

METODE PERBAIKAN STRUKTUR PADA GEDUNG BCA KCP AHMAD RIVAI PALEMBANG

Rajinda Bintang*

*Staff Pengajar, Jurusan Sipil, Politeknik Negeri Sriwijaya, Sumatera Selatan.
Email: rajinda.syadzali@polsri.ac.id

ABSTRACT

An investigation into the building is carried out to determine the suitability and safety of the building and the strength of the structure. The investigations to be carried out include field and laboratory investigations. This is done to determine the feasibility and safety of existing structures. Apart from that, it is also hoped that this investigation can provide recommendations regarding repair or strengthening methods if necessary, referring to the requirements for Structural Concrete for Buildings SNI 2847:2019 and Procedures for Earthquake Resistance Planning for Building and Non-Building Structures SNI 2847:2019. From the results of structural testing using UPV and Hammer Test, it was found that the structural system is an open frame consisting of plates, beams and columns using concrete material, while the joists use steel plinths. The reinforcing steel used uses plain iron U40 as flexible reinforcement with shear reinforcement with U24. The quality of concrete obtained respectively for column $f'c$ 25 MPa, beam $f'c$ 22 MPa and floor slab $f'c$ 22 MPa. Based on the results of the floor leveling survey to record the potential for building subsidence or floor sagging using a water level, it was concluded that there was no slope found in the building as a whole. The deflection that occurs is local and relatively flat. To meet the requirements, strengthening was carried out by increasing the dimensions of the columns and beams, adding plates to the steel profiles on the flange and web.

Keywords : *Retrofit, Structure Audit, Structure repair*

ABSTRAK

Penyelidikan terhadap Bangunan Gedung dilakukan untuk mengetahui Kelayakan dan Keamanan Bangunan dan segi kekuatan strukturnya. Penyelidikan yang akan dilakukan meliputi penyelidikan lapangan dan laboratorium. Hal ini dilakukan untuk mengetahui Kelayakan dan Keamanan Bangunan struktur eksisting. Disamping itu, penyelidikan ini juga diharapkan dapat memberikan rekomendasi tentang metoda perbaikan atau perkuatan bilamana diperlukan yang mengacu pada persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2019 dan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 2847:2019. Dari hasil pengujian struktur dengan UPV dan *Hammer Test* diperoleh bahwa sistem struktur merupakan *open frame* yang terdiri dari pelat, balok dan kolom menggunakan material beton sedangkan balok anak menggunakan profil baja. Baja tulangan yang digunakan menggunakan besi polos U40 sebagai tulangan lentur dengan tulangan geser dengan U24. Mutu beton yang diperoleh masing masing untuk kolom $f'c$ 25 MPa, Balok $f'c$ 22 MPa dan Pelat lantai $f'c$ 22 MPa. Berdasarkan hasil survey leveling lantai untuk mendata potensi penurunan bangunan atau melendutnya lantai dengan menggunakan waterpass maka disimpulkan bahwa tidak ditemui kemiringan pada bangunan secara keseluruhan. Lendutan yang terjadi bersifat lokal dan relatif rata. Dalam memenuhi persyaratan dilakukan perkuatan dengan cara memperbesar dimensi kolom dan balok, penambahan pelat pada profil baja pada bagian badan dan sayap.

Kata Kunci : Retrofit, Audit Struktur, Perbaikan Struktur

1. PENDAHULUAN

Gedung BCA Kantor Cabang Pembantu (KCP) A, Rivai yang berlokasi di jalan Kapten Rivai 22, Palembang. Tujuan pelaksanaan building audit struktur gedung ini adalah untuk mengetahui kelayakan struktur bangunan existing (*technical appraisal*) yang berumur 28 tahun dan dianalisa terhadap beban gravitasi & gempa sesuai peraturan dan standar perencanaan bangunan sebagai bangunan perkantoran.

Adapun tujuan dari Building Audit adalah untuk menilai secara teknis (*technical appraisal*) mengenai kelayakan bangunan dan evaluasi kekuatan struktur bangunan existing (kolom, balok dan pelat lantai).

Pengambilan data lapangan digunakan untuk melengkapi data *collecting* yang tersedia sehingga dapat menjadi dasar dalam evaluasi struktur bangunan existing sesuai dengan kondisi lapangan aktual, kemudian data tersebut digunakan sebagai input data untuk kebutuhan desain perkuatan (bila diperlukan).

Hasil yang diharapkan dari studi ini adalah Laporan building audit yang mencakup hasil penyelidikan lapangan dan analisa struktur terhadap kombinasi *gravity load* dan *seismic load*, Pendataan, penggambaran posisi dan dimensi struktur beton existing, rekomendasi kelayakan dan kekuatan struktur bangunan existing berdasarkan hasil penyelidikan lapangan dan analisa struktur terhadap kombinasi *gravity load* dan *seismic load* serta usulan sistem perbaikan (jika diperlukan) yang efektif, efisien dan ekonomis sesuai kebutuhan berdasarkan hasil investigasi dan evaluasi struktur.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan data elemen-elemen struktur bangunan seperti kolom, balok, pelat lantai diperlukan sebagai input data evaluasi kekuatan struktur pada bagian selanjutnya. Dengan demikian, dapat diketahui kemampuan dan kelayakan struktur bangunan existing. Selain itu, dapat diketahui bagian-bagian struktur mana yang perlu diperbaiki dan diperkuat (bila diperlukan). Metodologi yang dilakukan dalam penyelidikan struktur bangunan adalah sebagai berikut:

- 3.1 Pemeriksaan fisik bangunan secara visual guna mengetahui kondisi struktur bangunan existing bila terdapat kerusakan, lendutan masif, deformasi, retak-retak, *local failure* dan lain-lain.
- 3.2 Investigasi elemen-elemen struktur existing (kolom, balok, pelat lantai) meliputi dimensi, jumlah tulangan, tebal selimut beton dan diameter tulangan (*non destructive test*) dan atau dengan cara chipping test (*destructive test*) di beberapa tempat.
- 3.3 Pengecekan mutu beton dengan cara *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test*, *Core Drill Test* dan *Hammer Test*.
- 3.4 Leveling lantai untuk memeriksa kemungkinan bila terjadi penurunan bangunan.

