

Efisiensi Pemilihan Jenis *Retrofitting* dan Perkuatan Struktur (*Strengthening*) antara Sistem Portal dengan Sistem Prategang Eksternal pada Jembatan Pelat Berongga (*Voided Slab*) (Studi Kasus Jembatan Way Bako I)

Aditia Reshi Dista^{1,*}, Mohd. Isneini², Masdar Helmi², Todo Herdyson Sitohang³, Yoga Marta Agustiawan³
Magister Teknik Sipil Universitas Lampung¹, Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung², Core Team PT. Plato Isoiki Lampung³
Koresponden*, Email: reshii.diista@gmail.com

Info Artikel		Abstract
Diajukan	24 Juli 2019	<p>A bridge can experience a decrease in strength due to structural damage or an increase in load so it cannot function properly. <i>Retrofitting</i> and <i>strengthening</i> are alternative solutions so that bridges are able to serve the load that passes through the age of the plan. This study aims to evaluate existing bridge conditions and analyze <i>retrofitting</i> and <i>strengthening</i> methods that are efficient in terms of structural strength and construction costs. Analysis of external prestressed structures based on Pd-T-02-2004-B while the portal system is in accordance with SNI-1729-2015. The observation of bridge conditions shows that the Way Bako I Bridge has been damaged by structure and non-structure. The nominal moment and deflection before <i>strengthening</i> is 5569.57 kN.m and 18 mm, after <i>strengthening</i> with an external prestressed system to 7097.88 kN.m ($\text{Mu} / \text{Mn} = 0.8191$) and 17 mm while the portal system 13764.62 kN.m ($\text{Mu} / \text{Mn} = 0.4131$) and 18 mm. External prestressed system costs Rp. 1,170,790,000, while the portal system is Rp. 1,658,740,000. Thus the external prestress method is more convenient to be applied to this bridge.</p>
Diperbaiki	16 Agustus 2020	
Disetujui	29 Agustus 2020	

Keywords: bridge, voided slab, retrofitting, external prestressing, portal system

Abstrak
Sebuah jembatan dapat mengalami penurunan kekuatan akibat kerusakan struktur atau peningkatan beban sehingga tidak bisa berfungsi sebagaimana mestinya. *Retrofitting* dan *strengthening* merupakan alternatif solusi agar jembatan mampu melayani beban yang melintas sampai umur rencana. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi eksisting jembatan dan menganalisis metode *retrofitting* dan *strengthening* yang efisien dari segi kekuatan struktur dan biaya konstruksi. Analisis struktur prategang eksternal berdasarkan Pd-T-02-2004-B sedangkan sistem portal sesuai SNI-1729-2015. Hasil pengamatan kondisi jembatan menunjukkan bahwa Jembatan Way Bako I telah mengalami kerusakan struktur maupun non struktur. Nilai momen nominal dan lendutan sebelum perkuatan adalah 5569,57 kN.m dan 18 mm, setelah diperkuat dengan sistem prategang eksternal menjadi 7097,88 kN.m ($\text{Mu}/\text{Mn} = 0,8191$) dan 17 mm sedangkan sistem portal 13764,62 kN.m ($\text{Mu}/\text{Mn} = 0,4131$) dan 18 mm. Biaya sistem prategang eksternal Rp 1.170.790.000,- sedangkan sistem portal Rp 1.658.740.000,-. Dengan demikian metode prategang eksternal lebih tepat diterapkan pada Jembatan ini.

Kata kunci: jembatan, voided slab, retrofitting, prategang eksternal, sistem portal

1. Pendahuluan

Jembatan *voided slab* merupakan jembatan pelat berongga dengan material beton prategang. Jembatan tipe ini memiliki bentang antara 5 m – 16 m. Meskipun jenis jembatan ini sudah jarang dipakai untuk perencanaan jembatan saat ini, namun jembatan jenis ini masih banyak yang berdiri di Indonesia sehingga perlu dilakukan perawatan untuk menjaga kekuatan struktur agar dapat tetap berdiri hingga mencapai batas umur rencana jembatan.

Menurut Shintike [1] kinerja jembatan dapat mengalami penurunan tak terduga pada setiap tahunnya akibat kerusakan yang terjadi sehingga dapat membuat jembatan mengalami kegagalan fungsi secara tiba-tiba. Untuk mengatasi persoalan tersebut, maka diperlukan *retrofitting*

dan perkuatan struktur (*strengthening*). *Retrofitting* merupakan suatu metode yang dilakukan untuk mengembalikan kondisi suatu bangunan yang mengalami kerusakan maupun perlemahan, sedangkan *strengthening* adalah suatu metode yang dilakukan untuk menambah kekuatan pada bangunan.

