

Perbaikan Struktur Gedung Bangunan Cagar Budaya (Studi Kasus pada bangunan di Jl. Rajawali No. 3 – 5, Surabaya)

Akhmad Yusuf Zuhdy, R. Buyung Anugraha, Sungkono
Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya
Email: *yusuf_zuhdi@ce.its.ac.id*

Abstract

This study is a continuation of previous study of structural evaluation of heritage building at Rajawali Road No. 3-5 Surabaya. This building is mainly used for office. The aim of the study is to get strengthening recommendation for the building. From this study, it is recommended that strengthening should be applied at supporting elements of the building such as plate, beam and column so that the building can support a design live load of 250 kg/m². It is required that the building should perform well under either service or ultimate load. To fulfill this requirement, this study recommends the use of fiber reinforced polymers (FRP) as strengthening method for plate, beam and column.

Keywords: building structure reinforcement, heritage building, service and ultimate load maximum.

Abstrak

Studi ini adalah kelanjutan dari studi sebelumnya tentang analisa kelayakan teknis penggunaan gedung cagar budaya pada bangunan di jl. Rajawali no. 3-5 Surabaya sebagai gedung perkantoran. Studi ini bertujuan untuk menghasilkan rekomendasi teknis perbaikan struktur bangunan gedung tersebut. Studi ini merekomendasikan perkuatan tambahan pada elemen yang mendukung struktur utama gedung seperti pelat, balok dan kolom agar mampu menerima beban hidup sebesar 250 kg/m². Struktur utama gedung disyaratkan dapat bekerja dengan baik pada keadaan batas layan dan batas *ultimate*. Untuk memenuhi syarat tersebut, maka studi ini menyarankan perkuatan dengan bahan *fiber reinforced polymers* (FRP) pada kolom, balok, dan pelatnya.

Kata kunci: perbaikan struktur, cagar budaya, batas layan, dan *ultimate*.

1. Pendahuluan

Gedung di jl. Rajawali No. 3–5, Surabaya, akan dioptimalkan penggunaannya dan difungsikan sebagai gedung CBC Surabaya Jembatan Merah. Gedung tersebut merupakan salah satu gedung cagar budaya Kota Surabaya dan tidak ada catatan yang resmi sejak kapan mulai difungsikan sepenuhnya sebagai salah satu perusahaan perbankan nasional yang berada di kota Surabaya. Gedung yang terletak di Jl. Rajawali no. 3-5, Surabaya, terdiri dari 2 (dua) lantai (Zuhdy, 2012). Pelaksanaan perbaikan terhadap gedung ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan sisa dari bangunan ini sehubungan dengan alih fungsi gedung. Data yang digunakan dalam perhitungan berdasar-

kan data dari uji material yang telah dilaksanakan oleh PT. ITS Kemitraan sebelumnya. Data-data teknis yang digunakan antara lain data geometri bangunan, dimensi elemen-elemen struktur (meliputi dimensi plat lantai, balok dan kolom), kuat tekan beton, kuat tarik baja, serta posisi penulangan yang terpasang (Zuhdy, 2012).

1.1. Lokasi Studi

Untuk pelaksanaan studi gedung yang berlokasi di jalan Rajawali no. 3-5 Surabaya berada di kawasan perdagangan wilayah Surabaya Utara (Zuhdy, 2012). Untuk batas-batas dari gedung seperti pada gambar 1 adalah sebagai berikut (Zuhdy, 2012):

Sebelah Utara : Pusat Grosir Jem-
tan Merah Plasa
Sebelah Selatan : Kawasan Perumahan
Sebelah Barat : Hotel Ibis Surabaya
Sebelah Timur : Kantor Cabang Bank
Mandiri Rajawali

1.2. Data Geometri

Menurut Zuhdy 2012, gedung tersebut terdiri dari 2 (dua) lantai dengan luasan mencapai 1250,25 m². Struktur balok yang dimaksud pada bagian ini adalah struktur balok sebagai pendukung pelat beton lantai 2. Data yang digunakan dalam perhitungan berdasarkan data dari uji material yang telah dilaksanakan oleh PT. ITS Kemitraan. Pada gedung ini, baik pada struktur balok induk maupun balok anak, keduanya merupakan balok komposit baja dan beton. Untuk balok induk mempunyai dimensi 250 x 500 mm dengan jarak antar balok 4000 mm, sedangkan pada balok anak mempunyai dimensi 200 x 300 mm dengan jarak antar balok 750 mm (gambar 1). Struktur kolom gedung terdiri dari 2 macam dimensi kolom. Kolom pertama merupakan kolom komposit baja dan beton berbentuk lingkaran dengan diameter 400 mm, sedangkan kolom kedua merupakan kolom batu bata berbentuk persegi empat dengan dimensi 800 x 600 mm (gambar 2 dan 3).