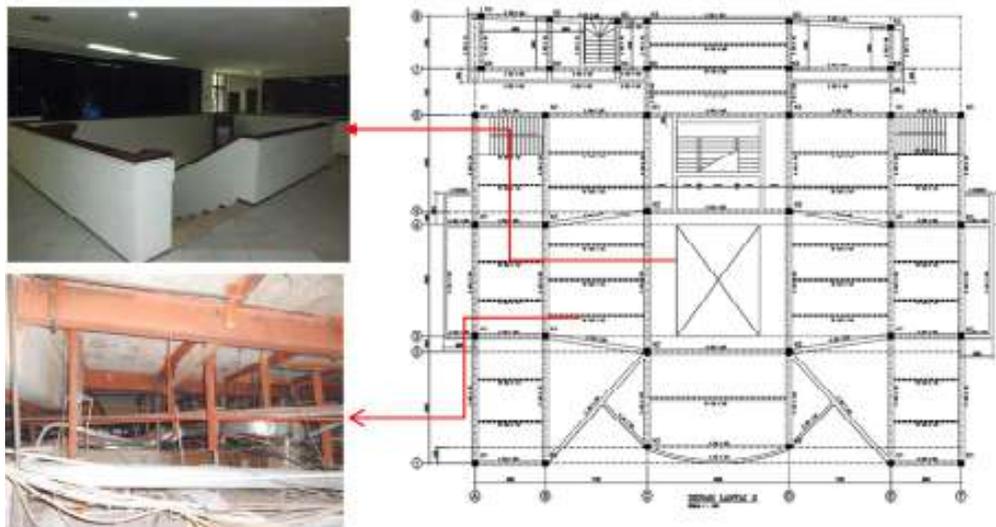
3. HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengamatan dan penelitian secara visual

Pengamatan dan penelitian visual bertujuan untuk mengamati secara langsung elemen struktur existing. Pengamatan yang dilaksanakan antara lain mengenai letak dan dimensi elemen struktur kolom, balok dan pelat lantai, serta hal-hal lain yang terkait dengan sistem struktur bangunan existing. Dari langkah ini, dapat disusun denah pembalokan maupun info letak kerusakan struktur bila ada. Selanjutnya hasil pengamatan dan data gambar struktur existing tersebut akan digunakan sebagai data untuk mengevaluasi kekuatan struktur sehingga dapat diketahui kelayakan struktur existing dalam mendukung beban aktual di lapangan. Secara visual kondisi existing ditunjukkan pada gambar berikut:



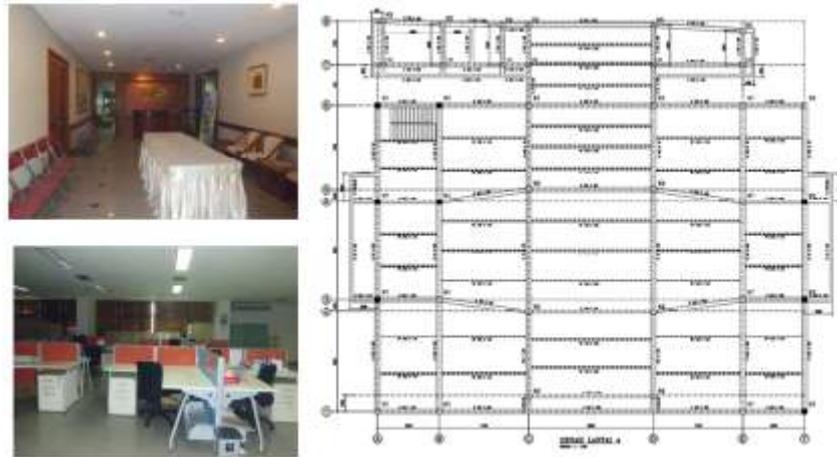
Gambar 1. Denah Lantai 1 dan tampak luar KCP A. Rivai



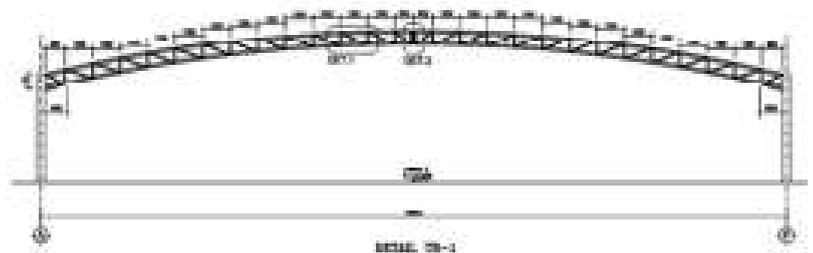
Gambar 2. Kondisi Balok Lantai 2



Gambar 3. Kondisi Lantai 3



Gambar 4. Kondisi Lantai 4



Gambar 4. Kondisi Atap dengan rangka Trus



(a)

(b)

Gambar 5. (a) Kondisi Join Balok Induk dan Kolom (b) Kondisi Balok Induk dan Balok Anak (IWF)

3.2 Pengujian Mutu Beton

Mutu kuat tekan beton didapat dari UPV test dan *hammer test*. Hasil dari pengujian tersebut digunakan sebagai dasar data kuat tekan dalam analisis struktur. Berdasarkan uji kuat tekan tersebut diatas diketahui bahwa kuat tekan beton hammer test lebih tinggi dari hasil uji *core drill* maka kuat tekan (f_c') beton pada balok dan pelat adalah 22 Mpa dan kolom 25 Mpa.