Metode sistem prategang eksternal dapat mengurangi lendutan pada jembatan sebesar 1,38 mm [2]. Metode ini sering digunakan pada jembatan *voided slab* karena telah memiliki pedoman dari instansi berwenang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kondisi eksisting jembatan serta menganalisis metode *retrofitting* dan *strengthening* yang efisien dari segi kekuatan struktur dan biaya konstruksi.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam pengumpulan serta pengolahan data yaitu metode eksperimental dan metode teoritis. Pada metode teoritis, menggunakan peraturan standar dari Bridge Management System (BMS) 1992, Pedoman Pd-T02-2004-B: Perkuatan Struktur Atas Jembatan Pelat Berongga dengan Metode Prategang Eksternal dan SNI-1729-2015: Spesifikasi untuk Bangunan Baja Struktural.

Penelitian dimulai dengan survey kondisi secara langsung di lapangan, selanjutnya diikuti dengan pengukuran dan pengujian di lapangan yang meliputi pengujian mutu beton dan lendutan. Apabila data-data hasil survey belum lengkap maka akan dilakukan pengumpulan data sekunder. Setelah semua data terkumpul dilakukan pengelompokan jenis kerusakan yang terjadi pada jembatan untuk selanjutnya diberikan rekomendasi penanganannya. Kerusakan struktur pada jembatan ditangani dengan metode prategang eksternal dan sistem portal, yang mana kedua metode ini akan dibandingkan dari aspek kekuatan struktur ditinjau dari besarnya momen nominal dan lendutan serta biaya konstruksi sehingga didapat metode perkuatan yang efisien. Untuk menentukan metode yang paling efisien diambil perkuatan struktur dengan kriteria:

- Memiliki rasio antara momen ultimate dibanding momen nominal adalah sebesar $0 < Mu/Mn < 1$.
- Mampu melewati atau minimal mempertahankan lendutan yang terjadi pada jembatan.
- Biaya pelaksanaan merupakan yang paling rendah dari kedua metode tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Penjelasan Umum

Jembatan *voided slab* sejatinya didesain sebagai segmen pelat berongga yang disatukan menjadi satu kesatuan elemen struktur menggunakan tendon prategang pada sisi melintang jembatan. Namun pada pelaksanaannya, segmen pelat berongga pada Jembatan Way Bako I tidak menyatu sebagai satu kesatuan struktur karena terjadinya perlemahan tegangan pada tendon melintang jembatan.

Untuk memperbaiki jembatan *voided slab* akibat perlemahan tegangan pada tendon arah melintang, diberikan dua alternatif perkuatan struktur. Kedua alternatif ini dibandingkan untuk memperoleh metode yang efisien ditinjau dari aspek teknis, resiko dan biaya konstruksi sehingga dapat diterapkan sebagai perkuatan pada jembatan ini.

B. Investigasi Lapangan

Investigasi lapangan dilakukan guna memperoleh data struktur jembatan, baik data primer maupun data sekunder. Data primer diperoleh berdasarkan hasil survey dan pengamatan langsung di lapangan, sedangkan data sekunder diperoleh dari pengumpulan data-data pendukung seperti: *as built drawing*, foto dokumentasi saat pelaksanaan, laporan teknis, dll.

1. Hasil Survey Kondisi Jembatan Way Bako I Berdasarkan Pengamatan Visual

Pelaksanaan survey kondisi jembatan way bako I dilakukan pada bulan September 2018, bagian yang diamati pada survey ini antara lain kerusakan struktural dan non struktural.

Setelah survey dilakukan dan didapatkan kondisi jembatan berdasarkan pengamatan visual, selanjutnya diberikan rekomendasi sebagai langkah tindak lanjut yang akan dilakukan.



Gambar 1. Kondisi aspal jembatan way bako I (Sep 2018)



Gambar 2. Kondisi girder jembatan way bako I (Sep 2018)

Tabel 1. Hasil Survey Kondisi Jembatan Way Bako I Berdasarkan Pengamatan Visual.

