

Evaluasi dan Peningkatan Kapasitas Struktur Bangunan Gedung Pendidikan pada Salah Satu Institusi Pendidikan di Bandung Akibat Sesar Lembang

**ASTRI SALISTIA^{1*}, SALMAN FAISHAL HAMDAN¹,
ANDRI KRISNANDI SOMANTRI¹, ADITIA FEBRIANSYA¹**

¹ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia
Email: astri.salistia.tppg20@polban.ac.id

ABSTRAK

Sebuah gedung pendidikan di suatu Institusi di Bandung merupakan salah satu gedung tua yang berumur hampir mencapai umur rencana gedung, yaitu 50 tahun. Pada saat perencanaannya, gedung ini didesain dengan menggunakan peraturan yang berlaku pada saat itu. Seiring perkembangan peraturan dalam konstruksi di Indonesia, peraturan tersebut diperbarui menjadi peraturan dan standar yang mutakhir. Berdasarkan SNI 1726-2019, Gedung ini termasuk kategori situs dekat sesar karena berjarak sekitar 8,6 km dari Sesar Lembang yang aktif dengan potensi gempa mencapai 6,596 Mw. Sehingga perlu dievaluasi berdasarkan peraturan SNI 1726-2019. Berdasarkan hasil investigasi lapangan, analisa dan evaluasi terdapat 9,73% balok yang tidak memenuhi persyaratan kapasitas lentur, 2,51% balok yang tidak memenuhi persyaratan kapasitas geser dan 56,3% kolom yang tidak memenuhi kapasitas aksial lentur. Kemudian elemen struktur tersebut akan didesain perkuatannya dengan menggunakan fiber reinforced polymer untuk balok dan concrete jacketing untuk kolom. Perkuatan lentur dan geser balok menggunakan tiga tipe CFRP dengan rentang lapisan sebanyak 1 sampai 3 lapis. Sedangkan untuk kolom dilakukan penebalan dimensi sebesar 200 mm dengan penambahan tulangan baru sebanyak 8D22 dan D10-100. Sedangkan untuk struktur bawah, setelah dilakukan evaluasi dengan peraturan baru dan akibat dari peningkatan kapasitas pada struktur atas, fondasi eksisting memenuhi persyaratan sehingga tidak perlu untuk dilakukan perkuatan.

Kata kunci: concrete jacketing, FRP, sesar Lembang

ABSTRACT

An educational building in one of Institution in Bandung which is almost the age of the building's design, namely 50 years. The building was designed PPIUG 1983 and PPTGIUG 1983 regulations. The regulations of the construction in Indonesia were developed, so these regulations have been updated with the latest regulations or Indonesia National Standards. Based on the results of testing, analysis and evaluation, there were 9,73% of beams that did not meet the bending capacity requirements and 2,51% of beams that did not meet the shear capacity requirements and 56,3% of columns that did not meet the axial and bending capacity requirements. And then the structural element will be designed to be strengthened using fiber reinforced polymer for beams and concrete jacketing for columns. The bending and shear strengthening of the beam uses three types of CFRP, from 1 to 3 layers. The dimensions of the columns were thickened by 200 mm with adding the new bar reinforcement of 8D22 and D10-100. Meanwhile, for the lower structure, after evaluation with the new regulations and the results of the post-capacity increase in the upper structure, existing foundations meet the requirements so there is no need for structure strengthening.

