

ANALISIS PERKUATAN STRUKTUR JEMBATAN PUSKESMAS NARMADA KABUPATEN LOMBOK BARAT

Oleh:

Khairul Rijal

Dosen Pada Program Studi Teknik Sipil, Universitas Nusa Tenggara Barat

Abstrak : Kondisi struktur balok jembatan Puskesmas Narmada mengalami retak struktur yang menyebar ke keseluruhan penampang balok jembatan. Retak tersebut secara visual terlihat adanya lendutan pada balok struktur, hal ini dikhawatirkan jembatan sudah tidak aman lagi sesuai fungsinya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menghitung perkuatan struktur yang akan dilakukan dalam perbaikan struktur jembatan yang mengalami kerusakan jembatan tanpa menghentikan fungsi layanan daripada jembatan tersebut serta untuk mengetahui tingkat keamanan struktur pada kondisi eksisting struktur balok jembatan. Dari hasil pengukuran di lapangan diperoleh nilai lendutan yang sudah melebihi lendutan maksimal sebesar 130.5 mm, nilai tersebut sudah melebihi nilai lendutan ijin maksimum ($L/300$) yaitu sebesar 83.3 mm. Adapun dari hasil pengukuran lebar retak didapat nilai lebar retak maksimal sebesar 1.83 mm pada daerah tumpuan dan lebar retak minimal sebesar 0.60 mm pada daerah tengah bentang, sedangkan nilai kuat tekan rerata didapat sebesar 42.09 MPa. Dari hasil observasi lapangan disimpulkan bahwa, kondisi jembatan Puskesmas Narmada tidak aman untuk dilalui kendaraan terutama kendaraan berat, sehingga direkomendasikan untuk segera dilakukan perbaikan dengan perkuatan struktur yaitu dengan penambahan bahan fibre reinforced polymers (FRP), injeksi bagian yang retak dengan bahan epoxy dan dilakukan perubahan sistem struktur dari sistem gelagar sederhana menjadi gelagar menerus. Dari hasil perhitungan perkuatan struktur diperoleh bahwa momen kapasitas balok yang diperkuat dengan CFRP melebihi momen ultimit (M_u) jembatan tersebut dimana nilai kuat nominal (M_n) diperoleh sebesar 1133.623 kNm melebihi momen ultimit (M_u) sebesar 5443.68 kNm atau $M_n > M_u$, hasil tersebut di atas menunjukkan bahwa perkuatan memenuhi rencana beban.

Kata kunci : jembatan, kerusakan struktur, keamanan struktur, perkuatan struktur.

PENDAHULUAN

Jembatan Puskesmas Narmada Kabupaten Lombok Barat saat ini mengalami keretakan-keretakan struktur di sepanjang gelagar jembatan dan secara visual terlihat adanya lendutan pada balok gelagar jembatan, sehingga dikhawatirkan jembatan tersebut sudah tidak aman lagi sesuai fungsinya sebagai infrastruktur pelayanan publik. Untuk mengetahui apakah struktur jembatan Puskesmas Narmada Kabupaten Lombok Barat sehat atau masih laik fungsi, maka perlu dilakukan penyelidikan langsung di lapangan. Jika tidak aman maka harus dilakukan tindakan perbaikan terhadap struktur jembatan agar jembatan tersebut masih bisa diteruskan pemgunannya.

Jembatan Puskesmas Narmada berlokasi di Desa Nyiur Lembang, Kecamatan Narmada, Kabupaten Lombok Barat, jembatan tersebut dibangun pada tahun 2009 melalui Dinas Kesehatan Kabupaten Lombok Barat dan dibangun di atas bantaran sungai yang memisahkan antara desa Nyiur lembung Kecamatan Narmada dengan ruas Jalan raya Mataram–Lombok Timur. Jembatan ini dibangun sebagai akses infrastruktur pendukung yang menghubungkan jalan raya dengan gedung puskesmas Narmada. Konstruksi jembatan

dibangun sebagai jembatan beton konvensional dengan panjang bentang 25 meter dan lebar lalu-lintas 3,5 meter.