Zuhdy 2012 menyatakan bahwa elemen struktur yang ada pada gedung ini merupakan elemen komposit baja dan beton yang terdiri dari balok persegi empat dengan dimensi 200 x 300 mm dan 250 x 500 mm serta kolom lingkaran dengan diameter 400 mm.

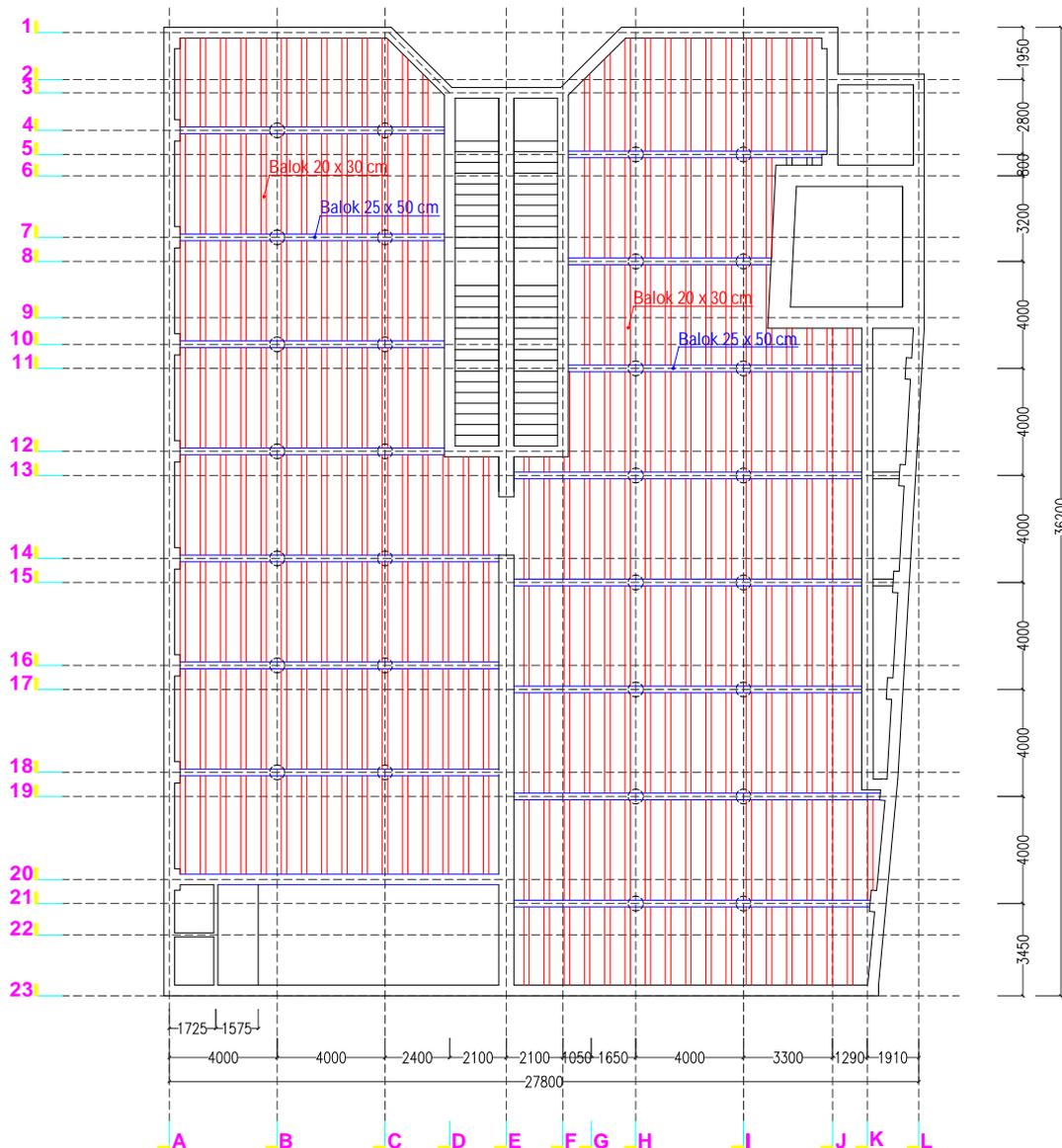
2. Metodologi

2.1. Kinerja Batas Layan

Menurut Zuhdy 2012, berdasarkan SNI 03-1726-2002 kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh Gempa Rencana. Untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, disamping untuk mencegah kerusakan nonstruktur dan ketidaknyamanan penghuni. Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui 0,03/R kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung yang mana yang nilainya kecil.