Keywords: concrete jacketing, FRP, Lembang fault

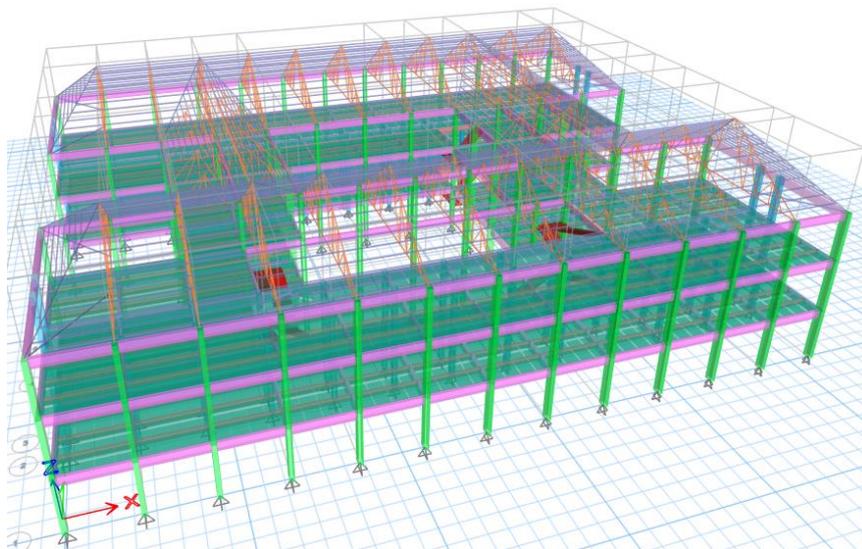
1. PENDAHULUAN

Gedung pendidikan di salah satu institusi di Bandung ini merupakan bangunan gedung 3 lantai dengan jenis struktur beton bertulang dan struktur atap menggunakan kuda-kuda baja rangka siku serta menggunakan fondasi *Strauss Pile*. Gedung ini berdiri sejak tahun 1985 yang tentunya memerlukan evaluasi secara visual dan struktural karena telah mendekati umur rencana gedung. Pada tahap perencanaannya gedung ini menggunakan peraturan lama sehingga perlu pemutakhiran terhadap peraturan terbaru, halmana pada peraturan terbaru, SNI 1727-2020, terdapat ketentuan kategori situs dekat sesar yang sebelumnya tidak dibahas pada peraturan lama. Ketentuan ini perlu dikaji mengingat lokasi gedung yang berjarak 8,25 km dari Sesar Lembang dengan potensi gempa yang dihasilkan pergerakan segmennya bisa mencapai 6,596 Mw [1] [11] [20] [21] [23] [24]. Berdasarkan ketentuan tersebut, struktur dianalisis dengan *site specific procedure* menggunakan data hasil pengujian *seismic downhole*. Berdasarkan SNI 1726:2012 [3] dan SNI 1726:2019 [5], terdapat pergerakan tanah di area Bandung, yang menyebabkan wilayah Bandung mengalami perubahan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan pada periode pendek. Dengan demikian, perlu dilakukan analisis dan evaluasi pada struktur Gedung Pendidikan apabila diperlukan perkuatan terhadap struktur dan perlu dilakukan investigasi lapangan untuk mengetahui dimensi, mutu beton dan mutu tulangan untuk struktur dengan mengacu pada peraturan terbaru.

Pada studi ini akan dilakukan investigasi terhadap kondisi bangunan gedung beton bertulang yang usianya hampir mencapai 50 tahun. Investigasi Evaluasi struktur bangunan yang akan dilakukan adalah dengan melakukan pengambilan *sampling material* pada kondisi aktual di lapangan, analisis struktur dengan menggunakan beban gempa SNI 1726:2019, evaluasi penampang tipe beton bertulang berdasarkan SNI 2847:2019 [6] serta mendesain perkuatan struktur atasnya.

2. METODOLOGI

Data yang digunakan dalam evaluasi ini diperoleh dari hasil investigasi langsung di lapangan dan data lainnya seperti gambar arsitektur, data hasil pengujian tanah dan data hasil pengujian *seismic downhole*. Pemodelan struktur yang dilakukan dengan menggunakan ETABS seperti pada **Gambar 1** sebelum melakukan analisis terhadap struktur gedung, dilakukan pengecekan terhadap struktur gedung eksisting dengan melakukan investigasi pada bangunan.