Penelitian ini mulai berlokasi penelitian di Desa Nyiur Lembang, Kecamatan Narmada, Kabupaten Lombok Barat. Objek penelitian adalah Jembatan Puskesmas Narmada seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Jembatan Puskesmas Narmada

TINJAUAN PUSTAKA

a. Jembatan

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya

mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi: aspek lalu lintas, aspek teknis, aspek estetika (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

BMS (1992), Pemeriksaan jembatan merupakan salah satu komponen dalam Sistem Manajemen Jembatan yang terpenting. Pemeriksaan jembatan ini adalah suatu mata rantai esensial antara jembatan yang ada dengan rencana untuk pemeliharaan atau peningkatan untuk masa yang akan datang.

b. Lentutan

Salah satu syarat layan yang harus dipenuhi oleh elemen lentur adalah batas lentutan. Oleh karena itu, struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lentutan yang mungkin memperlemah kekuatan maupun kemampuan layan struktur pada beban kerja.

Lentutan balok dan pelat akibat beban layan harus dikontrol sebagai berikut (RSNI-T-12-2004):

1. Geometrik dari penampang harus direncanakan untuk melawan lentutan akibat pengaruh tetap sehingga sisa lentutan (positif atau negatif) masih dalam batas yang dapat diterima.
2. Agar lentutan tidak mengganggu tampak dari struktur, lentutan akibat pengaruh tetap yang diberikan pada Peraturan Pembebanan untuk Jembatan Jalan Raya harus sedemikian sehingga pada bagian tengah bentang tidak melebihi 1/300 bentang dan tidak terjadi lentutan.
3. Lentutan akibat beban rencana untuk daya layan pada Peraturan Pembebanan untuk Jembatan Jalan Raya tidak melampaui 1/250 bentang.

SNI 03-2847-2002 menetapkan bahwa lentutan seketika dihitung dengan nilai momen inersia efektif (I_e) berdasarkan Persamaan (8).

$$I_e = (M_{cr}/M_a)^3 I_g + \{1 - (M_{cr}/M_a)^3\} I_{cr}$$

Dengan:

$$I_e = \text{Momen inersia efektif (mm}^4\text{)}$$

$$I_{cr} = \text{Momen inersia penampang retak transpormasi (mm}^4\text{)}$$

$$I_g = \text{Momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang, seluruh tulangan diabaikan (mm}^4\text{)}$$

$$M_a = \text{Momen maksimum pada saat lentutan maksimum (Nmm)}$$

$$M_{cr} = \text{Momen pada saat terjadi retak pertama kali (Nmm)}$$

c. Retak

SNI 03-2847-2002 memberikan batasan untuk nilai lebar retak tidak boleh melebihi 0.4 mm untuk

penampang di dalam ruangan dan 0.3 mm untuk penampang yang dipengaruhi oleh cuaca luar, sedangkan ACI (1972) membatasi lebar retak maksimum yang diijinkan untuk kondisi struktur yang terekspos adalah sesuai Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Lebar Retak Maksimum yang Diijinkan

Kondisi Terbuka	Maximum Lebar Retak yang Diijinkan (mm)
Udara kering atau selaput yang terlindungi	0.4
Lembab, udara lembab atau tanah yang subur	0.3
Berbahan kimiawi	0.2
Struktur yang dipengaruhi air laut atau terkena langsung dengan air laut (basah dan kering)	0.15
Struktur penahan air	0.1

d. Perbaikan (*Retrofitting*)

Perbaikan atau retrofit adalah salah satu usaha untuk mengembalikan kemampuan dan penampilan suatu bangunan yang telah mengalami kerusakan ke kondisi normal atau mendekati normal, sehingga bangunan tersebut akan mampu mendukung beban yang bekerja sesuai rencana awal dengan tingkat keamanan dan kenyamanan yang diharapkan, (Thermou dan Elnashai, 2002).