No	Keadaan Eksisting	Rekomendasi
Non Struktural		
1.	Terdapat rumah warga (bangunan liar) di bawah jembatan way bako I	Dilakukan pembongkaran rumah warga untuk sterilisasi area jembatan
2.	Tiang railing sudah terjadi perlemahan pada sambungan pada daerah <i>baseplate</i> sehingga cukup rawan untuk dijadikan sandaran bagi pengguna jembatan	Dilakukan perkuatan pada sambungan pada <i>baseplate</i> tiang railing
3.	Pipa sandaran tertekuk akibat sambungan pada tiang railing mengalami perlemahan	Dilakukan penggantian tiang sandaran
4.	Terdapat lubang pada pertemuan aspal dengan trotoar	Diduga lubang tersebut merupakan lubang drainase jembatan, untuk itu perlu dilakukan pembersihan saluran drainase jembatan
5.	Pada daerah trotoar dan bagian samping jembatan telah ditumbuhi tanaman liar	Dilakukan pembersihan / pengendalian tanaman rumija
6.	Aspal bergelombang dan ketebalannya sudah mencapai 25 cm	Dilakukan pengerukan aspal dengan menggunakan alat <i>cold miling machine</i> dan dilakukan <i>overlay</i> ulang dengan ketebalan 5 cm sesuai dengan persyaratan beban mati tambahan pada jembatan berdasarkan SNI 1725 2016
Struktural		
1	Terdapat <i>spaling</i> pada girder jembatan	Dilakukan patching beton pada girder
2	Elastomer Bearing Pad dan Expansion Joint telah mengalami penyusutan	Dilakukan penggantian elastomer bearing pad dan expansion joint
3	Beberapa tulangan sudah ada yang terekspose	Dilakukan penambahan tulangan dan dilakukan grouting
4	Beberapa girder mengalami lendutan yang lebih besar daripada girder yang lainnya (lendutan yang terjadi pada girder tidak seragam) ketika kendaraan melintas	Dilakukan <i>retrofitting</i> dan perkuatan struktur (<i>strengthening</i>) pada jembatan, agar jembatan dapat kembali memiliki perilaku struktur yang seharusnya dalam memikul beban

2. Pengujian *Hammer Test*

Hasil pengujian menunjukkan mutu beton girder jembatan sebesar 27,47 MPa, ini menunjukkan bahwa mutu beton mengalami penurunan sebesar 5,43% dari kuat tekan saat perencanaan 29,05 MPa akan tetapi mutu beton masih diatas standar beton struktural yaitu 17 MPa [3].

3. Pengujian *Laser Distance Meter*

Hasil pengukuran lendutan menggunakan alat *laser distance meter* dapat dilihat pada **Tabel 2.**

Tabel 2. Hasil pengukuran lendutan

No.	Girder	Sebelum Pembebanan (m)	Setelah Pembebanan (m)	Lendutan (mm)
Bentang A (Sp. Tanjung Karang – Sp. Tiga Teluk Ambon)				
1.	Girder B	4.412	4.394	18

No.	Girder	Sebelum Pembebanan (m)	Setelah Pembebanan (m)	Lendutan (mm)
Bentang A (Sp. Tanjung Karang – Sp. Tiga Teluk Ambon)				
2.	Girder D	4.486	4.475	11
3.	Girder F	4.515	4.510	5
4.	Girder H	4.579	4.577	2
Bentang B (Sp. Tiga Teluk Ambon – Sp. Tanjung Karang)				
1.	Girder B	6.145	6.128	17
2.	Girder D	6.039	6.027	12
3.	Girder F	6.118	6.114	4
4.	Girder H	6.122	6.120	2

C. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder berupa gambar standar pelat berongga (*voided slab*) bentang 5 m – 6 m berdasarkan Standard Konstruksi Jembatan *Type Pretensioned Precast Concrete*

Voided Slab tahun 1980 dan data sondir tanah di sekitar lokasi penelitian.

D. Penentuan Jenis *Retrofitting* pada Jembatan Way Bako I

Metode prategang eksternal adalah metode yang paling sering digunakan pada jembatan *voided slab* karena telah memiliki pedoman dari instansi berwenang. Namun untuk memperoleh jenis *retrofitting* dan perkuatan struktur yang efisien dari aspek kekuatan struktur, resiko dan biaya pelaksanaan maka metode prategang eksternal perlu dibandingkan dengan metode baru yang diusulkan yaitu metode sistem portal.

1. Pembebanan pada Jembatan

Dalam penelitian ini, akan dilakukan *update* pada pembebanan jembatan dari BMS 1992 volume 1 bagian 2 menjadi SNI 1725 2016: *Pembebanan pada Jembatan*. Terjadi perubahan nilai beban lalu lintas untuk beban lajur "D" maupun beban truk "T".

Kombinasi beban yang digunakan dalam perkuatan struktur jembatan menggunakan metode prategang eksternal dan metode sistem portal yaitu:

Kombinasi 1 : Berat Sendiri (MS) + Beban Mati Tambahan (MA) + Beban Lajur (D)

Kombinasi 2 : Berat Sendiri (MS) + Beban Mati Tambahan (MA) + Beban Truk (T)

2. Metode Perkuatan Sistem Prategang Eksternal

Tahapan analisis *retrofitting* dan perkuatan struktur jembatan pelat berongga menggunakan metode prategang eksternal mengikuti pedoman Pd-T-02-2004-B: *Perkuatan*

Struktur Atas Jembatan Pelat Berongga dengan Metode Prategang Eksternal.