2.2. Kinerja Batas Ultimate

Zuhdy 2012 menyatakan bahwa kinerja batas *ultimate* struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat $b_{maksimum}$ struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan. Untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela dilatasi). Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimate struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung, tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan.



Gambar 1. Denah Balok Lantai 2 Gedung di Jl. Rajawali no. 3-5 Surabaya

2.3. Kondisi Komponen Struktur

Beberapa kondisi komponen-komponen struktur yang mengalami kerusakan struktural sebagaimana hasil investigasi lapangan adalah kondisi balok anak, pelat lantai, kolom, dan pelat tangga seperti terlihat pada gambar 4, 5, 6 dan 7.

2.4. Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan adalah data dimensi komponen struktur serta kualitas bahan yang meliputi antara lain:

1. Kuat tekan beton

Menurut Zuhdy 2012, dalam melakukan analisis struktur, maka perlu diketahui kualitas beton, terutama kuat tekannya. Untuk mengetahui kuat tekan beton dapat dilakukan uji *non destructive test* (uji tidak merusak) dengan pengambilan sampel bor inti (*core case*), Schmidt Hammer Test, UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*) dan lain lain. Pengujian bahan dilakukan pada bagian struktur yang

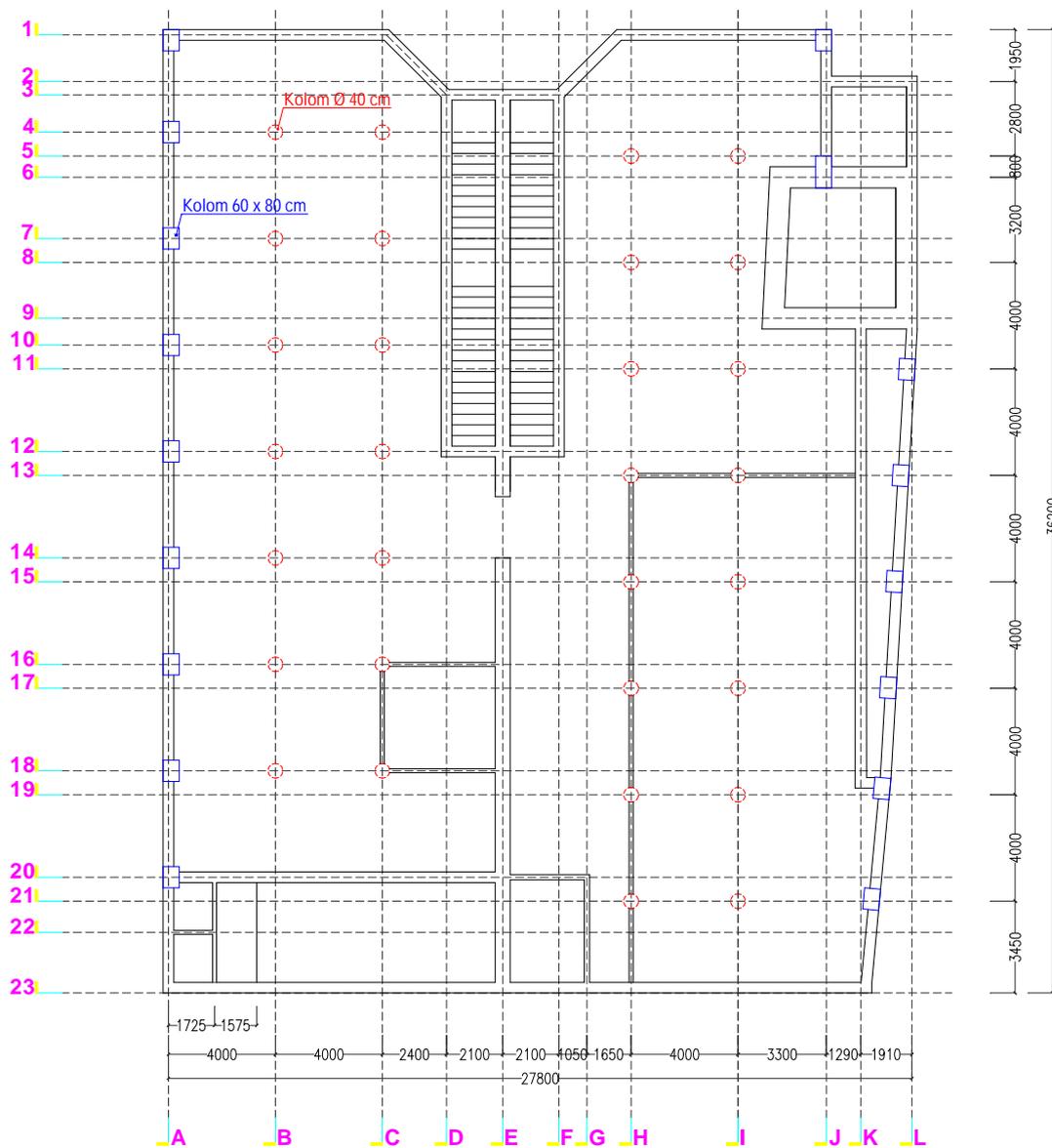
pada dugaan awal diragukan kekuatannya.