Suatu struktur yang sudah mengalami beberapa penurunan kekuatan struktur (structural deterioration) yang salah satunya ditandai dengan adanya kerusakan berupa retak pada komponen struktural maupun non struktural, memerlukan suatu proses asesmen dan perbaikan/perkuatan. Langkah awal untuk memahami kondisi aktual di lapangan untuk mengetahui penyebab dan kekuatan sisa (*residual stress*), maka diperlukan rangkaian metodologi pengamatan awal berupa visual investigation, dilanjutkan dengan investigasi detail dengan menggunakan pengujian non-destructive maupun semi destructive (Imran, S. dkk., 2009).

e. Metode Perbaikan

Metode perkuatan yang umumnya dilakukan adalah:

1. Memperpendek bentang dari struktur dengan konstruksi beton ataupun dengan konstruksi baja.
2. Memperbesar dimensi daripada konstruksi beton.
3. Menambah plat baja.
4. Melakukan *external prestressing*.
5. Menggunakan FRP (*Fibre Reinforced Polymer*).

f. Jenis-jenis Material pada Material Perbaikan

Pada masa ini tersedia sejumlah besar pilihan material yang dapat digunakan untuk melakukan perbaikan pada struktur beton, diantaranya yang utama adalah:

1. Material-material yang cementitious
Material perbaikan yang termasuk dalam jenis ini antara lain adalah:
 - a) Beton, mortar atau grout
 - b) Dry pack
 - c) Beton, mortar dan grout yang dapat berekspansi
 - d) Shotcrete
 - e) Beton dan mortar yang dimodifikasi dengan menambahkan latex
 - f) Beton, mortar dan grout yang dimodifikasi dengan menambahkan polymer
2. Material yang berbahan dasar resin: Epoxy
Material ini umumnya dibuat atas dasar epoxy resin (epoxy merupakan senyawa organik) dan meliputi resin untuk injeksi (injection resins), mortar yang dapat dicor dan pasta yang dapat diterapkan dengan tangan. Epoxy mortar terdiri dari resin, hardener dan filler yang terdiri dari pasir halus, sedangkan epoxy concrete terdiri dari resin, hardener, pasir halus dan agregat kasar ukuran kecil.

METODE PENELITIAN

a. Pengumpulan Data Teknis Jembatan

Pada penelitian ini data teknis jembatan meliputi:

1. Data dokumen perencanaan yang terdiri dari: *as built drawing*, spesifikasi teknis, data analisa struktur.
2. Data kriteria teknis yang terdiri dari jumlah lajur jembatan, bentang jembatan, tinggi muka air banjir dan tahun pembangunan.
3. Data material mulai dari material untuk bahan gelagar jembatan, tipe dan material pondasi jembatan.
4. Standar dan peraturan yang dipakai pada saat perencanaan.

b. Pengamatan secara visual (*Visual Check*)

Pengamatan secara visual (*Visual Check*), baik dengan mata telanjang maupun dengan bantuan kamera dan pemeriksaan kerusakannya, khususnya retak-retak. Investigasi cacat struktur yang lain seperti keropos, berlubang, mengelupas dan sebagainya. Kegiatan ini dilakukan terutama terhadap komponen yang berfungsi memikul beban-beban, baik beban vertikal maupun beban horizontal. Hasil dari kegiatan ini berupa penggambaran pola-pola keretakan pada elemen balok struktur "Crack Pattern" dan selanjutnya

gambar pola-pola keretakan ini dibahas lebih mendalam pada pembahasan selanjutnya.

c. Pengujian Mutu Bahan dengan Cara *Non Destructive Test*

Untuk pengujian beton digunakan alat *Schmidt Rebound Hammer* sedangkan untuk pengukuran lebar retak struktur beton dengan menggunakan alat *Microcrackmeter*. Pengujian dilakukan oleh Tim Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Sipil Universitas Mataram.

d. Pengukuran Geometri Struktur Balok Jembatan

Kegiatan pengukuran ini berupa pengamatan atas dimensi struktur beton bertulang yang terpasang di lapangan. Berkenaan tidak tersedia gambar kerja di lapangan, maka untuk mendapatkan informasi yang akurat tentang kondisi eksisting struktur, dilakukan pengukuran langsung di lapangan. Hasil dari kegiatan ini berupa hasil pengukuran secara kuantitatif nilai lendutan maksimum elemen balok struktur yang ada (*Deflection Check*) dan Geodetic Data, berupa denah struktur, panjang bentang balok, dimensi balok.

