13	0,1860	0,0000	0,0018	0,6394	0,6090	0,0000	0,5788
14	0,1860	0,0001	0,0000	0,6395	0,6091	0,0100	0,5888

15	0,1730	0,0000	0,0037	0,6395	0,6127	0,0000	0,5888
16	0,1600	0,0000	0,0029	0,6395	0,6156	0,0000	0,5888
17	0,1540	0,0029	0,0000	0,6424	0,6156	0,0058	0,5946
18	0,1530	0,0109	0,0000	0,6533	0,6156	0,0034	0,5979
19	0,1440	0,0002	0,0000	0,6536	0,6156	0,0055	0,6035
20	0,1400	0,0002	0,0000	0,6537	0,6156	0,0063	0,6098
21	0,1350	0,0000	0,0060	0,6537	0,6216	0,0000	0,6098
22	0,1320	0,0001	0,0000	0,6538	0,6216	0,0063	0,6160
23	0,1200	0,0000	0,0010	0,6538	0,6227	0,0000	0,6160
24	0,1200	0,0013	0,0000	0,6551	0,6227	0,0000	0,6161
25	0,1190	0,0000	0,0046	0,6551	0,6273	0,0000	0,6161
26	0,1170	0,0003	0,0000	0,6554	0,6273	0,0004	0,6165
27	0,1150	0,0155	0,0000	0,6709	0,6273	0,0033	0,6197
28	0,1120	0,0001	0,0000	0,6711	0,6273	0,0020	0,6218
29	0,1110	0,0000	0,0004	0,6711	0,6277	0,0000	0,6218
30	0,1100	0,0000	0,0020	0,6711	0,6297	0,0000	0,6218
31	0,1040	0,0000	0,0000	0,6711	0,6297	0,0000	0,6218
32	0,1030	0,0001	0,0000	0,6711	0,6297	0,0008	0,6225
33	0,0990	0,0000	0,0003	0,6711	0,6300	0,0000	0,6225
34	0,0970	0,0000	0,0010	0,6711	0,6310	0,0000	0,6225
35	0,0960	0,0002	0,0000	0,6713	0,6310	0,0001	0,6226
36	0,0940	0,0641	0,0000	0,7354	0,6310	0,0004	0,6230
37	0,0920	0,0001	0,0000	0,7355	0,6310	0,0001	0,6231
38	0,0800	0,0000	0,1056	0,7355	0,7366	0,0005	0,6236
39	0,0790	0,0000	0,0000	0,7355	0,7367	0,0000	0,6236
40	0,0790	0,0000	0,0003	0,7355	0,7369	0,0000	0,6236
41	0,0640	0,0012	0,0003	0,7367	0,7372	0,1265	0,7500
42	0,0530	0,0000	0,0000	0,7367	0,7372	0,0006	0,7507
43	0,0500	0,0000	0,0001	0,7367	0,7373	0,0019	0,7526
44	0,0480	0,0000	0,0085	0,7367	0,7458	0,0003	0,7529
45	0,0370	0,0000	0,0000	0,7367	0,7458	0,0000	0,7529
46	0,0370	0,0001	0,0000	0,7369	0,7458	0,0176	0,7705
47	0,0310	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0001	0,7706
48	0,0300	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
49	0,0300	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
50	0,0290	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
51	0,0290	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
52	0,0280	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
53	0,0280	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
54	0,0280	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
55	0,0280	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
56	0,0270	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
57	0,0270	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
58	0,0270	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
59	0,0270	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
60	0,0260	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
61	0,0260	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
62	0,0260	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
63	0,0260	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
64	0,0250	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
65	0,0250	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
66	0,0250	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
67	0,0250	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
68	0,0240	0,0000	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
69	0,0230	0,0001	0,0000	0,7369	0,7458	0,0000	0,7706
70	0,0230	0,0084	0,0000	0,7453	0,7459	0,0001	0,7707
71	0,0230	0,2373	0,0000	0,9826	0,7459	0,0002	0,7709
72	0,0220	0,0000	0,0000	0,9826	0,7459	0,0000	0,7709
73	0,0220	0,0167	0,0000	0,9993	0,7459	0,0004	0,7712
74	0,0210	0,0000	0,0001	0,9993	0,7459	0,0000	0,7712
75	0,0210	0,0000	0,0000	0,9993	0,7459	0,0000	0,7712
76	0,0210	0,0000	0,2541	0,9993	1,0000	0,0000	0,7713
77	0,0200	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7713
78	0,0200	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7713
79	0,0190	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7713