3.3 Pengecekan tulangan Existing

Pengecekan tulangan dilakukan untuk mengetahui kapasitas yang dapat dipikul masing-masing elemen struktur. Pendataan penulangan dilakukan dengan menggunakan metode chipping untuk melakukan pengukuran langsung diameter tulangan dan provometer test. Hasil pengecekan penulangan ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Pembesian pada elemen pelat

Lantai	Posisi	As	Balok/Kolom			Cek Pembesian			
			Tebal	Lx	Ly	No.	Chipping	No.	Provometer
3	Mid	1-2/C-D	120	φ8-140	φ8-140	1	√		
3	Mid	7-8/B-C	120	φ10-120	φ10-150	2	√		
Tangga Utama	Mid	5-6/C-D	150	D16-100	D13-100			1	√
Tangga Daruat	Mid	5'-6/A-B	150	D16-100	D13-100			2	√
2	Mid	3-4/B-C	120	φ10-100	φ10-200			3	√
4	Mid	4-5/C-D	120	φ10-100	φ10-200			4	√
Jumlah						2 titik		4 titik	

Tabel 2. Pembesian pada elemen kolom

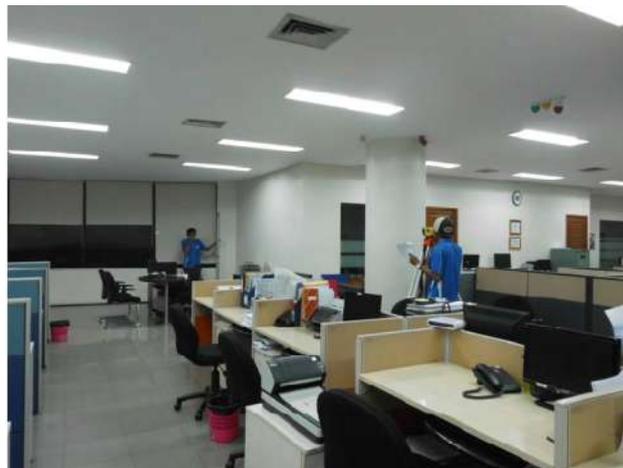
Lantai	Posisi	As	Balok/Kolom		Cek Pembesian				
			Dimensi	Tul. Utama	Sengkang	No.	Chipping	No.	Provometer
1	Mid	6/B	400/400	14D25	φ10-130	1	√		
1	Mid	6/A	400/400	14D25	φ10-130	2	√		
1	Mid	3/B	400/400	14D25	φ10-150	3	√		
1	Mid	5/C	φ 500	14D25	φ10-120	13	√		
2	Mid	1/E	400/400	14D25	φ10-150	4	√		
2	Mid	3/E	400/400	14D25	φ10-190	5	√		
2	Mid	6/A	400/400	14D25	φ10-130	6	√		
2	Mid	6/B	400/400	14D25	φ10-150	7	√		
2	Mid	5/C	φ 500	24D25	φ10-130	8	√		
2	Mid	8/B	300/400	14D25	φ10-90	9	√		
3	Mid	6/B	400/400	14D25	φ10-200	10	√		
3	Mid	3/E	400/400	14D25	φ10-120	11	√		
3	Mid	6/A	400/400	14D25	φ10-150	12	√		
1	Mid	3/b	500/600	12D25	φ10-120/150			1	√
1	Mid	5/c	φ 600	24D25	φ10-140/160			2	√
2	Mid	3/b	500/600	12D25	φ10-130/150			3	√
2	Mid	5/c	φ 600	24D25	φ10-160/170			4	√
3	Mid	3/b	500/600	12D25	φ10-120/150			5	√
3	Mid	5/c	φ 600	24D25	φ10-140/180			6	√
Jumlah						12 titik		6 titik	