e. Analisis struktur

Analisis struktur dilakukan dalam rangka evaluasi kelaikan struktur yang didasarkan pada ukuran atau kondisi eksisting yang ada dan analisis struktur juga dilakukan untuk mendapatkan gaya-gaya dalam akibat berbagai kombinasi pembebanan. Pada tahap kegiatan ini dilakukan analisis terhadap perencanaan atau mengacu pada gambar-gambar bestek perencanaan dan analisis terhadap pelaksanaan. Dikarenakan karena tidak ditemukan adanya dokumen *as built drawing*, maka digunakan data *condition drawing* dan hasil data pengujian lapangan maupun laboratorium yang didapatkan pada tahapan kegiatan sebelumnya. Dari hasil analisis struktur ini, akan dilakukan kontrol kekuatan elemen balok yang berfungsi sebagai rangka pemikul beban-beban yang bekerja.

f. Analisis Perkuatan struktur

Setelah menentukan metode perbaikan yang akan digunakan maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis untuk menghitung apakah jenis perkuatan struktur yang digunakan memenuhi rencana beban yang dipikul jembatan atau tidak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Pengamatan Visual (*Visual Check*)

Berdasarkan hasil pengamatan visual terhadap Jembatan Puskesmas Narmada, Kabupaten

Lombok Barat didapatkan data-data sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengamatan Visual

Jenis No. Bangunan/Elemen Bangunan	Hasil Pengamatan
1. Balok Gelagar Jembatan	<ul style="list-style-type: none"> - Terdapat banyak bekas tambalan di sepanjang bentang. - Hampir semua balok mengalami retak vertikal dan horizontal yang diindikasikan sebagai retak lentur sebagai indikasi kerusakan geser yang mengarah pada retak struktural. - Pada dinding balok, beton terlihat keropos di berbagai tempat. - Terlihat terjadi lendutan yang permanen sepanjang bentang.
2. Balok diafragma	Balok diafragma memperlihatkan kondisi yang masih bagus.
3. Pelat lantai	Pelat lantai masih dalam kondisi normal dan tidak terdapat retak.

Sumber: Hasil Pengukuran

b. Hasil Pengukuran Lendutan (Deflection Check)

Defleksi/lendutan adalah salah satu jenis kerusakan yang terdapat pada Jembatan Puskesmas Narmada Kabupaten Lombok Barat yang terlihat secara kasat mata. Dampak dari lendutan balok struktur inilah yang dikhawatirkan menjadi faktor penyebab menurunnya kekuatan struktur jembatan secara keseluruhan. Pengukuran dilakukan menggunakan total station pada tiga bagian bentang jembatan yaitu bagian seperempat bentang pada masing-masing tepi bentang dan pada tengah bentang. Berdasarkan hasil pengukuran lendutan, diperoleh nilai lendutan seperti pada Tabel 3 di bawah ini.

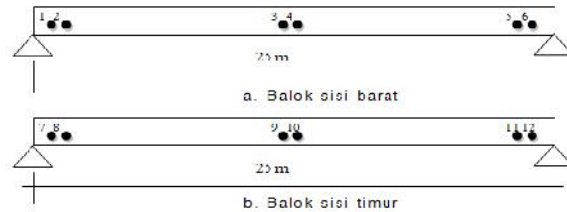
Tabel 3. Jumlah Nilai Lendutan Maksimum Balok Struktur Eksisting terhadap Nilai Lendutan yang diijinkan

No. Titik	Tempat Yang Ditinjau	Titik yang ditinjau	Nilai Lendutan Maksimum yang Diijinkan (mm)	Nilai Lendutan Maksimum Eksisting (mm)	Posisi Dari Titik Acuan	Ket.
1	2	3	4	5	6	7
Balok1 (B1) Timur	As B-1-1	tumpuan	83.3	95.5	Di atas	Tidak
	As B-1-2	tengah	83.3	95.5	Di atas	Tidak
	As B-1-3	tumpuan	83.3	95.5	Di atas	Tidak
Balok2 (B2) Barat	As B-2-1	tumpuan	83.3	130.5	Di atas	Tidak
	As B-2-2	tengah	83.3	130.5	Di atas	Tidak
	As B-2-3	tumpuan	83.3	130.5	Di atas	Tidak