80	0,0190	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7713
81	0,0180	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7713
82	0,0180	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7713
83	0,0180	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7713
84	0,0180	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7713
85	0,0180	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7713
86	0,0180	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7713
87	0,0180	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0010	0,7723
88	0,0170	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7723
89	0,0170	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0005	0,7728
90	0,0170	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7728
91	0,0170	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0029	0,7757
92	0,0170	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7757
93	0,0170	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7757
94	0,0170	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7757
95	0,0170	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7757
96	0,0170	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7757
97	0,0170	0,0000	0,0000	0,9993	1,0000	0,0000	0,7757
98	0,0160	0,0007	0,0000	1,0000	1,0000	0,2242	0,9999
99	0,0160	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,9999
100	0,0160	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,9999
101	0,0160	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,9999
102	0,0160	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000

Berdasarkan output di atas, periode struktur yang diperoleh adalah sebesar 0,5350 detik. Dengan demikian, struktur gedung sekolah ini telah memenuhi kriteria pengecekan modal participating mass ratio, yaitu pada mode 1 untuk translasi arah X, mode 2 untuk translasi arah Y, dan mode 3 untuk rotasi arah Z. Selain itu, ditunjukkan pula bahwa syarat minimum partisipasi massa sebesar 100% telah terpenuhi, masing-masing pada mode getar ke-102 untuk translasi arah X (UX), translasi arah Y (UY), dan rotasi arah Z (RZ).

Menentukan Periode pada Bangunan Perkuatan

Hasil analisis ragam getar harus menunjukkan bahwa respons struktur paling tidak harus dominan dalam translasi untuk gerak ragam pertama dan kedua, dimana ragam pertama dan kedua didominasi oleh translasi dalam arah X dan Y. Maka berdasarkan hasil analisis program diperoleh:

$$T_c \text{ untuk arah X} = 0,5350 \text{ detik}$$

$$T_c \text{ untuk arah Y} = 0,3630 \text{ detik}$$

Selanjutnya, periode fundamental struktur dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Berdasarkan persamaan 36 pada SNI 1726:2019, periode fundamental dapat dihitung dengan pendekatan sebesar $T_a = 0,5204$ detik. Sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2, periode untuk arah X dan Y yang digunakan masing-masing adalah $T_x = 0,5350$ detik dan $T_y = 0,5204$ detik.

Analisis Gaya Geser Dasar Dinamik pada Bangunan Perkuatan

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4 mengenai skala nilai desain untuk respons terkombinasi, geser dasar (V_s) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horizontal ortogonal menggunakan periode fundamental struktur, T, yang dihitung dalam masing-masing arah. Nilai gaya geser seismik dapat dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1 yaitu sebesar $V_x = 5070,6283$ kN dan $V_y = 5070,6283$ kN.

Berdasarkan hasil *output software* ETABS dari *Analysis Results – Structure Output – Base Reaction*, dapat diperoleh gaya geser dasar dinamik untuk seluruh ragam yang ditinjau pada masing-masing arah sumbu utama bangunan.

$$V_d \text{ arah X} = 3113,7304 \text{ kN} < 5070,6283 \text{ kN (Tidak memenuhi)}$$

$$V_d \text{ arah Y} = 2270,5589 \text{ kN} < 5070,6283 \text{ kN (Tidak memenuhi)}$$



Oleh karena nilai gaya geser dasar seismik (V_d) lebih kecil dari pada gaya geser statik (V_s), maka faktor skala seismik menjadi sebagai berikut:

$$\text{Faktor skala seismik} = \frac{g \times I_e}{R} \times \frac{V_s}{V_d} \tag{8}$$

dimana:

- g = Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$).
- I_e = Faktor keutamaan gempa berdasarkan kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa.
- R = Koefisien modifikasi respon.
- V_s = Gaya geser dasar statik
- V_d = Gaya geser dasar dinamik