Gambar 1. Model Struktur dengan ETABS

2.1 Pengukuran Bangunan Gedung

2.1.1 Pengukuran Geometrik Elemen Struktur

Pengukuran dimensi dilakukan untuk mengetahui ukuran dari elemen struktur yang ada pada gedung eksisting. Dimensi yang diukur adalah kolom, balok serta tinggi antar lantai. Data dari hasil pengukuran dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran

No.	Uraian	Besaran Eksisting
1	Dimensi Kolom <ul style="list-style-type: none"> • Kolom K1 • Kolom K2 	300 mm x 550 mm 300 mm x 600 mm
2	Dimensi Balok <ul style="list-style-type: none"> • Balok B1 • Balok B2 	250 mm x 600 mm 400 mm x 200 mm
3	Dimensi Pelat Lantai <ul style="list-style-type: none"> • Tebal Pelat Lantai 	150 mm
5	Tinggi antar lantai: <ul style="list-style-type: none"> • Lantai 1 • Lantai 2 • Lantai 3 • Atap 	4,05 m 4,05 m 3,7 m 4,57 m

2.1.2 Pengukuran Geometrik Simpangan Gedung

Pengukuran geometris simpangan dilakukan dengan menggunakan theodolite yang diukur dengan menggunakan metode situasi detail seperti pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Pengukuran geometris bangunan

Koordinat titik alat didapatkan dari hasil *Drone LiDAR*, dengan $X = 784.473,271$ m; $Y = 9.239.597,061$ m; $Z = 849,847$ m. Hasil perhitungan situasi detail dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Situasi Detail

Target	δ_x [m]	δ_y [m]	Simpangan Izin [m]	Cek Syarat
K1	0,0211	0,0133	0,119	Memenuhi
K3	0,0060	0,0022	0,120	Memenuhi
K4	0,0179	0,0041	0,119	Memenuhi
K5	0,0150	0,0014	0,120	Memenuhi
K12	0,0238	0,0206	0,076	Memenuhi
K13	0,0060	0,0060	0,120	Memenuhi

2.2 Pengujian Rebar Scan

Pengujian *rebar scan* dilakukan untuk mendapatkan konfigurasi tulangan pada elemen struktur eksisting. Pengujian *rebar scan* ini dilakukan pada elemen struktur balok lantai 2 dengan titik uji sebanyak 5 titik dan elemen struktur kolom lantai 1 dengan titik uji sebanyak 4 titik. Data

hasil pengujian *rebar scan* pada balok dan kolom dengan jumlah tulangan yang ada pada balok menggunakan asumsi dari hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. Konfigurasi Tulangan Kolom

No	Kolom	h [mm]	b [mm]	Tulangan		Selimut beton rata-rata [mm]
				D [mm]	Jumlah [buah]	
1	K1	550	300	22	12	39,80
2	K2	600	300	22	12	30,86

Tabel 4. Konfigurasi Tulangan Balok

No	Balok	h (mm)	b (mm)	Tulangan				Selimut beton rata-rata (mm)
				Tumpuan		Lapangan		
				Atas	Bawah	Atas	Bawah	
1	B1	600	250	7D19	5D19	4D19	6D19	36,71
2	B2	400	200	4D19	3D19	3D19	4D19	27,57

2.3 Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity*

Pengujian *ultrasonic pulse velocity* bertujuan untuk memperkirakan kekerasan beton berdasarkan hubungan kecepatan gelombang *ultrasonic pulse velocity* dengan melalui media beton [18]. Pengujian ini dilakukan pada komponen struktur balok dan kolom dengan menggunakan metode pengujian semi langsung (*semi direct*) dengan jarak lintasan sepanjang 150 mm. Hasil Pengujian UPV ini dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity*

No	Uraian	Maksimum	Rata-rata
1	Pengukuran kepadatan beton pada balok	1.604,85 m/s Kurang	1.883,009 m/s Kurang
2	Pengukuran kepadatan beton pada kolom	1.669,14 m/s Kurang	2.543,81 m/s Cukup

Klasifikasi kecepatan gelombang: $v < 2.130$ m/s Kurang; 2.130 m/s $< v < 3.050$ m/s Cukup; 3.050 m/s $< v < 3.660$ m/s Cukup Baik; 3.660 s $< v < 4.570$ m/s Baik; $v > 4.570$ m/s Baik Sekali.