Sumber: Hasil Pengukuran

c. Hasil Pengujian Kualitas dengan Alat Schmidt Rebound Hammer Test

Pengujian bahan telah dilakukan melalui pengujian di lapangan pada bagian balok gelagar jembatan Puskesmas Narmada. Jumlah pengambilan data pengujian ini untuk seluruh balok adalah 12 titik uji, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Ilustrasi Titik Pengujian Hammer Test

Pemukulan/penembakan untuk pengujian Hammer Test dilakukan sebanyak 16 kali pada masing-masing titik uji kemudian hasilnya dirata-ratakan. Adapun hasil yang didapatkan dari pengujian Schmidt Rebound Hammer Test ditunjukkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Kuat Tekan Beton pada Masing-masing Elemen/Komponen Struktur

No	Elemen Struktur	Lokasi Pengujian	Kuat tekan f'c (MPa)	Standar Deviasi	Rata-rata Kuat tekan f'c (MPa)
1.	Titik 1	Tumpuan	43.67	5.32	42.09
2.	Titik 2		34.66		
3.	Titik 3	Tengah Bentang	42.21		
4.	Titik 4		44.11		
5.	Titik 5	Tumpuan	40.35		
6.	Titik 6		44.26		
7.	Titik 7	Tumpuan	33.66		
8.	Titik 8		34.49		
9.	Titik 9	Tengah Bentang	47.10		
10.	Titik 10		48.70		
11.	Titik 11	Tumpuan	48.64		
12.	Titik 12		43.16		

Sumber: Hasil Pengukuran

d. Evaluasi Lebar retak

Berdasarkan hasil data pengamatan visual di lapangan, dapat dilihat bahwa hampir keseluruhan retak balok arahnya miring sebagai indikasi kerusakan geser seperti terlihat pada Gambar 4. Hasil pengujian lapangan dengan alat *Micro Crack Detector* diperoleh bahwa pada daerah tumpuan memiliki lebar retak yang lebih besar daripada daerah tengah bentang, dimana lebar retak rata-rata paling besar pada daerah tumpuan balok sebelah

barat sisi selatan adalah sebesar 1.83 mm, sedangkan pada daerah tengah bentang, lebar retak rata-rata paling besar sebesar 0.65 mm pada balok sebelah barat, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 4. Pola Keretakan pada Balok Struktur yang Mengarah pada Keretakan Geser

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Retakan Beton dengan Alat *Micro Crack Detector*

Tempat	Posisi	Lebar Retakan Rat-rata (mm)	Lebar Retakan maksimum yang diijinkan (mm)	Ket.
1	2	3	4	5
Balok1 (B1)	Tumpuan (utara)	0.90	0.30	Tidak Sehat
	Tengah	0.70	0.30	Tidak Sehat
Balok2 (B2)	Tumpuan (selatan)	1.83	0.30	Tidak Sehat
	Tengah	0.60	0.30	Tidak Sehat
Timur	Tumpuan (selatan)	1.57	0.30	Tidak Sehat

Penyebab keretakan yang terjadi pada balok struktur dimungkinkan karena struktur tersebut tidak mampu menahan tambahan beban yang ada di atasnya (beban sendiri pelat lantai dan dinding di atasnya). Berdasarkan informasi lisan dimungkinkan juga adanya kesalahan dalam pelaksanaan konstruksi, yaitu pemasangan baja tulangan yang posisinya terbalik antara posisi tumpuan dan lapangan. Kondisi retak yang sudah mengarah ke kerusakan struktur ini semakin diperparah oleh terjadinya defleksi/lendutan balok struktur, sehingga kekuatan eksisting struktur terpasang dikhawatirkan mengalami degradasi yang cukup signifikan.

e. Analisis Struktur

Pada penelitian ini, analisis struktur balok terdiri dari perhitungan kapasitas penampang balok dan kapasitas layannya. Untuk perhitungan momen ultimit digunakan nilai kombinasi pembebanan yang meliputi beban mati yang terdiri dari berat sendiri gelagar dan beban plat lantai, beban mati tambahan yang terdiri dari berat aspal dan air hujan, beban lalu-lintas, gaya rem, beban angin, pengaruh temperatur dan beban gempa. Berdasarkan hasil perhitungan kombinasi

pembebanan diperoleh Momen Ultimit (M_u) sebesar 5443.68 kNm.