Dengan,

- Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1
- Koefisien modifikasi respon (R) = 8
- $V_s X = 5070,6283 \text{ kN}$
- $V_s Y = 5070,6283 \text{ kN}$
- $V_d X = 3113,7304 \text{ kN}$
- $V_d Y = 2270,5589 \text{ kN}$

Maka,

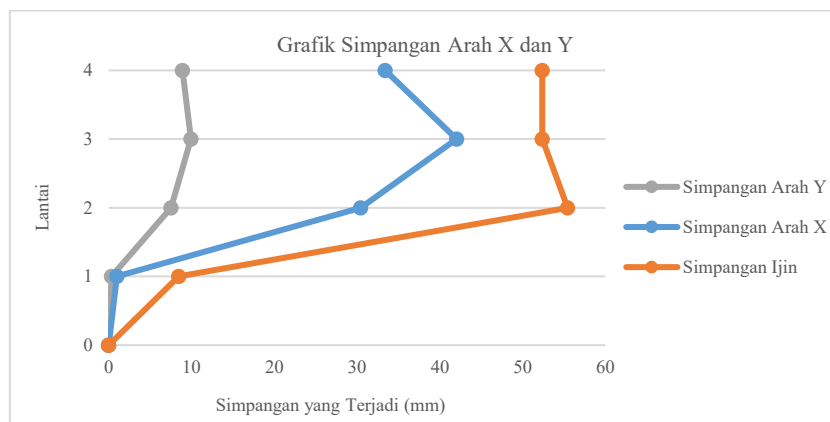
$$\text{Faktor skala seismik arah X} = \frac{g \times I_e}{R} \times \frac{V_s}{V_d} = \frac{9,81 \times 1}{8} \times \frac{5070,6283}{3113,7304} = 1,99691 \text{ m/s}^2 = 1996,91 \text{ mm/s}^2$$

$$\text{Faktor skala seismik arah Y} = \frac{g \times I_e}{R} \times \frac{V_s}{V_d} = \frac{9,81 \times 1}{8} \times \frac{5070,6283}{2270,5589} = 2,73847 \text{ m/s}^2 = 2738,47 \text{ mm/s}^2$$

Kontrol Kinerja Struktur Gedung pada Bangunan Perkuatan

Kinerja struktur gedung ditentukan oleh simpangan-simpangan antar tingkat struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana. Perhitungan simpangan-simpangan antar tingkat struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana telah dilakukan untuk mengetahui kinerja struktur gedung. Setelah dilakukan pemodelan perkuatan di ETABS dengan menggunakan data dimensi yang telah direncanakan dan menginput beban-beban yang ada sesuai SNI 1726:2020 dan beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, simpangan antar lantai pada arah sumbu X dan Y masih terkontrol dan tidak melebihi dari simpangan izin yang sudah ditetapkan.

Berikut grafik simpangan antar tingkat yang telah didapatkan.



Gambar 3, Kinerja struktur pada arah X dan Y pada bangunan perkuatan

Pemeriksaan dan Konsekuensi Ketidakberaturan Struktur pada Bangunan Perkuatan

Pemeriksaan dan konsekuensi ketidakberaturan struktur pada bangunan perkuatan terdiri atas pengecekan ketidakberaturan horizontal dan pengecekan ketidakberaturan vertikal, sesuai SNI 1726:2019. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Rekapitulasi pengecekan ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal pada bangunan perkuatan

Pengecekan Ketidakberaturan		Keterangan
Ketidakberaturan Horizontal		
1. Ketidakberaturan Torsi:		
1a. Ketidakberaturan Torsi		Ada
1b. Ketidakberaturan Torsi Berlebihan		Ada
2. Ketidakberaturan Sudut Dalam		
3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma		
4. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang		
5. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel		
Ketidakberaturan Vertikal		
1. Ketidakberaturan Kekakuan:		
1a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak		Ada
1b. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan		Ada
2. Ketidakberaturan Berat (Massa)		
3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal		
4. Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral		
5. Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat:		
5a. Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat		Tidak Ada
5b. Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat Berlebihan		Tidak Ada