Tabel 3. Pembesian pada elemen Balok

Lantai	Posisi	As	Balok/Kolom			Cek Pembesian			
			Dimensi	Tul. Utama	Sengkang	No.	Chipping	No.	Provometer
2	End	2-5/C	400/600	6D25	φ10-70	13	√		
2	End	4-5/B-C	300/600	4D25	φ10-100	14	√		
2	End	2-3/D-E	300/600	2D25	φ10-100	15	√		
2	End	1-3/E	400/600	5D25	φ10-80	16	√		
2	End	3-4/E	400/600	5D25	φ10-70	17	√		
2	End	3/E-F	300/400	2D25	φ10-100	18	√		
2	End	5-6/C	400/600	5D25	φ10-70	19	√		
2	End	5/C-D	400/600	4D25	φ10-100	20	√		
2	End	2-5/C	400/600	5D25	φ10-70	21	√		
2	End	5-6/C	400/600	5D25	φ10-70	22	√		
2	End	1-2/E	400/600	4D25	φ10-100	23	√		
3	End	2-5/D	400/400	6D25	φ10-80	24	√		
3	End	5/C-D	300/400	4D25	φ10-120	25	√		
3	Mid	2-5/D	400/600	5D25	φ10-90	26	√		
3	Mid	8/B;C	300/400	4D25	φ10-120	27	√		
3	Mid	2-4/E	400/600	4D25	φ10-170	28	√		
3	Mid	1-3/E	400/600	4D25	φ10-100	29	√		
3	Mid	2/C-D	300/400	2D25	φ10-100	30	√		
4	Mid	4-6/A	400/600	5D25	φ10-150	31	√		
4	Mid	3-5/B-C	400/600	7D25	φ10-130/150				√
4	Mid	5/C-D	300/600	4D25	φ10-140/150				√
Jumlah						19	titik	2	titik

3.4 Pengecekan tulangan Existing

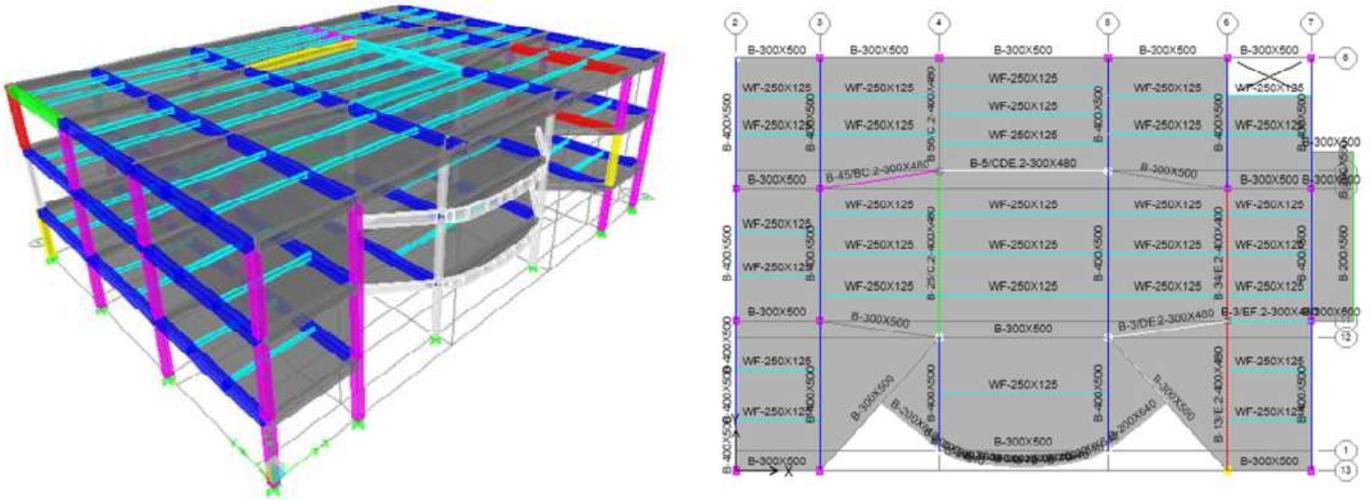
Survey leveling yang dilakukan menggunakan satu titik acuan yang bersifat local untuk tiap lantai. Perbedaan level lantai keramik yang yang disurvey tidak mengindikasikan pola perbedaan level yang bisa mengindikasikan adanya penurunan pondasi/kemiringan bangunan serta lendutan modul lantai



Gambar 6. Pengukuran/Leveling pada bangunan existing

3.5 Analisa Struktur

Kelayakan struktur BCA KCP A. Rivai dilakukan Analisa kapasitas struktur existing sesuai dengan data yang diperoleh dari hasil pengujian dan monitoring. Analisis struktur bangunan dilakukan dengan berbasis elemen hingga (*finite element*) untuk berbagai kombinasi pembebanan yang meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa dengan pemodelan struktur 3-D (3-D space frame). Pemodelan struktur dilakukan dengan Program Etabs (*Extended Three Dimensial Analysis of Building System*).

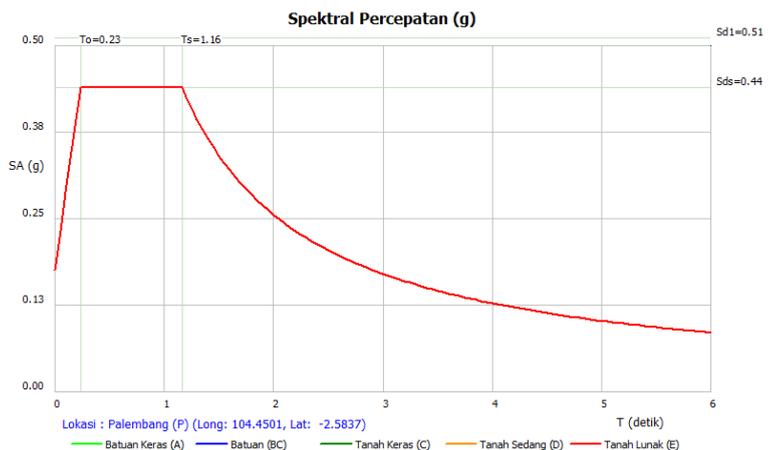


Gambar 7. Pengukuran/Leveling pada bangunan existing

Koefisien beban gempa ditentukan berdasarkan perancangan ketahanan gempa untuk struktur dan non struktur dengan menggunakan koordinat bangunan -2.9798232,104.7446698 dari peta gempa diperoleh data percepatan sebagai berikut:

Nama Kota : Palembang (P)
 Bujur / Longitude : 104.4501 Degrees
 Lintang / Latitude : -2.5837 Degrees
 Kelas Situs : SE - Tanah Lunak

PGA = 0.144433 g
 PGAm = 0.314552 g
 CRs = 0.000000
 CRl = 0.000000
 Ss = 0.286865 g
 S1 = 0.252513 g
 TL = 20.000000 detik
 Fa = 2.296777
 Fv = 3.037435
 Sms = 0.658866 g
 Sm1 = 0.766992 g
 Sds = 0.439244 g
 Sd1 = 0.511328 g
 T0 = 0.232822 detik
 Ts = 1.164109 detik



Gambar 8. Grafik percepatan dengan kondisi situs tanah lunak

Dalam pembebanan gempa, arah utama pengaruh gempa rencana ditentukan sedemikian rupa, sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang sudah ditentukan, harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan, tetapi dengan efektifitas hanya 30%.

Tabel 4. Cek Kebutuhan Penulangan Pelat terhadap Tulangan Terpasang Pelat Lantai 2, 3 & 4

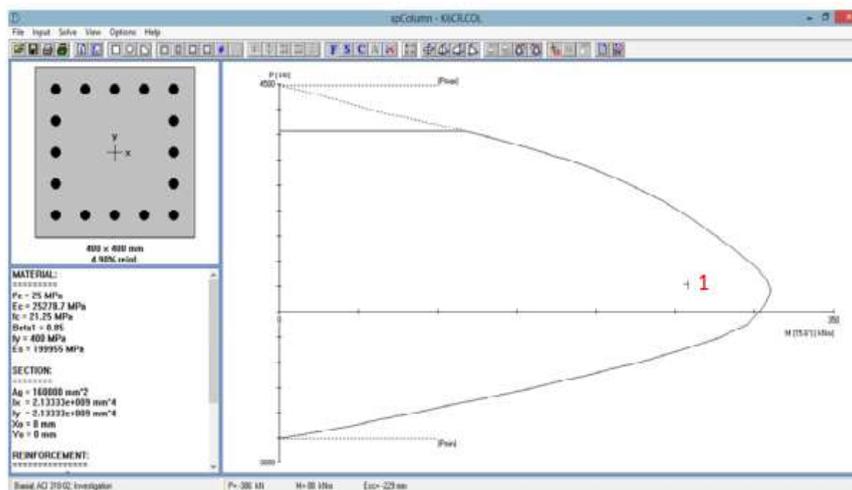
Type	Q _u (kg/m ²)	l _y (m)	l _x (m)	l _y / l _x	ket	x	M _u (kg-m)	f _c ' (Mpa)	f _y (Mpa)	d eff (mm)	ρ	ρ min	As perlu (mm ²)	Tulangan	As terpasang (mm ²)	Ket	
S1	1052.8	7.10	2.80	2.536	1-way slab	63	M _{lx} = 1320.86	22	240	100	0.0027	0.003	300.00	?	10 - 150	523.81	ok
						13	M _{ly} = 660.429							?	10 - 150	523.81	ok
						64	M _{tx} = 637.565							?	10 - 150	523.81	ok
						56	M _{ty} = 660.429							?	10 - 150	523.81	ok
S2	1052.8	4.9	2.60	1.885	2-way slab	61	M _{lx} = 434.13	22	240	100	0.0023	0.003	300.00	?	10 - 150	523.81	ok
						35	M _{ly} = 249.09							?	10 - 150	523.81	ok
						83	M _{tx} = 890.71							?	10 - 150	523.81	ok
						57	M _{ty} = 405.66							?	10 - 150	523.81	ok