2. Baja Tulangan

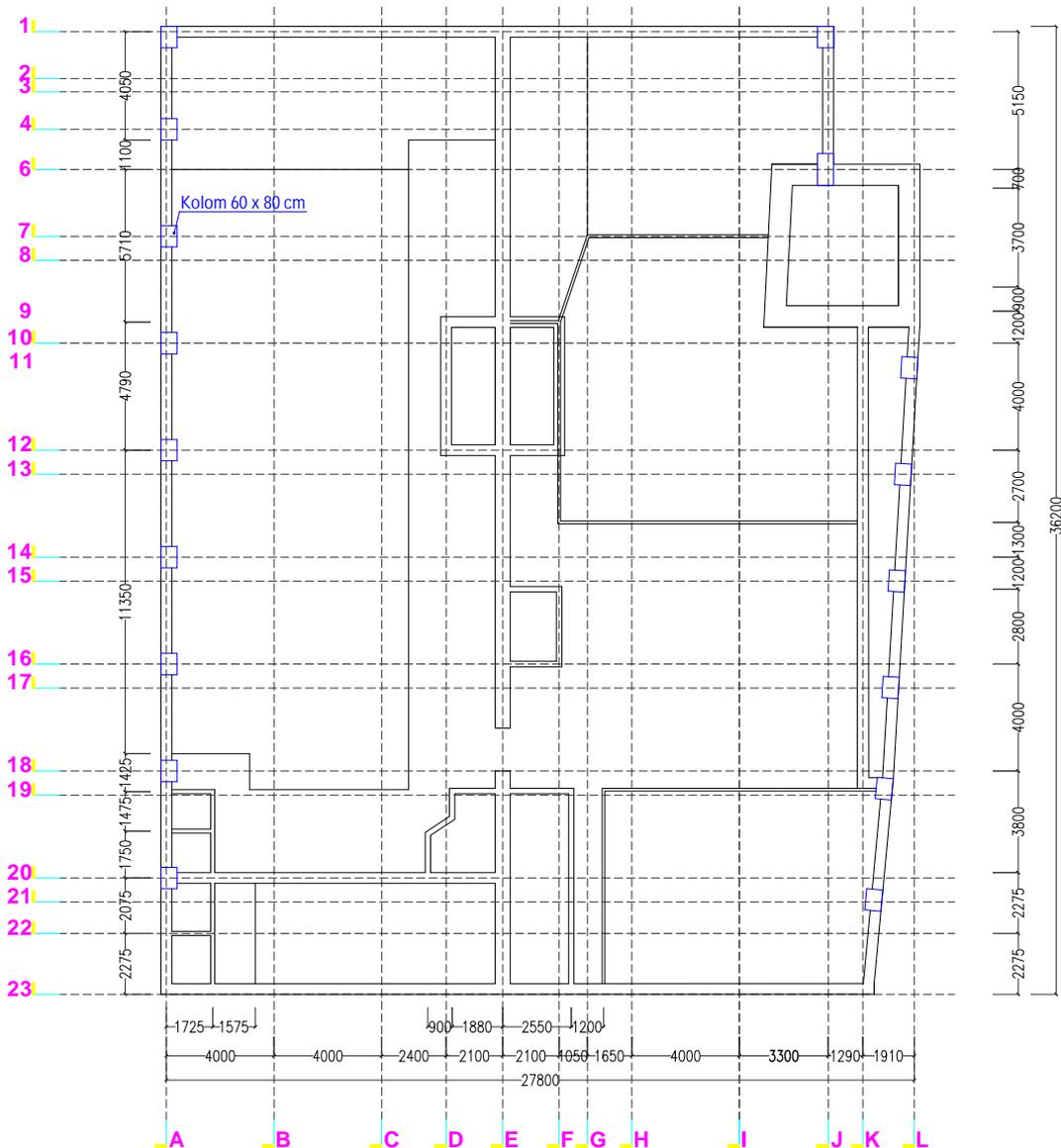
Zuhdy 2012 menyatakan bahwa tegangan leleh baja tulangan ditentukan berdasar data mutu baja yang digunakan pada pelaksanaan pembangunan (*as build drawing*).