Untuk struktur dengan kategori desain seismik D serta terjadinya ketidakberaturan horizontal Tipe 1a, 1b, dan 2 dan ketidakberaturan vertikal tipe 1a, 1b, 2, dan 3, maka terdapat beberapa konsekuensi/aturan yang harus dipenuhi sesuai pasal-pasal pada SNI 1726:2019 antara lain:

- Pasal 7.3.3.4
- Pasal 7.3.4.2
- Pasal 7.7.3
- Pasal 7.8.4.3
- Pasal 7.12.1
- Pasal 11.3.4
- Tabel 16

Desain Perkuatan Elemen Balok dengan Metode Fiber Reinforced Polymer

Dalam penelitian ini, hanya dilakukan perkuatan pada mutu beton di atas 17 MPa. Perkuatan FRP memiliki kekuatan tinggi dan ringan, sehingga menjadi pilihan yang paling ideal untuk digunakan dalam perkuatan struktur bangunan. Data untuk perkuatan FRP pada balok diambil melalui hasil perhitungan eksisting yang memerlukan perkuatan.

Tabel 14. Rekapitulasi momen ultimit dan momen nominal pada tumpuan balok eksisting

Section	Mu (Tumpuan) (kN.m)	ϕM_n (Tumpuan) (kN.m)	Keterangan
Balok BL2 5-6, E (25 × 45)	198,9150	124,4454	Perkuatan
Balok BL2 5-6, A (35 × 45)	196,2047	120,3874	Perkuatan
Balok G7.1 (30 × 55)	204,3282	182,3622	Perkuatan

Berdasarkan Tabel 14, dilakukan perhitungan perkuatan *fiber reinforced polymer* sesuai peraturan SNI 8971:2021. Hasil rekapitulasi kapasitas CFRP pada tumpuan balok disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15. Rekapitulasi kapasitas CFRP pada tumpuan balok

Section	Mu (Tumpuan) (kN.m)	ϕM_n (Tumpuan) (kN.m)	Kebutuhan CFRP (Strip)	Keterangan
Balok BL2 5-6, E (25 x 45)	198,9150	214,3017	3	Aman
Balok BL2 5-6, A (35 x 45)	196,2047	207,0282	3	Aman
Balok G7.1 (30 x 55)	204,3282	245,9281	3	Aman

Tipe Balok	BL2 5-6, E Tumpuan	BL2 5-6, A Tumpuan	G7.1 Tumpuan
Perkuatan			
Dimensi Balok	250 x 450	350 x 450	300 x 550
Jumlah CFRP	3 Strip	3 Strip	3 Strip

Gambar 4. Hasil analisis balok perkuatan CFRP

Desain Perkuatan Kolom dengan Metode Concrete Jacketing

Untuk desain perkuatan *concrete jacketing*, terlebih dahulu dilakukan pemodelan di *software ETABS* dan mendapatkan *output* gaya-gaya dalam seperti pada Tabel 16.

Tabel 16. Rekapitulasi hasil output gaya dalam kolom perkuatan

Section	Mux (kN.m)	Muy (kN.m)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Pux (kN)	Puy (kN)
K1 Jacketing Lantai 1 (650 x 650)	150,6363	365,0953	127,621	62,010	3105,677	2739,1194

Setelah dilakukan perhitungan penulangan terhadap kolom perkuatan, maka dapat dilakukan rekapitulasi pengecekan penulangan kolom perkuatan seperti pada Tabel 17.

Tabel 17. Rekapitulasi Penulangan Kolom Perkuatan

Kolom	Tulangan Longitudinal	Tul. Transversal Tumpuan		Tul. Transversal Lapangan		Cek Keamanan
		Sumbu Lemah	Sumbu Kuat	Sumbu Lemah	Sumbu Kuat	Aman
K1 Jacketing Lantai 1 (650 x 650)	12 D22	2Ø16 - 100	2Ø16 - 100	2Ø16 - 100	2Ø16 - 100	Aman

Tipe Kolom	Jacket K1 Lantai 1	
	Tumpuan	Lapangan
Dimensi	650 x 650	
Tul. Longitudinal	12 D22	
Sumbu Kuat	2Ø16 - 100	2Ø16 - 100
Sumbu Lemah	2Ø16 - 100	2Ø16 - 100