Untuk perhitungan kapasitas penampang balok, nilai kuat tekan beton menggunakan data hasil pengujian lapangan menggunakan alat *hammer test*, dimana diperoleh nilai kuat tekan (f'_c) sebesar 42.09 Mpa, sedangkan untuk kuat leleh tulangan (f_y) menggunakan nilai kuat leleh yang direncanakan yaitu sebesar 390 Mpa. Nilai kapasitas Momen Ultimit (M_u) diperoleh dengan mengalikan faktor reduksi beban (ϕ) dengan Momen Nominal (M_n), dimana nilai momen nominal diselesaikan dengan persamaan di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s f_y (d - a/2) \\
 &= 24115.20 \times 390 (1600 - 131.44/2) \\
 &\times 10^{-6} \\
 &= 14429.79 \text{ kNm} \\
 M_u &= \phi \times M_n \\
 &= 0.6 \times 14429.79 \\
 &= 8657.88 \text{ kNm} > 5443.68 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan kapasitas momen ultimit tersebut melebihi momen ultimit jembatan dan menunjukkan bahwa berdasarkan nilai kuat tekan beton eksisting, kondisi jembatan masih bagus.

Untuk perhitungan kapasitas layan, berdasarkan hasil analisis struktur kondisi eksisting penampang balok, jika dianalisis dengan data beban rencana dan kondisi kuat tekan hasil pengujian, dimana pada hasil pengujian menggunakan alat Hammer Test diperoleh nilai kuat tekan rerata sebesar 42.09 MPa, sehingga diperoleh nilai lendutan 0.0310 m, artinya nilai tersebut masih di bawah lendutan ijin yaitu sebesar 0.0833 m. Hasil perhitungan di atas diasumsikan kondisi baja tulangan sesuai dengan data perencanaan yang terdapat di dalam gambar desain, yaitu dimana kuat leleh baja tulangan sebesar 390 MPa. Secara keseluruhan penampang balok gelagar masih dalam kondisi batas aman terhadap lendutan, namun jika dibandingkan dengan hasil pengamatan lapangan memiliki nilai lendutan yang lebih besar dari perhitungan teoritis sehingga dari hasil di atas menunjukkan bahwa kondisi tulangan yang ada di lapangan memiliki kualitas yang rendah.

f. Metode Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis dan pengukuran di lapangan dan untuk menyikapi kondisi-kondisi permasalahan komponen structural pada struktur jembatan, dimana balok gelagar jembatan sudah mengalami retak struktural dan nilai lendutan yang sudah melebihi lendutan ijin maksimum, maka direkomendasikan perbaikan-perbaikan sebagai berikut:

1. Perkuatan dengan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP)

Rekomendasi dengan penambahan FRP dilakukan untuk meningkatkan kapasitas momen lentur dan geser pada balok gelagar, dimana sistem perkuatan FRP pada beton dilakukan dengan cara menempelkannya pada permukaan beton dengan menggunakan perekat epoxy.

2. Injeksi pada bagian yang retak dengan bahan *epoxy resin*

Alternatif pekerjaan perbaikan retak ini dimaksudkan untuk mengembalikan kondisi struktur beton yang retak menjadi satu kesatuan kembali sehingga berfungsi sebagaimana mestinya dengan menggunakan cara injeksi bahan *epoxy*.

3. Perubahan sistem struktur jembatan

Metode perkuatan ini merupakan metode perkuatan yang relatif tanpa melakukan penambahan struktur perkuatan, akan tetapi metode ini adalah dengan cara merubah sistem struktur yang ada yaitu dengan merubah dari sistem gelagar sederhana menjadi gelagar menerus.

g. Analisis Perkuatan Struktur

Data-data struktur jembatan adalah sebagai berikut:

- Panjang bentang (*L*) : 2500 cm
- Luas tulangan tarik (*A_s*) : $26 \times \frac{1}{4} \times 32^2$
A_s = 20900 mm²
- Mutu beton (*f'_c*) : 42.09 MPa
- Mutu baja tulangan (*f_y*) : 390 MPa
- Lebar bawah balok (*b*) : 70 cm
- Tebal selimut (*t_s*) : 5 cm
- Bj beton bertulang (*b_b*) : 2.5 ton/m³
- Luas total gelagar (*A_b*) : 1.042 m²
(Tabel 4.8)
- Momen akibat beban mati dan beban hidup (*MDL*) : 3350.01 kNm
(Tabel 4.13)
- Momen Ultimit gelagar (*M_u*) : 5443.68 kNm