Tabel 5. Cek Kebutuhan Penulangan Balok

TIPE	Tul terpasang	As ada (mm ²)	d (mm)	M _u (kNm)	As perlu (mm ²)	ρMin (kNm)	ρ	Cak As (mm ²)	Cak Momen	Cak p	Tul geser	As ada (mm ²)	V (kN)	Vs (kN)	ξ kaki	As required (mm ²)	Cek tul Geser			
4-6/A.4	TUMPUAN	Top 5 D 25	2453.125	557.5	220.91	1320.86	3 D 25	0.0110	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 100	785	88	1	1	4.48	10 D - 275	Oke...	
		Bot 3 D 25	1471.875		660.429	2 D 25	410.28	0.0056	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 200	392.5	60	1	1	4.48	10 D - 275	Oke...	
	LAPANGAN	Top 3 D 25	1471.875		109.98	328.783	2 D 25	410.28	0.0056	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 200	392.5	60	1	1	4.48	10 D - 275	Oke...
		Bot 5 D 25	2453.125		637.565	2 D 25	410.28	0.0110	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 100	785	88	1	1	4.48	10 D - 275	Oke...	
3/E.F.2	TUMPUAN	Top 5 D 25	2453.125	557.5	220.91	1320.86	3 D 25	0.0110	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 100	785	88	1	1	4.48	10 D - 275	Oke...	
		Bot 3 D 25	1471.875		660.429	2 D 25	410.28	0.0056	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 200	392.5	60	1	1	4.48	10 D - 275	Oke...	
	LAPANGAN	Top 2 D 25	1962.5		238.25	1437.32	3 D 25	325.31	0.0117	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 100	785	71	1	1	4.48	10 D - 275	Oke...
		Bot 2 D 25	981.25		718.662	2 D 25	325.31	0.0059	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 200	392.5	66	1	1	4.48	10 D - 275	Oke...	
3-4/E.2	TUMPUAN	Top 5 D 25	2453.125	557.5	382.87	2289.19	5 D 25	0.0110	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 70	1121.428571	235	139.006	1	623.35	10 D - 125	Oke...	
		Bot 3 D 25	1471.875		1344.6	3 D 25	410.28	0.0066	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 200	392.5	175	50.0062	1	264.60	10 D - 275	Oke...	
	LAPANGAN	Top 3 D 25	1471.875		201.39	602.064	2 D 25	410.28	0.0066	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 70	1121.428571	235	139.006	1	623.35	10 D - 125	Oke...
		Bot 5 D 25	2453.125		1204.13	3 D 25	410.28	0.0110	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 200	392.5	175	50.0062	1	264.60	10 D - 275	Oke...	
4-5/D.3	TUMPUAN	Top 6 D 25	2943.75	559.5	429.75	2628.96	6 D 25	0.0132	Oke...	Oke...	Tul max ok	8 D - 80	638	167	1	1	4.47	8 D - 275	Oke...	
		Bot 4 D 25	1962.5		1314.48	3 D 25	481.21	0.0088	Oke...	Oke...	Tul max ok	8 D - 200	251.2	155	1	1	4.47	8 D - 275	Oke...	
	LAPANGAN	Top 4 D 25	1962.5		187.25	605.782	2 D 25	606.60	0.0088	Oke...	Oke...	Tul max ok	8 D - 80	638	167	1	1	4.47	8 D - 275	Oke...
		Bot 6 D 25	2943.75		1211.56	3 D 25	606.60	0.0175	Oke...	Oke...	Tul max ok	8 D - 200	251.2	155	1	1	4.47	8 D - 275	Oke...	
5/C.D.3	TUMPUAN	Top 6 D 25	2943.75	561.5	429.75	2628.96	6 D 25	0.0132	Oke...	Oke...	Tul max ok	8 D - 80	638	167	1	1	4.47	8 D - 275	Oke...	
		Bot 4 D 25	1962.5		1314.48	3 D 25	481.21	0.0088	Oke...	Oke...	Tul max ok	8 D - 200	251.2	155	1	1	4.47	8 D - 275	Oke...	
	LAPANGAN	Top 4 D 25	1962.5		277.48	1660.04	4 D 25	327.98	0.0117	Oke...	Oke...	Tul max ok	6 D - 120	235.5	83	1	1	4.45	6 D - 275	Oke...
		Bot 2 D 25	981.25		830.022	2 D 25	327.98	0.0058	Oke...	Oke...	Tul max ok	6 D - 200	141.3	78	1	1	4.45	6 D - 275	Oke...	
5-6/C.2	TUMPUAN	Top 6 D 25	2943.75	570	489.93	2933.02	6 D 25	0.0129	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 70	1121.428571	292	211.098	1	925.87	10 D - 75	Oke...	
		Bot 3 D 25	1471.875		1466.51	3 D 25	491.72	0.0065	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 250	523.333333	134	1	1	4.39	10 D - 275	Oke...	
	LAPANGAN	Top 3 D 25	1471.875		190.88	556.493	2 D 25	420.71	0.0065	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 70	1121.428571	292	211.098	1	925.87	10 D - 75	Oke...
		Bot 5 D 25	2453.125		1112.99	3 D 25	420.71	0.0108	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 150	523.333333	134	1	1	4.39	10 D - 275	Oke...	
2-5/C.2	TUMPUAN	Top 6 D 25	2943.75	557.5	688.29	4228.13	9 D 25	0.0132	Net Ok	cek...	Tul max ok	10 D - 70	1121.428571	386	340.34	1	1526.19	10 D - 50	Cek tulangan...	
		Bot 3 D 25	1471.875		2114.06	5 D 25	479.21	0.0066	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 200	392.5	250	159.006	1	713.03	10 D - 100	Cek tulangan...	
	LAPANGAN	Top 4 D 25	1962.5		426.76	1347.71	3 D 25	543.76	0.0088	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 70	1121.428571	386	340.34	1	1526.19	10 D - 50	Cek tulangan...
		Bot 7 D 25	3434.375		2695.41	6 D 25	479.21	0.0154	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 200	392.5	250	159.006	1	713.03	10 D - 100	Cek tulangan...	
2-5/D.3	TUMPUAN	Top 6 D 25	2943.75	557.5	688.29	4228.13	9 D 25	0.0132	Net Ok	cek...	Tul max ok	10 D - 70	1121.428571	386	340.34	1	1526.19	10 D - 50	Cek tulangan...	
		Bot 3 D 25	1471.875		2114.06	5 D 25	479.21	0.0066	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 200	392.5	250	159.006	1	713.03	10 D - 100	Cek tulangan...	
	LAPANGAN	Top 6 D 25	2943.75		643.70	3954.21	9 D 25	479.21	0.0132	Net Ok	cek...	Tul max ok	10 D - 90	872.222222	263	176.34	1	790.76	10 D - 75	Oke...
		Bot 3 D 25	1471.875		415.66	1977.11	5 D 25	543.76	0.0088	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 250	523.333333	134	1	1	4.48	10 D - 275	Oke...
1-3/E.2	TUMPUAN	Top 5 D 25	2453.125	557.5	387.51	2316.95	5 D 25	0.0110	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 80	981.25	179	64.3395	1	288.52	10 D - 250	Oke...	
		Bot 3 D 25	1471.875		1158.48	3 D 25	410.28	0.0066	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 200	392.5	165	1	1	4.48	10 D - 275	Oke...	
	LAPANGAN	Top 3 D 25	1471.875		223.75	668.922	2 D 25	410.28	0.0066	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 70	1121.428571	386	340.34	1	1526.19	10 D - 50	Cek tulangan...
		Bot 5 D 25	2453.125		1337.84	3 D 25	410.28	0.0110	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 80	981.25	179	64.3395	1	288.52	10 D - 250	Oke...	
1-3/E.2	TUMPUAN	Top 5 D 25	2453.125	557.5	387.51	2316.95	5 D 25	0.0110	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 80	981.25	179	64.3395	1	288.52	10 D - 250	Oke...	
		Bot 3 D 25	1471.875		1158.48	3 D 25	410.28	0.0066	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 200	392.5	165	1	1	4.48	10 D - 275	Oke...	
	LAPANGAN	Top 3 D 25	1471.875		223.75	668.922	2 D 25	410.28	0.0066	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 70	1121.428571	386	340.34	1	1526.19	10 D - 50	Cek tulangan...
		Bot 5 D 25	2453.125		1337.84	3 D 25	410.28	0.0110	Oke...	Oke...	Tul max ok	10 D - 80	981.25	179	64.3395	1	288.52	10 D - 250	Oke...	