Gambar 4. Hasil analisa kolom perkuatan

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa perkuatan dengan metode *concrete jacketing* pada struktur bangunan gedung memengaruhi ketidakberaturan struktur, khususnya pada pengecekan ketidakberaturan geometri vertikal, di mana dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di suatu tingkat melebihi 130% dari dimensi tingkat di dekatnya, dengan nilai mencapai 144,44%. Penerapan *concrete jacketing* juga meningkatkan kinerja dan kemampuan struktur dalam memikul beban sesuai dengan persyaratan dan peraturan yang berlaku. Selain itu, perkuatan balok menggunakan *fiber reinforced polymer* (FRP) meningkatkan kemampuan lentur balok sebesar 58,07% dibandingkan kondisi eksisting, sementara perkuatan kolom dengan *concrete jacketing* meningkatkan kemampuan lentur sebesar 12,37% pada arah X dan 39,12% pada arah Y dibandingkan kondisi eksisting.

5. Referensi

- American Concrete Institute. (2008). *ACI 440.2R-02 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 1726:2019 *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019 *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Beban Desain minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Sebagai Revisi dari Standard Nasional 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lainnya*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2021). SNI 8971:2021 *Panduan Perencanaan dan Pelaksanaan Sistem Lembaran Serat Berpolimer Terlekat Eksternal Untuk Perkuatan Struktur Beton*.
- Habib, A., Yildirim, U., & Eren, O. (2020). Column repair and strengthening using RC jacketing: a brief state-of-the-art review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 5(3), 75.
- Hammad, M., Bahrami, A., Khokhar, S. A., & Khushnood, R. A. (2024). A State-of-the-art review on structural strengthening techniques with FRPs: Effectiveness, shortcomings, and future research directions. *Materials*, 17(6), 1408.
- Indian Standard. (2013). *Seismic Evaluation and Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings – Guidelines*.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 14 Tahun 2017 tentang Persyaratan Kemudahan Bangunan Gedung*. Jakarta: Permen PUPR.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2015). *Design of reinforced concrete*. John Wiley & Sons.
- Respati, S. W., & Achmad, K. (2017). Pengaruh arah serat carbon fiber reinforced polymer terhadap kuat tekan beton normal menggunakan material lokal pasir Samboja di wilayah Kalimantan Timur. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 5(1), 19-25.
- Raza, S., Khan, M. K., Menegon, S. J., Tsang, H. H., & Wilson, J. L. (2019). Strengthening and repair of reinforced concrete columns by jacketing: State-of-the-art review. *Sustainability*, 11(11), 3208.
- Rizqi, M. (2011). *Analisis perbaikan dan perkuatan bangunan akibat penambahan lantai dengan metode concrete jacketing* [Skripsi]. Universitas Indonesia.
- Tarigan, J., & Meka, R. (2018, March). The usage of carbon fiber reinforcement polymer and glass fiber reinforcement polymer for retrofit technology building. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 126, No. 1, p. 012024). IOP Publishing.
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2016). *Reinforced concrete*. Sydney, NSW: Pearson Education UK.

JURNAL REKAYASA KONSTRUKSI MEKANIKA SIPIL

Perkuatan Struktur Bangunan Akibat Penurunan Mutu Beton dengan Metode Concrete Jacketing dan Fiber Reinforced Polymer (Studi Kasus)
Martius GINTING, Yohanes SIBAGARIANG, Dandi Suwondo SITUMORANG

Uji Permeabilitas Tubuh Bendung dengan Metode Uji Packer Tunggal (Studi Kasus: Bendung PLTM Sei Wampu)
Rina Firlia SARI, Samsuardi BATUBARA, Simon Dertha TARIGAN

Pengaruh Penggantian Semen Dynamix dengan GGBFS pada Kuat Tekan Beton
Titonik HIA, SYAHRIL

PPendugaan Erosi dan Sedimentasi Menggunakan Metode USLE pada DAS Nongsa Kota Batam
Muhammad Hakiem Sedo PUTRA, Muhammad Ridho ULYA