2.4 Pengujian *Rebound Hammer*

Pengujian *rebound hammer* dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh nilai perkiraan dari kuat tekan beton karakteristik pada struktur eksisting. *Hammer test* ini dilakukan pada elemen struktur balok lantai 2 dengan titik uji sebanyak 5 titik dan elemen struktur kolom lantai 1 dengan titik uji sebanyak 4 titik. Data dari hasil pengujian *rebound hammer* dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Pengujian *Rebound Hammer*

Uraian	f'_c rata-rata [MPa]	f'_c minimum [MPa]	f'_c maksimum [MPa]	f'_c Karakteristik [MPa]
Nilai tegangan pada balok	43,2	40,1	46,4	21,6
Nilai tegangan pada kolom	45,6	42,4	48,8	24,1

2.5 Pengujian *Core Drill*

Pengujian *core drill* dilakukan pada pelat lantai kantilever lantai 2 gedung pendidikan sebanyak 3 titik pengujian. Pengambilan sampel dilakukan dengan posisi alat vertikal seperti pada **Gambar 3** Data hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada **Tabel 7**.



Gambar 3. Pengambilan sampel beton

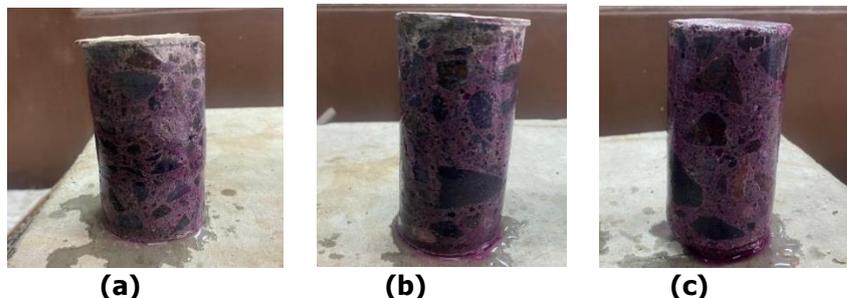
Tabel 7. Data Hasil Pengujian *Core Drill*

Nomor Sampel	Kode Sampel	Umur [hari]	Dimensi Sampel		Berat [gr]	Beban Maks [kN]	Luas [cm ²]	Kuat Tekan [MPa]
			D [mm]	T [mm]				
1	CD-1	28	55,88	88,39	52,1	75	2.452	30,6
2	CD-2	28	57,51	107,47	62,1	65	2.597	25
3	CD-3	28	55,24	106,83	61,6	44	2.396	18,4
Rata-rata					58,6	61,3	2.481,7	27,8

Nilai kuat tekan beton pada komponen struktur balok dan pelat lantai dari hasil pengujian *core drill* adalah 27,8 MPa. Kemudian, untuk mendapatkan nilai kuat tekan kolom dilakukan dengan mengalikan hasil UPV *test* dengan faktor pengali yang didapatkan dari hasil pengujian *core drill*. Nilai kuat tekan pada kolom yang dihasilkan dengan menggunakan perhitungan adalah sebesar 37,56 MPa.

2.6 Pengujian Karbonasi

Pengujian karbonasi [25] dilakukan pada sampel beton hasil *core drill* yang kemudian disemprotkan dengan cairan phenolphthalein untuk melihat karbonasi pada beton tersebut sehingga menghasilkan reaksi seperti pada **Gambar 4**.



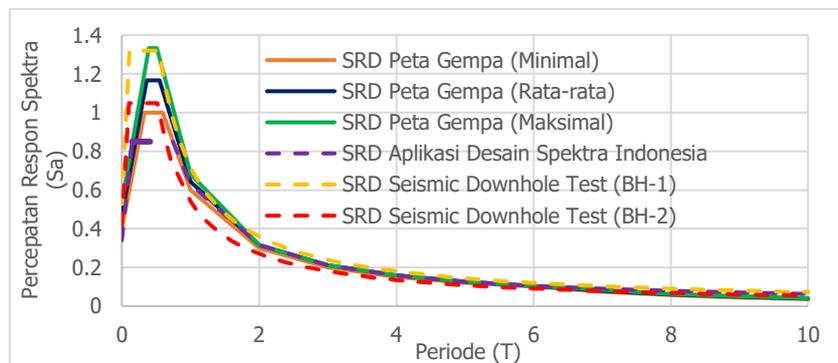
Gambar 4. Pengujian karbonasi pada benda uji (a) CD-I; (b) CD-II; (c) CD-III