2.5. Perbaikan Struktur Gedung

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja struktur yang telah dilakukan oleh Zuhdy 2012, pada dasarnya kerusakan yang terjadi pada beberapa komponen struktur bangunan gedung di Jl. Rajawali no. 3-5, Surabaya ini lebih cenderung disebabkan oleh terjadinya pelapukan komponen-komponen struktur pelat, balok maupun tangga.



Gambar 2. Denah Kolom Lantai 1 Gedung di Jl. Rajawali no. 3-5 Surabaya



Gambar 3. Denah Kolom Lantai 2 di Jl. Rajawali no. 3-5 Surabaya

Hal ini terjadi akibat kondisi fisik bangunan yang dipengaruhi oleh tingkat kelembaban lingkungan setempat sehingga pembesian yang terdapat pada struktur beton mengalami korosi dan terjadi *spalling*, lihat gambar 8.

Mengingat bahwa kondisi kerusakan yang terjadi saat ini merupakan kerusakan sedang maka untuk mengembalikan pada tingkat keandalan struktur

bangunan cukup dilakukan perbaikan-perbaikan setempat. Oleh karena itu dalam hal perbaikan struktur gedung ini dilakukan secara parsial dengan metode perbaikan pada komponen-komponen struktur yang mengalami pelapukan saja.

Perbaikan pada struktur beton bertulang dapat dilakukan dengan beberapa cara,

diantara metode yang sering diterapkan yaitu:

- a. Perbaiki dengan cara *grouting*
Dilakukan pada beton yang mengalami retak dengan kedalaman yang cukup dalam dan lebar retakan lebih dari 20 mm.
- b. Perbaiki dengan cara *patching/rendering* (penambalan beton)
Pada struktur beton yang mengalami kerusakan retakan dengan kedalaman kurang dari 20 mm atau kerusakan terjadi pada selimut beton.



Gambar 4. Kondisi Balok Anak yang Mengalami Pelapukan akibat Korosi pada Tulangan



Gambar 5. Kondisi Pelat Lantai yang Mengalami Pelapukan akibat Korosi pada Tulangan

- c. Perbaiki dengan cara *patchrock* (penambalan beton dengan *setting time* 3 jam)
Dilakukan pada pelat yang membutuhkan kekuatan tinggi dan membutuhkan waktu setting yang cepat.
- d. Perbaiki dengan *epoxy injection*
Dilakukan terhadap permukaan beton yang mengalami retak rambut atau retak dengan lebar kurang dari 10 mm.