Data-data teknis material CFRP adalah sebagai berikut:

- Ultimit tensile strength (*f_{tu}*) : 350 MPa
- Tensile modulus (*E_f*) : 235000 MPa
- Thickness (*t_f*) : 0.11 mm
- Lebar CFRP (*w_f*) : 700 mm
- Modulus elastisitas CFRP (*E_c*): 33500 MPa
- Modulus elastisitas baja (*E_s*) : 210000 MPa

Kapasitas lentur balok didasarkan pada kekuatan batas ultimit, yang ditentukan oleh batasan kuat tekan beton dan tegangan leleh baja tulangan serta tegangan efektif *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP).

1. Menghitung regangan lentur CFRP (*f_u*)

$$\epsilon_{fu} = \frac{f_{fu}}{E_f} = \frac{350}{235000} = 0.0015$$

Error! Reference source not found.

Error! Reference source not found.

0.0015

2. Menghitung rasio tulangan terhadap penampang balok (*s*)

$$\rho_s = \frac{A_s}{bd}$$

$$= \frac{20900}{70 \times 1650} = 18.10 \times 10^{-3}$$

3. Nilai perbandingan modulus elastis tulangan (*ns*)

$$ns = \frac{E_s}{E_c}$$

Error! Reference source not found.

$$= 6.27$$

$$s \times ns = 113.43 \times 10^{-3}$$

4. Perhitungan properti CFRP

Perhitungan properti CFRP meliputi perhitungan luas penampang CFRP (*A_f*) yang digunakan, perhitungan mengacu pada ACI Committee 440.

$$A_f = n t f w f$$

$$A_f = 3 \times 0.11 \times 700 = 231 \text{ mm}^2$$

5. Menghitung rasio CFRP terhadap penampang balok (*f*)

$$f = \frac{A_f}{A_s} = \frac{231}{20900} = 200 \times 10^{-6}$$

6. Nilai perbandingan modulus elastis CFRP (*nf*)

Error! Reference source not found.

$$= 7.01$$

$$f \times nf = 1.40 \times 10^{-3}$$

7. Perhitungan tingkat regangan beton pada ikatan FRP (*bi*)

$$b_i = \frac{M_{cr}}{I_{cr} D L E_c}$$

$$k = \left(\frac{-E_s}{\rho_s E_c} + \frac{E_f}{\rho_f E_c} \right)^2 + 2 \left(\frac{-E_s}{\rho_s E_c} + \frac{E_f}{\rho_f E_c} \frac{h}{d} \right) - \left(\frac{E_s}{\rho_s E_c} + \frac{E_f}{\rho_f E_c} \right) \quad (2.109)$$

$$k = 85.16 \times 10^{-2} - 24.22 \times 10^{-2} = 609.38 \times 10^{-3}$$

$$y = \frac{ns A_s}{b} \left[\sqrt{\left(1 + \frac{2bd}{ns A_s} \right) - 1} \right]$$

Error! Reference source not found. = 62.07 cm

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \text{ Error! Reference source not found. } by^3 + ns As (d-y)^2$$

$$= 0.195 \text{ m}^4$$

$$b_i = 0.356 \text{ m}^4$$

8. Perhitungan koefisien ikatan FRP dengan beton (*k_m*)

$$n_t E_f = 3 \times 0.11 \times 235000 \\ = 77.55 \times 10^3 \text{ N/mm}$$

Error! Reference source not found.

$$k_m = \frac{1}{\alpha \beta \sqrt{f_u}} \times \left(1 - \frac{\beta E_f}{360000}\right) < 0.9$$

Reference source not found.

$$= 8.78 < 0.9$$

9. Perhitungan regangan efektif FRP (ϵ_{fe})

$$\epsilon_{fe} = 0.003 \left(\frac{h-c}{c}\right) - \epsilon_{bi} \\ = 12.45 \times 10^{-3} \left(\frac{k_m f_u}{f_c}\right)^3$$

10. Perhitungan regangan tulangan tarik (ϵ_s)
Perhitungan regangan tulangan tarik baja setelah dilakukan perkuatan menggunakan CFRP.