3. HASIL PERHITUNGAN

Analisis yang dilakukan pada struktur gedung pendidikan ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi eksisting gedung [13] [19]. Hasil gaya dalam yang ada pada struktur akan dibandingkan dengan kekuatan penampang yang ada dengan kekuatan material yang aktual. Spesifikasi mutu beton yang digunakan untuk analisis adalah 27,8 MPa untuk balok dan pelat lantai; 37,56 MPa untuk kolom. Sedangkan untuk baja tulangan yang digunakan adalah tulangan polos dengan mutu 420 MPa. Struktur gedung pendidikan di salah satu institusi di Bandung dimodelkan secara tiga dimensi dengan *software* ETABS.

Pemodelan beban yang digunakan pada struktur adalah beban mati, beban hidup, beban mati tambahan, beban gempa dan beban angin. Beban gempa [17] dimodelkan dengan analisis

respon spektrum yang bersumber dari hasil pengujian *seismic downhole* dengan mengacu pada peraturan SNI 1726:2019. Kurva SRD yang digunakan berdasarkan **Gambar 5** adalah SRD *seismic downhole* BH-1 karena kurva tersebut nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan SRD *seismic downhole* BH-2 dan berada di antara kurva hasil peta gempa SNI 1726:2019.



Gambar 5. Kurva spektrum respon desain

Pada evaluasi kapasitas penampang gedung pendidikan ini, struktur rangka yang digunakan adalah struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) karena klasifikasi situs gedung ini berada pada tanah sedang (SD), sehingga perhitungannya mengikuti yang disyaratkan di dalam SNI 2847:2019. Nilai momen nominal dihitung berdasarkan kekuatan material aktual. Momen nominal dan gaya geser pada penampang balok yang dihasilkan pada tumpuan maupun lapangan harus lebih besar dari momen ultimat dan gaya geser yang bekerja pada penampang tersebut. Hasil analisis dan evaluasi kapasitas lentur dan kapasitas geser pada balok dan kolom gedung pendidikan ini dapat dilihat pada **Gambar 6 hingga Gambar 8**.



Gambar 5. Hasil evaluasi kapasitas lentur balok

Presentase balok tipe B1 yang tidak memenuhi persyaratan kapasitas lentur pada daerah tumpuan lantai 2 sebesar 8% dari total balok tipe B1 berjumlah 191 buah.



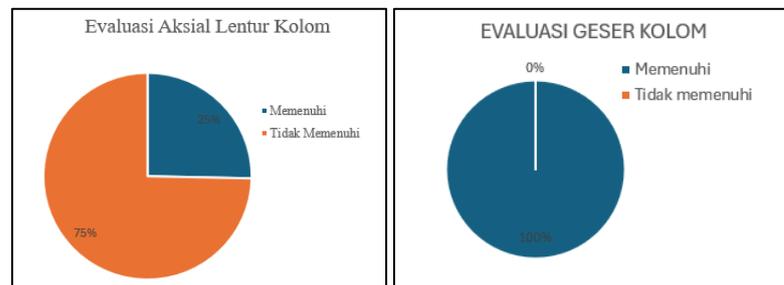
(a)

(b)

Gambar 6. Hasil evaluasi kapasitas lentur balok (a) Balok BI lantai 2 pada daerah tumpuan; (b) Balok BI lantai 2 pada daerah lapangan

Evaluasi dan Peningkatan Kapasitas Struktur Bangunan Gedung Pendidikan pada Salah Satu Institusi Pendidikan di Bandung Akibat Sesar Lembang

Presentase balok tipe B1 yang tidak memenuhi persyaratan kapasitas geser pada daerah tumpuan lantai 2 sebesar 17% dan pada daerah lapangan sebesar 14% dari total balok tipe B1 yang berjumlah 191 buah.