Tabel 6. Cek Kebutuhan Penulangan Kolom

No. Point	Kondisi	Story	Column	Load	Loc (m)	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)
1	M2 min	3RD	C3	COMB10	3.60	-521.80	34.92	-123.74	1.52	204.00	-59.90
	M2 max	3RD	C3	COMB10	0.00	-539.03	34.92	-123.74	1.52	-248.73	69.63
	M3 min	3RD	C3	COMB15	0.00	-323.63	-56.16	-0.20	4.54	-6.80	-108.47
2	M3 max	3RD	C3	COMB5	0.00	-492.08	61.67	-104.85	-4.61	-212.11	121.17
	P max	3RD	C3	COMB2	0.00	-607.99	3.04	-80.03	-0.05	-167.31	7.59

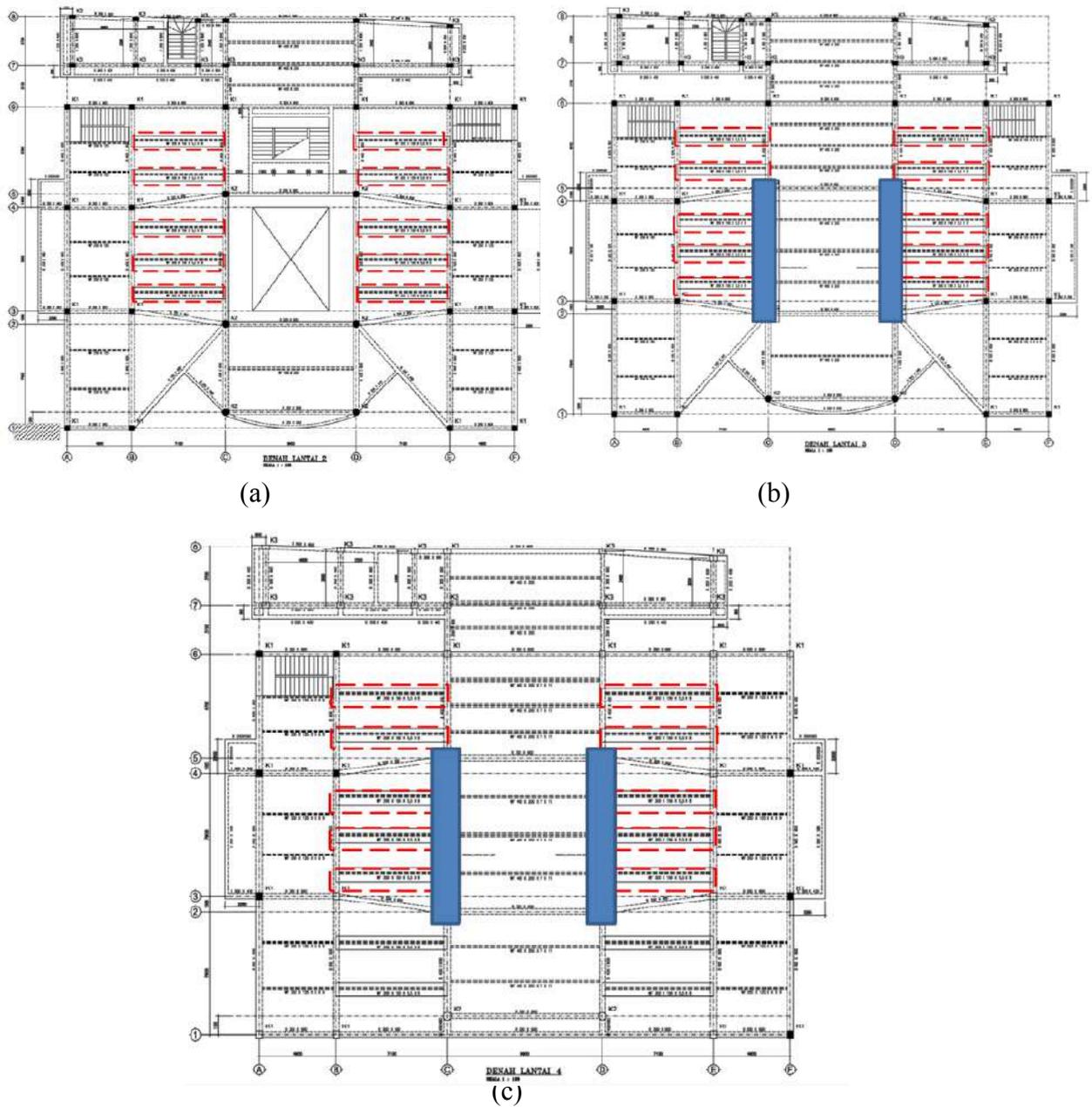


Gambar 9. Interaksi kolom

Dari hasil perhitungan kapasitas kolom, seluruh kolom masih memiliki kapasitas struktur yang aman atau semua gaya dan bending momen masih berada dalam batas diagram interaksi (Ok).

3.6 Perbaikan Struktur

Berdasarkan hasil audit di lapangan dan analisa struktur Bangunan perlu dilakukan perbaikan pada elemen balok untuk dapat memenuhi peraturan Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2019 dan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2020. Elemen struktur yang diperbaiki ditunjukkan pada gambar 10 berikut



Gambar 10. a. Denah perkuatan balok Lantai 2, b. Denah perkuatan balok Lantai 3, c. Denah perkuatan balok Lantai 4

3.6.1. Perbaikan Struktur dengan penambahan dimensi dan Penambahan tebal sayap Balok IWF

Untuk menambah kapasitas lentur dan geser balok, digunakan perkuatan fiber reinforced polymer yang direkatkan pada sisi permukaan balok yang diperkuat dengan bantuan perekat epoxy. Seperti terlihat pada gambar ilustrasi dibawah ini. Perkuatan struktur dilakukan pada Balok Kolom dengan Pembesaran Dimensi. Penambahan dimensi dilakukan pada elemen balok utama ukuran 40 x 60 cm menjadi 50 x 80 cm.



Gambar 11. Perbaikan Struktur Balok

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian dan analisis pada bangunan existing dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil pendataan besi tulangan (provometer dan chipping) dan pengetesan mutu beton (*coring*, *UPV test* dan *Hammer Test*), diperoleh informasi elemen struktur adalah sbb. :
 - a. Sistem struktur bangunan berupa *open frame* yang terdiri dari pelat, balok dan kolom menggunakan material beton bertulang sedangkan balok anak menggunakan profil baja.
 - b. Besi tulangan yang digunakan besi polos BJTD U-40 sebagai besi memanjang (longitudinal) dengan sengkang besi polos baik untuk kolom maupun balok BJTP U-24.
2. Mutu beton eksisting adalah :
 - a. Kolom : $f_c' = 25 \text{ MPa}$