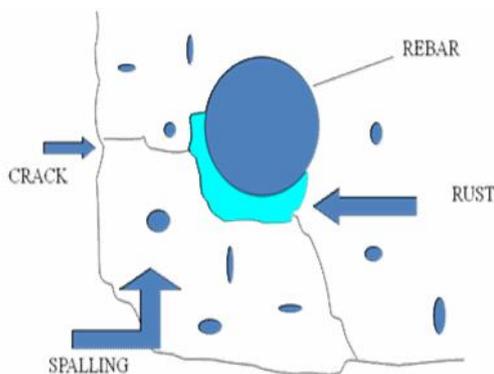


Gambar 6. Kondisi Kolom Mengalami Retak Struktural



Gambar 7. Kondisi Pelat Tangga yang Mengalami Pelapukan

Menurut ACI 224.1R-15, retak perlu diperbaiki jika mengurangi kekuatan, kekakuan, dan keawetan struktur. Pemakaian material *Fibre Reinforced Polymers (FRP)* telah banyak digunakan sebagai salah satu material perkuatan. Keuntungannya antara lain dapat meningkatkan kekuatan struktur, materialnya ringan, tahan terhadap korosi, dan dapat dibentuk sesuai dengan bentuk permukaan. Kelemahannya antara lain harganya yang mahal, terutama jenis CFRP, dan bersifat anisotropis dimana sifat materialnya tidak sama pada setiap arahnya. *Fibre Reinforced Polymers (FRP)* memberikan keuntungan antara lain memberikan kuat tarik yang tinggi, sangat ringan, pelaksanaan lebih cepat, tidak memerlukan area kerja yang luas, dan tidak mengalami korosi.



Gambar 8. Mekanisme Terjadinya *Spalling* pada Beton Bertulang

Balok maupun kolom yang mengalami retak halus kurang dari 10 mm dilakukan perbaikan, baik berupa *patching* maupun injeksi *epoxy*. Perbaikan terhadap kerusakan beton dengan metode *patching* dilakukan pada struktur (ko-

lom, balok, maupun pelat) yang mengalami kerusakan retakan dengan kedalaman kurang dari 20 mm atau kerusakan terjadi pada selimut beton. Tahapan-tahapan pelaksanaan *patching* adalah sebagai berikut:

- Pada permukaan beton yang mengalami retak dilakukan *chipping* (pengupasan selimut beton).
- Setelah pengupasan selimut beton selesai dilakukan, maka pada permukaan beton tersebut dilapisi dengan bahan perekat untuk merekatkan beton lama dengan beton baru.
- Material *micro concrete* yang digunakan untuk *patching* dimixing terlebih dahulu dengan menggunakan *hand mixer*.
- Kemudian material yang telah selesai *dimixing* diaplikasikan pada permukaan beton secara lapis demi lapis dengan menggunakan tangan, dengan ketebalan 10 – 20 mm setiap lapisan sampai tercapai ketebalan yang direncanakan.
- Lalu dilakukan *finishing* dengan menggunakan *hand trowel*.

Perbaikan dengan cara *epoxy injection* diaplikasikan pada permukaan beton yang mengalami retak rambut atau retak dengan lebar kurang dari 10 mm. Pada pelaksanaan perbaikan dengan cara ini digunakan material pengisi dari jenis *epoxy*. Pengisian material *epoxy* tersebut dilakukan dengan menggunakan alat *Low Pressure Injection (LPI)* melalui *Packer* yang dipasang sepanjang retakan (lihat gambar 9). Pengisian dilakukan sampai seluruh retakan tersebut penuh.

Ada beberapa kondisi dan material yang dipergunakan yang perlu diperhatikan sebelum melaksanakan injeksi yaitu:

- a. Retak yang mengakibatkan kebocoran tanpa membutuhkan *strength* yang tinggi biasanya diinjeksi dengan PU (*polyurethan*) yang berfungsi menghambat air.
- b. Retak yang mempengaruhi kondisi struktur, dipakai material Conbextra EP 10 TG karena membutuhkan *strength* lebih.



Gambar 9. Perbaikan kolom beton dengan cara *epoxy injection*

Retak dengan lebar kurang dari 5 mm dilakukan injeksi semen ditambah *conbex* 100 yang berfungsi mengembangkan semen untuk menutup celah (retak yang bukan retak rambut).

2.6. Penilaian Kekuatan Penampang Komponen Struktur

Apabila dimensi komponen struktur dan kualitas bahan sudah diketahui, maka kekuatan struktur dalam mendukung momen, gaya geser, dan aksial dapat dianalisis. Komponen struktur harus mempunyai kekuatan tersedia R (*resis-*

tance) minimum sama dengan kekuatan diperlukan atau kuat perlu U (*ultimate*) atau dapat dituliskan $R \geq U$. Kuat tersedia R adalah sama dengan kapasitasnya (kuat nominal) dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan sesuai pasal 22.2.5 SNI-2847-2002. Kuat perlu U dihitung berdasarkan kombinasi beban, masing-masing dikalikan dengan faktor beban γ sesuai pasal 11.1. SNI-2847-2002.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perkuatan Lentur Pelat Lentur

Pelat lantai pada bangunan merupakan struktur pelat satu arah (*one way slab*). Hasil analisa struktur salah satu pelat yang telah dilakukan diperoleh besaran gaya dalam sebagaimana pada tabel 1.