Gambar 7. Hasil evaluasi kapasitas (a) aksial lentur kolom; dan (b) geser kolom

Presentase kolom yang tidak memenuhi persyaratan kapasitas aksial lentur pada arah x dan arah y sebesar 75% dari seluruh kolom yang ada pada gedung. Sedangkan hasil evaluasi geser kolom yang didapatkan adalah 100% memenuhi persyaratan kapasitas geser kolom.

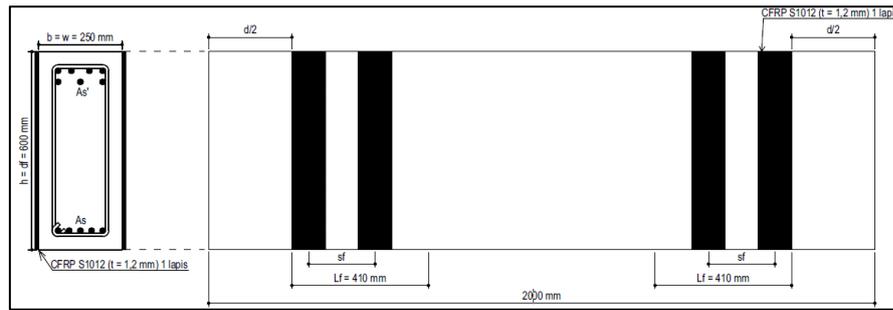
Selain struktur atas, evaluasi juga dilakukan pada struktur bawah gedung. Berdasarkan hasil estimasi fondasi dengan mengasumsikan jumlah tiang sebanyak 2 tiang pada seluruh titik joint. Dengan menggunakan metode Briaud et al (1985) [2] [9] [10] [12] [14] [15] [16] [22] dan beban vertikal (F_z) eksisting yang sudah didesain dengan menggunakan SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020 [7], hasil evaluasi fondasi pada gedung ini memenuhi persyaratan faktor keamanan tiang dengan faktor keamanan rata-rata sebesar 3,592.

Berdasarkan hasil evaluasi, struktur bangunan gedung ini tidak memenuhi persyaratan apabila terjadi gempa Sesar Lembang sehingga perlu dilakukan perkuatan. Desain perkuatan yang digunakan adalah dengan menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polimer* (CFRP) untuk balok dan *concrete jacketing* untuk kolom [8]. Tipe produk yang digunakan menggunakan 3 tipe produk Sika CarboDur® yaitu S 626, S 1012 dan S 1014 dengan tebal masing-masing produk sebesar 2,6 mm, 1,2 mm dan 1,4 mm. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan presentase rata-rata peningkatan kapasitas lentur balok pada lantai 2 adalah sebesar 20,15% dan pada lantai 3 adalah sebesar 20,74% dengan jumlah lapisan perkuatan CFRP sebanyak 1 lapis sampai 3 lapis pada total balok yang diperkuat sebanyak 30 buah balok. Gambar desain perkuatan CFRP pada lentur balok dapat dilihat pada **Gambar 9**.



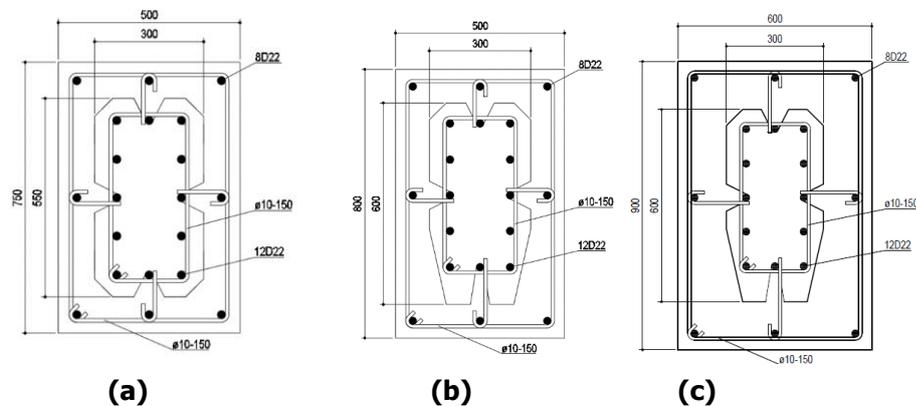
Gambar 8. Gambar desain perkuatan CFRP pada lentur balok