 - b. Balok : $f_c' = 22 \text{ MPa}$
 - c. Pelat : $f_c' = 22 \text{ Mpa}$
3. Dari mutu beton yang diperoleh perkuatan dapat dilakukan pada struktur dengan mengacu ACI Committee 440 dimana mutu beton yang disyaratkan $f_c' = 17 \text{ mPa}$
4. Berdasarkan hasil survey leveling lantai untuk mendata potensi penurunan bangunan atau melendutnya lantai dengan menggunakan waterpass maka disimpulkan bahwa tidak ditemui kemiringan pada bangunan secara keseluruhan. Lendutan yang terjadi bersifat *local* dan relatif rata.

5. Hasil analisa struktur berdasarkan peraturan Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2019 dan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2020 adalah sebagai berikut :
 - a. Balok as 2-5/C dan 2-5/D perlu dilakukan perkuatan di tumpuan akibat gaya gempa. Perkuatan tipikal pada as 2-5/C dan 2-5/D di lantai 3 dan 4.
 - b. Semua balok anak profil IWF 300x150x5,5x9 butuh Perkuatan karena tegangan pada profil baja tersebut lebih besar dari tegangan ijin 1600 kg/cm². Perkuatan tipikal pada lantai 2 s/d 4
 - c. Kolom eksisting masih mampu memikul beban gempa rencana karena pembesian dan penampang kolom kapasitas lebih besar dari kebutuhan saat bending momen ultimit (gaya ultimit beban terpusat dan bending momen ultimit masih berada di dalam diagram interaksi).
6. Perbaikan struktur yang dilakukan untuk menambah Kapasitas lentur pada balok utama adalah melakukan penambahan tulangan dan dimensi balok, sedangkan pada balok anak IWF 300.150.5,5.9 dilakukan perkuatan sayap dengan menambah pelat tebal 10 mm.

5. DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 440. (2002) ACI 440.2R-02. *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, (TT) : American Concrete Institute..*

Christiawan, I., Triwiyono, A., dan Christiady H. (2008). Evaluasi Kinerja dan Perkuatan Struktur Gedung Guna Alih Fungsi Bangunan (Studi Kasus : Perubahan Ruang Kelas Menjadi Ruang Perpustakaan Pada Lantai II Gedung G Universitas Semarang).

Herdiansyah, Y. 2008. Analisis Lentur Balok Tulangan Ganda. Diktat Kuliah. Bandung: tidak diterbitkan.

Pusat Penelitian Dan Pengembangan Teknologi Permukiman. (2002). SNI – 1726 – 2020, Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung. Bandung: Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah.

Winter G. dan Nilson Arthur H. (Eds). 1993. Perencanaan Struktur Beton Bertulang. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.