Dengan mengasumsikan bahwa seluruh kekuatan lentur penampang pelat dipikul oleh material FRP, maka persamaan momen nominal M_n pelat yang diperkuat:

$$M_n = \Psi_f \cdot A_f \cdot f_{fe} \cdot (h-a/2) \quad [1]$$

Dimana:

M_n = momen nominal

Ψ_f = perbandingan kekakuan balok dan kolom

A_f = luas penampang

F_{fe} = tegangan besi

h = tinggi

a = jarak lengan

Data pelat eksisting,

b = 1000 mm

h = 120 mm

d' = 25 mm

d = 95 mm

f'_c = 12 MPa

$$f_y = 220 \text{ MPa}$$

Tulangan minimum ;

$$A_s = 604,55 \text{ mm}^2$$

$$a = 13,04 \text{ mm}$$

Untuk spesifikasi dari *fiber reinforced polymers (FRP)* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2.

Kebutuhan FRP

$$\begin{aligned} A_f &= M_n / (\Psi_f \cdot f_{fe} \cdot (h-a/2)) \\ &= (8510300/0,8) / (0,85 \times 2800 \times \\ &\quad (95-13,04)) \\ &= 50,516 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang S-05 ($t = 1,2 \text{ mm}$, $w = 50 \text{ mm}$, $A_f = 60 \text{ mm}^2$)

3.2. Perkuatan Lentur Balok

Gaya-gaya dalam pada balok induk hasil analisa struktur yang digunakan sebagai dasar perhitungan kebutuhan *FRP* dapat dilihat pada tabel 3.

Kebutuhan *FRP*

$$M_n = 14290474.48 \text{ N.mm}$$

$$\Psi = 0.85$$

$$d = 475 \text{ mm}$$

$$a = 65.2 \text{ mm}$$

$$f_{fe} = 2800 \text{ N/mm}^2$$

$$A_f = 13.572 \text{ mm}^2$$

Dipasang S-05 ($t = 1.2 \text{ mm}$, $w = 50 \text{ mm}$, $A_f = 60 \text{ mm}^2$).

Gaya-gaya dalam pada balok anak hasil analisa struktur yang digunakan sebagai dasar perhitungan kebutuhan *FRP* dapat dilihat pada tabel 4.

Kebutuhan *FRP*

$$M_n = 2286844.56 \text{ N.mm}$$

$$\Psi = 0.85$$

$$d = 275 \text{ mm}$$

$$a = 37.75 \text{ mm}$$

$$f_{fe} = 2800 \text{ N/mm}^2$$

$$A_f = 3.752 \text{ mm}^2$$

Dipasang S-05 ($t = 1.2 \text{ mm}$, $w = 50 \text{ mm}$, $A_f = 60 \text{ mm}^2$)

3.3. Perkuatan Kolom

Perkuatan pada kolom bundar ini dimaksudkan untuk menambah kinerja aksial kolom (*axially enhancement*). Dimana persamaan kebutuhan *FRP* didasarkan atas persamaan berikut:

$$P_n = 0.65 \cdot (0.8 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y + A_f \cdot f_f) [2]$$

Dimana:

f'_c = kuat tekan beton

A_g = luas penampang bruto

A_{st} = luas penampang baja

F_y = kuat tarik baja

A_f = luas penampang *FRP*

f_f = tegangan *FRP*

Hasil analisa struktur terhadap kolom bulat yang telah dilakukan diperoleh sebagaimana pada tabel 5.

Dengan mengabaikan kontribusi efek pengekanan (*confinement*) dari tulangan yang ada pada kolom maka kebutuhan *FRP* pada kolom bulat adalah sebagai berikut:

$$A_f = P_n / 0.65 \cdot f_f$$

$$P_n = 8738896.91 \text{ N.mm}$$

$$\Psi = 0.65$$

$$f_{fe} = 2800 \text{ N/mm}^2$$

$$A_f = 4801.592 \text{ mm}^2$$

$$w = 400.13 \text{ mm}$$

$$n = 8.003 \text{ lilitan}$$

Pemasangan *FRP* dilakukan pada posisi tengah-tengah ketinggian kolom dengan spasi 200 mm, seperti pada pola pemasangan sengkang kolom.