Presentase rata-rata peningkatan kapasitas geser balok pada lantai 2 adalah sebesar 54,05% untuk tumpuan; 48,59% untuk lapangan dan pada lantai 3 adalah sebesar 116,25% dengan jumlah lapis yang digunakan sebanyak 1 lapis dengan jarak antar perkuatan mulai dari 50 mm sampai dengan 200 mm. Gambar desain perkuatan CFRP pada geser balok dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 9. Gambar desain perkuatan CFRP pada lentur kolom

Dimensi penampang kolom eksisting setelah dilakukan perkuatan bertambah sebesar 200mm dan 300mm untuk kolom sudut, sehingga besar penampang kolom setelah dilakukan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 11 dengan tulangan utama tambahan sebanyak 8D22 dan tulangan sengkang D10-100.



Gambar 10. Penampang kolom (a) K1 750 mm x 500 mm; (b) K2 800 mm x 500 mm; (c) K2 900 mm x 600 mm setelah perkuatan

Setelah struktur atas dilakukan perkuatan, kemudian dilakukan evaluasi terhadap daya dukung fondasi eksisting dengan cara menghitung faktor keamanan fondasi setelah struktur atas dilakukan perkuatan. Hasil evaluasi menunjukkan seluruh fondasi memenuhi persyaratan faktor keamanan tiang dengan faktor keamanan rata-rata sebesar 3,55.

4. KESIMPULAN

Dari hasil investigasi, analisis serta evaluasi yang dilakukan pada gedung pendidikan salah satu institusi di Bandung ini apabila terjadi gempa akibat dari aktivitas pergerakan Sesar Lembang, didapatkan Kesimpulan sebagai berikut.

- Struktur balok yang tidak memenuhi persyaratan kapasitas sebesar 2,3% dari total balok, balok yang tidak memenuhi persyaratan kapasitas geser sebesar 8,6% dari total balok dan kolom yang tidak memenuhi kapasitas aksial lentur 74,6% dari total kolom. Sedangkan untuk hasil evaluasi kapasitas geser kolom adalah 100% memenuhi persyaratan.
- Perkuatan yang diperlukan pada struktur atas dengan menggunakan metode perkuatan *fiber reinforced polymer* dan *concrete jacketing*. Perkuatan lentur dan geser balok menggunakan 3 (tiga) tipe CFRP, yaitu S 1012, S 1014, dan S 626 dengan rentang lapisan sebanyak 1 sampai 3 lapis. Sedangkan untuk kolom dilakukan penebalan dimensi sebesar

200 mm dan 300 untuk kolom sudut dengan penambahan tulangan baru sebanyak 8D22 dan D10-100.