Analisis Kinerja Layanan Kapal Ferry Penumpang Samsir Menggunakan Metode Importance Performance Analysis
Oloan SITOANG, Rini Tiofani P. SIDAOLOG, Reynaldo SIAHAAN

Tingkat Kepuasan Penumpang terhadap Kualitas Pelayanan Bandar Udara Internasional Kualanamu
Charles SITINDAON, Holong SITUMORANG

Penilaian Tingkat Risiko Keterlambatan pada Proyek Rekonstruksi Jalan Stadion Kompleks Palaran
Mochamad Gaharu Dida DEVEDO, Chalsi Mala SARI, Muhammad Ibadurrahman Arrasyid SUPRIYANTO

Peran Stakeholder pada Proyek Konstruksi yang Berbasis Integrated Project Delivery (IPD)
Matris Muhammad IQBAL, Ariadi SUSANTO

Evaluasi Kinerja Proyek Kontruksi Berbasis Integrated Project Delivery (IPD) pada Proyek Kereta Cepat Jakarta-Bandung (KCIC)
Isnaini ANISAFITRI, Faiz Hamdi SUPRAHMAN



Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)

Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS) Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas berisi artikel-artikel ilmiah yang meliputi kajian di bidang teknik khususnya Teknik Sipil, seperti matematika teknik, mekanika teknik, analisis struktur, konstruksi baja, konstruksi beton, konstruksi kayu, konstruksi gelas, mekanika tanah, teknik pondasi, hidrologi, hidrolika, bangunan air, manajemen konstruksi, dinamika struktur, *earthquake engineering*, sistem dan rekayasa transportasi, ilmu ukur tanah, struktur bangunan sipil, rekayasa jalan raya, serta penelitian-penelitian lain yang terkait dengan bidang-bidang tersebut.

Penasihat :

Rektor Universitas Katolik Santo Thomas

Ketua Penyunting (Editor in Chief) :

Ir. Oloan Sitohang, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Manajer Penyunting (Managing Editor):

Reynaldo, S.T., M.Eng. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Anggota Penyunting (Editorial Board):

Dr.-Ing. Sofyan, S.T, M.T. (Universitas Malikussaleh)

Dr. Dwi Phalita Uphita (Pusat Riset Teknologi Transportasi, BRIN)

Samsuardi Batubara, S.T., M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Mitra Bestari (Peer Reviewer):

Dr.Eng. Ir. Aleksander Purba, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng. (Universitas Lampung, Indonesia)

Ir. Binsar Silitonga, M.T. (Akademi Teknik Deli Serdang, Indonesia)

Budi Hasiholan, S.T., M.T., Ph.D (Institut Teknologi Bandung, Indonesia)

Ir. Charles Sitindaon, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Dr. Erica Elice Uy (De La Salle University, Philippines)

Dr. Ernesto Silitonga, S.T, D.E.A. (Universitas Negeri Medan, Indonesia)

Prof. Dr-Ing. Johannes Tarigan (Universitas Sumatera Utara, Indonesia)

Dr. Linda Prasetyorini (Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia)

Ir. Martius Ginting, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Dr.Eng. Mia Wimala (Universitas Katolik Parahyangan, Indonesia)

Dr.Eng. Minson Simatupang (Universitas Halu Oleo, Indonesia)

Dr. Mochamad Raditya Pradana (Worley)

Dr. Ir. Shirly Susanne Lumeno, S.T., M.T. (Universitas Negeri Manado, Indonesia)

Dr. Senot Sangadji (Universitas Sebelas Maret, Indonesia)

Ir. Simon Dertha, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Dr. Thi Nguyễn Cao (Tien Giang University, Viet Nam)

Ilustrator Sampul:

Yulianto, ST., M.Eng (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Penerbit & Alamat Redaksi:

Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas

Jl. Setiabudi No. 479-F Tanjung Sari, Medan 20132

Telp. (061) 8210161 Fax : (061) 8213269

email : sipil@ust.ac.id

Konten

Perkuatan Struktur Bangunan Akibat Penurunan Mutu Beton dengan Metode Concrete Jacketing dan Fiber Reinforced Polymer (Studi Kasus) <i>Martius GINTING, Yohanes SIBAGARIANG, Dandi Suwondo SITUMORANG</i>	hal. 1-15
Uji Permeabilitas Tubuh Bendung dengan Metode Uji Packer Tunggal (Studi Kasus: Bendung PLTM XYZ) <i>Samsuardi BATUBARA, Simon Dertha TARIGAN, Rina Firlia SARI</i>	17-31
Pengaruh Penggantian Semen Dynamix dengan GGBFS pada Kuat Tekan Beton <i>Titonik HIA, SYAHRIL</i>	33-38
Pendugaan Erosi dan Sedimentasi Menggunakan Metode USLE pada DAS Nongsa Kota Batam <i>Muhammad Hakiem Sedo PUTRA, Muhammad Ridho ULYA</i>	39-49
Analisis Kinerja Layanan Kapal Ferry Penumpang Samosir Menggunakan Metode Importance Performance Analysis <i>Oloan SITOANG, Rini Tiofani P. SIDADOLOG, Reynaldo SIAHAAN</i>	51-60
Tingkat Kepuasan Penumpang terhadap Kualitas Pelayanan Bandar Udara Internasional Kualanamu <i>Charles SITINDAON, Holong SITUMORANG</i>	61-73
Penilaian Tingkat Risiko Keterlambatan pada Proyek Rekonstruksi Jalan Stadion Kompleks Palaran <i>Mochamad Gaharu Dida DEVEDO, Chalsi Mala SARI, Muhammad Ibadurrahman Arrasyid SUPRIYANTO</i>	75-86
Peran Stakeholder pada Proyek Konstruksi yang Berbasis Integrated Project Delivery (IPD) <i>Matris Muhammad IQBAL, Ariadi SUSANTO</i>	87-93
Evaluasi Kinerja Proyek Kontruksi Berbasis Integrated Project Delivery (IPD) pada Proyek Kereta Cepat Jakarta-Bandung (KCIC) <i>Isnaini ANISAFITRI, Faiz Hamdi SUPRAHMAN</i>	95-101

Pengantar Redaksi

Di Volume 8 Nomor 1 ini telah diterbitkan sembilan yang telah melalui proses penyuntingan. Sembilan artikel tersebut terdiri dari berbagai topik, di antaranya Rekayasa Struktur, Material Konstruksi, Rekayasa Sumber Daya Air, Rekayasa Transportasi, Manajemen Konstruksi.

Pada artikel ke-1, Ginting dkk. menganalisis kekuatan struktur dengan menerapkan kekuatan concrete jacketing pada elemen kolom dan FRP pada elemen balok. Dalam artikel ke-2, Batubara dkk. melakukan investigasi terhadap tubuh bendung dan memberikan rekomendasi kekuatan berdasarkan hasil investigasi. Dalam artikel ke-3, Hia dan Syahril melakukan pengujian kuat tekan beton untuk mengganti semen dengan sisa pembakaran baja (GGBFS). Pada artikel ke-4, Putra dan Ulya menggunakan metode Universal Soil Loss Equation (USLE) untuk menganalisis tingkat erosi dan sedimentasi di DAS Nongsa, Kota Batam. Dalam artikel ke-5, Sitohang dkk. menganalisis tingkat kinerja layanan 6 jenis kapal ferry penumpang untuk transportasi penyeberangan Danau Toba. Dalam artikel ke-6, Sitindaon dan Situmorang meninjau ketersediaan ruang dan kepuasan akan fasilitas bangunan terminal Bandara Kualanamu di Deli Serdang. Pada artikel ke-7, Devedo dkk. mengaplikasikan metode analisis risiko berbasis matriks untuk penilaian tingkat risiko keterlambatan sebuah proyek rekonstruksi jalan. Artikel ke-8 dan ke-9 sama-sama mengulas tentang tema yang sedang berkembang dalam tema konstruksi ramping, yakni Integrated Project Delivery (IPD).

Salam hangat dan Salam sehat.

Medan, Juni 2025

Tim Editorial



JURNAL REKAYASA KONSTRUKSI MEKANIKA SIPIL
| Volume 8 | Nomor 1 | Juni 2025 |

Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas
<https://doi.org/10.54367>