Tabel 1. Hasil Analisa Struktur Pelat

Story	Area Object	Area Type	Output Case	F ₁₁	F ₂₂	F ₁₂	M ₁₁	M ₂₂	V ₁₃	V ₂₃
				Newton			Newton.Meter			
Story1	F119	Floor	LC2	0	0	0	851.03	205.88	-1231.36	-14.05
				0	0	0	-279.36	-55.21	-1231.36	1.16
				0	0	0	-252.96	-50.57	-1151.92	1.16
				0	0	0	804.50	149.69	-1151.92	-14.05

Tabel 2. Spesifikasi *Fiber Reinforced Polymers (FRP)*

Nitoplate FRC			
Fibre Volimetric Content > 68%			
Dimensions Product Nitoplate FRC		Thickness (mm)	X-Section Area (mm ²)
S-05		1,2	60
S-08			96
S-10			120
Nodulus of Elasticity		> 165.000 N/mm ²	
Tensile Strength of Fibers		> 2.800 N/mm ²	
(Mechanical values obtained from longitudinal direction of fibers)			
Elongation at Break		> 1,7 %	

Tabel 3. Perhitungan Gaya Dalam pada Balok Induk (N.mm)

Story	Beam	Load	Loc	P	V ₂	V ₃	T	M ₂	M ₃
Story1	B304	LC2	0	-30981	-81846	258220	2866990	1231370.60	2637388.28
			159	-30981	-80192	258220	2866990	46143.25	8524022.01
			918	-30981	-78538	258220	2866990	-1139102.00	14290474.48

Tabel 4. Perhitungan Gaya Dalam pada Balok Anak (N.mm)

Story	Beam	Load	Loc	P	V ₂	V ₃	T	M ₂	M ₃
Story1	B333	LC2	0	-572.00	-4841.40	-306.00	10572.00	-611263.00	-2286844.56
			500	-572.00	-3976.50	-306.00	10572.00	-458288.00	-1077757.21
			1000	-572.00	-3111.70	-306.00	10572.00	-305302.00	-105848.41
			1500	-572.00	-2246.80	-306.00	10572.00	-152327.00	628876.36
			2000	-572.00	-1381.92	-306.00	10572.00	668.70	1126428.07
			2500	-572.00	-517.00	-306.00	10572.00	153654.20	1386795.75
			3000	-572.00	347.90	-306.00	10572.00	306639.80	1409984.88
			3500	-572.00	1212.80	-306.00	10572.00	459615.30	1196000.95
			4000	-572.00	2077.60	-306.00	10572.00	612590.90	744832.99

Tabel 5. Perhitungan Gaya Dalam pada Kolom Bulat (N.mm)

Story	Column	Load	Loc	P	V ₂	V ₃	T	M ₂	M ₃
Story1	C54	LC2	0	-8738897.91	3841.45	76.00	0	0.00	0
			1250	-864921489	3841.45	76.00	0	-94989.60	-4801809
			2500	-8559529.90	3841.45	76.00	0	-189959.20	-9603608

4. Simpulan

Dari evaluasi secara visual dan analisa perhitungan yang telah dilakukan, maka sehubungan dengan rencana untuk menggunakan kembali gedung ini sebagai gedung perkantoran dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Gedung yang terletak di jalan Rajawali no. 3-5 Surabaya ini, ditinjau dari kondisi strukturnya masih layak digunakan kembali dengan fungsi sebagai gedung perkantoran dengan perbaikan dan perkuatan pada pelat lantai, balok anak, balok induk, kolom dan pelat tangga.
2. Metode perbaikan dan perkuatan yang direncanakan, disesuaikan dengan tingkat kerusakan yang ada dan jenis elemen struktur yang diperbaiki.

10, 2: 37-60, Diploma Teknik Sipil ITS.

Daftar Pustaka

- ACI214R-02. *Evaluation of Strength Test Results of Concrete*, Amerika.
- SNI 03-1726-2002, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*, Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- PT. Kemitraan. 2011. *Evaluasi dan Perbaikan Struktur Gedung PT. Mandiri*, Surabaya: PT. Kemitraan.
- Zuhdy, A. Yusuf. Agustus. 2012. *Evaluasi Struktur Bangunan Cagar Budaya di Jl. Rajawali No. 3-5, Surabaya*. Surabaya: Jurnal Aplikasi

Halaman ini sengaja dikosongkan