- c) Pasca dilakukan evaluasi dengan peraturan baru dan peningkatan kapasitas pada struktur atas, fondasi eksisting hasil dari estimasi pada Gedung Pendidikan pada salah satu institusi pendidikan di Bandung memenuhi persyaratan dan tidak diperlukan perkuatan.
- d) Hasil dari penelitian menunjukkan struktur bangunan yang berusia atau hampir mencapai 50 tahun biasanya didesain menerima beban gravitasi dan minim dalam penerimaan beban gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aji, R. P. (2018). Studi Sesar Lembang Menggunakan Citra Sentinel-1A untuk Pemantauan Potensi Bencana Gempa Bumi. *Jurnal Geodesi Undip (JGU)*, 7(4), 304-313. doi:10.14710/jgundip.2018.22435
- [2] Amanah, P. & Iskandar S.N. (2022). *Evaluasi Struktur Bawah Gedung Magister Sains Terapan Politeknik Negeri Bandung Mengacu pada SNI 1726:2019. Tugas Akhir*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [4] Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [5] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [6] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [7] Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [8] Costa, A. A. (2018). *Strengthening and Retrofitting of Existing Structures*. Porto: Springer. doi:10.1007/978-981-10-5858-5
- [9] Dharmaprawira, D. &. (2020). *Perbandingan Daya Dukung Perencanaan Fondasi Bored Pile Terhadap Hasil Pengujian Lapangan Pada Tower DDR Tangerang Baru. Tugas Akhir*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung.
- [10] Djuwadi. (2010). *Buku Bahan Ajar Rekayasa Pondasi - 2 (RKP-2)*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung.
- [11] Fahrujjal, R. T. (Juni 2020). Mikrozonasi Sesimik di Wilayah Ancaman Sesar Lembang antara Seksi Cihideung dan Gunung Batu Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. *RISER Geologi dan Pertambangan*, 30(1), 81-92. doi:10.14203/risergetam2020.v30.1092
- [12] Febriansya, A. (2016). *Perancangan Detail Perkuatan Pondasi Tiang Pasca Pelaksanaan Jembatan Kalanggeta Kabupaten Serang, Provinsi Banten. Tugas Akhir*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung.
- [13] Guntur, R. &. (2020). *Peningkatan Kapasitas Struktur Gedung Kantor TBBM Akibat dari Penambahan Dua Lantai Baru. Laporan Tugas Akhir*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung.
- [14] Handayani, T. (Januari 2019). Aplikasi Pemeriksaan Kedalaman Tiang Pandang dengan Pile Integrity Test pada Struktur Bangunan Turap. *Material Komponen dan Konstruksi*, 13(1), 22-29. doi:10.29122/mkk.v13i1.1658

- [15] Hardiyatmo, H. (2020). *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Sleman: Gajah Mada University Press.
- [16] Hardiyatmo, H. (2020). *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Sleman: Gajah Mada University Press.
- [17] Hardiyatmo, H. (2022). *Rekayasa Gempa untuk Analisis Struktur dan Geoteknik*. Sleman: Gajah Mada University Press.
- [18] Janitra, A. (2018). *Janitra, Agnes. 2018. "Skripsi Korelasi Ultrasonic Pulse Velocity dengan Kuat Tekan dan Tarik Belah Mortar dengan Limbah Genteng Tanah Liat Bakar sebagai Agregat Halus. Skripsi*. Bandung: Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
- [19] Juarti, E. &. (Desember 2017). Investigasi Keandalan Struktur Beton Bertulang dengan Alat Pundit Lab pada Bangunan Gedung Penunjang Pendidikan. *Potensi Jurnal Sipil Politeknik*, 19(2), 59-64. doi:10.35313/potensi.v19i2.902
- [20] Kertapati, E. (2006). *Aktivitas Gempa Bumi di Indonesia*. Bandung: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi, Pusat Survei Geologi.
- [21] Muljo, A. &. (2007). Sesar Lembang dan Resiko Kegempaan. *Bulletion of Scientific Contribution: Geology*, 5(2), 94-98. doi:10.24198/bsc%20geology.v5i2.8139
- [22] Pamungkas, A. &. (2013). *Desain Pondasi Tahan Gempa Sesuai SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2847-2002*. Yogyakarta: ANDI.
- [23] Ricky, N. &. (2021). Pemetaan Potensi Kerawanan Bencana Gempa Bumi Akibat Sesar Lembang di Kawasan Kabupaten Bandung Barat. *FTSP Series 2: Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir 2021* (pp. 563-576). Bandung: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Bandung.
- [24] Somantri, A. M. (2023). Analysis of Ground Response of Bandung Region Subsoils due to Predicted Earthquake Triggered by Lembang Fault, West Java Province, Indonesia. *Geotechnical and Geological Engineering*, 41(2), 1155-1181. doi:10.1007/s10706-022-02328-x
- [25] Sulardi. (Oktober 2017). Menentukan Condition Grade Kerusakan Struktur Bangunan Beton Dermaga dengan Inspeksi Teknik dan Metode Perbaikannya. *JST Jurnal Sains Terapan*, 3(2), 78-86.