$$\epsilon_s = (\epsilon_{fe} + \epsilon_{bi}) \left(\frac{d-c}{h-c}\right)$$

Error! Reference source not found. = 0.012

11. Perhitungan tegangan tulangan tarik (f_{fe})

$$f_{fe} = E_f \times \epsilon_{fe} \\ = 235 \times 10^3 \times 12.45 \times 10^{-3} \\ = 2.93 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$f_s = E_s \times \epsilon_s \\ = 2.1 \times 10^5 \times 12 \times 10^{-3} \\ = 2.62 \times 10^3 \text{ MPa}$$

12. Cek posisi garis netral berdasarkan gaya dalam yang terjadi (c_f)

$$c_f = \frac{(A_s f_y) + (A_f f_{fe})}{\gamma f_c \beta_1 b} \\ c_f = \frac{(2605 \times 390) + (231 \times 2930)}{2500 \times 42.09 \times 0.845 \times 70} \\ = 1420 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh bahwa momen kapasitas balok yang diperkuat dengan CFRP melebihi momen ultimit jembatan tersebut atau $M_n > M_u$, hasil tersebut di atas menunjukkan bahwa perkuatan memenuhi rencana beban.

Analisis perkuatan struktur yang akan dibahas pada penelitian ini adalah analisis perkuatan struktur dengan menggunakan serat carbon atau *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), dimana perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode Keadaan Batas. Perhitungan momen kapasitas balok setelah dilakukan perkuatan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$M_n = [A_s f_y (d - 1c_f/2) + A_f f_{fe} (h - 1c_f/2)] \\ = 0.8 [8151000 (700 - 599.2/2) + 0.85 \times 676093 (1700 - 599.2/2)] \\ = 1133.623 \text{ kNm} \quad 5443.68 \text{ kNm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh bahwa momen kapasitas balok yang diperkuat dengan CFRP melebihi momen ultimit jembatan tersebut atau $M_n > M_u$, hasil tersebut di atas

menunjukkan bahwa perkuatan memenuhi rencana beban.

PENUTUP

a. Simpulan

Dari hasil pengamatan visual di lapangan, pengujian kualitas bahan di lapangan dengan metode NDT, serta hasil analisis struktur pada penampang balok Jembatan Puskesmas Narmada, kabupaten Lombok Barat ini, maka dapat disimpulkan bahwa kualitas beton rerata pada balok gelagar masih bagus yaitu sebesar 42.09 MPa, balok gelagar tidak aman dan mengalami lendutan maksimal sebesar 130.5 mm, sedangkan nilai lebar retak sudah termasuk dalam kategori retak struktur yaitu maksimal sebesar 1.83 mm pada daerah tumpuan dan 0.60 mm pada tengah bentang.

b. Saran

Untuk menyikapi kondisi-kondisi permasalahan komponen struktural pada struktur jembatan, maka direkomendasikan untuk dilakukan perbaikan dengan menggunakan metode perkuatan struktur yang meliputi penambahan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Plastic*) pada bagian tarikannya, injeksi retak-retak pada balok, khususnya retak yang lebarnya melebihi 0.2 mm dan perubahan sistem struktur dari struktur balok sederhana menjadi balok menerus.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 224, 1972, Control of Cracking in Concrete Structures, ACI Journal, Proceedings, Vol. 69, No. 12.
- Imran, S. Darmawan, I. Sulaiman, C. Lie, Aryantho, 2009, Assessment and Repair/Strenghtening of a Settlement Damaged Office Building, Proceeding of 1st International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering (ICRMCE), Solo.
- RSNI, 2005, Standar Pembebanan untuk Jembatan, Jakarta.
- SNI-03-2847, 2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- SNI-2847, 2013, Persyaratan Struktural untuk Bangunan Gedung, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Supriyadi, B., Muntohar A.S., 2007, Jembatan, Beta Offset, Yogyakarta.

Thermou, R. and Elnashai, A., 2002, Performance Parameters and Criteria for Assessment and Rehabilitation. Seismic Performance Evaluation and Retrofit of Structures

(SPEAR), European Earthquake Engineering Research Network Report, Imperial College, UK.