- Detail strand yang digunakan untuk perkuatan struktur Jumlah strand arah memanjang yang digunakan 4 buah dalam satu girder dengan tipe strand ASTM GRADE 270 13 mm (0,5") dengan diameter 12,7 mm dan luas tiap strand 98,71 mm². Jumlah strand arah melintang yang digunakan 4 buah dalam satu elemen dengan tipe strand ASTM GRADE 270 13 mm (0,5") diameter 12,7 mm dan luas tiap strand 98,71 mm².

3. Metode Perkuatan Sistem Portal

Metode sistem portal ini merupakan inovasi *retrofitting* dan *strengthening* jembatan yang telah lama berdiri untuk mengurangi resiko kegagalan struktur akibat degradasi kekuatan dari material beton.

- Analisis dan pemodelan struktur pada jembatan *voided slab*
Pemodelan struktur ini dilakukan untuk memperoleh reaksi yang terjadi pada tumpuan yang ditambahkan pada tengah bentang jembatan, lalu akan dijadikan sebagai beban terpusat yang akan bekerja pada struktur portal. Hasil analisis menunjukkan kombinasi 1 merupakan beban *ultimate* yang akan dipilih sebagai beban yang bekerja pada struktur portal.
- Rekapitulasi pembebanan pada struktur portal

Tabel 3. Rekapitulasi beban terpusat pada struktur portal

Jarak (m)	Dead (MS)	SIDL (MA)	Lajur (LL)	Truk (T)	Comb 1 (MS+MA+LL)	Comb 2 (MS+MA+T)	Comb Max (kN)
2	87.00	19.54	10.17	0	116.71	106.54	116.71
2.97	87.00	19.54	6.55	65.37	113.09	171.91	171.91
3.94	87.00	19.54	26.88	27.2	133.42	133.74	133.74
4.91	87.00	19.54	6.55	83.51	113.09	190.05	190.05
5.88	87.00	19.54	33.43	18.13	139.97	124.67	139.97
6.85	87.00	19.54	6.55	83.51	113.09	190.05	190.05
7.82	87.00	19.54	26.88	27.2	133.42	133.74	133.74
8.79	87.00	19.54	6.55	65.37	113.09	171.91	171.91
9.76	87.00	19.54	10.17	0	116.71	106.54	116.71

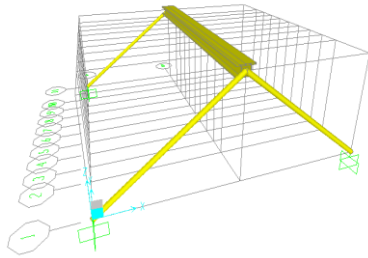
- Analisis dan pemodelan struktur portal

Balok baja 2H-400x400 dengan mutu U-39 ditempatkan pada bagian bawah gelagar pelat berongga (*voided slab*) dengan posisi melintang untuk menahan lendutan yang terjadi. Tiang-tiang portal dibuat untuk menahan beban aksial yang terjadi sehingga struktur portal dapat berdiri dengan kokoh saat menahan beban. Tiang portal

menggunakan material baja U-39 dengan profil Pipa GIS G 3454 10" SCH 80 yang akan ditahan oleh pondasi sumuran.

Hasil analisis menunjukkan besarnya momen *ultimate* yang bekerja pada balok baja 2H-400x400 adalah sebesar 4087,73 kN.m, sedangkan momen nominal balok baja 2H-400x400 adalah 13764,62 kN.m, hasil ini menunjukkan bahwa desain balok baja yang ditempatkan pada bagian bawah jembatan pelat berongga (*voided slab*) dengan

material baja U39 profil 2-H400x400 aman digunakan dengan rasio kekuatan penampang terhadap beban *ultimate* yang bekerja sebesar 0,297.



Gambar 3. 3D view pemodelan struktur portal

Gaya aksial yang terjadi pada tiang portal sebesar 662,725 kN masih dapat ditahan oleh material baja U-39 dengan profil Pipa GIS G 3454 10" SCH 80 yang memiliki kapasitas aksial penampang 2215,87 kN, sehingga desain tiang baja yang ditempatkan pada bagian bawah balok portal dengan material baja U-39 profil Pipa GIS G 3454 10" SCH 80 aman digunakan dengan rasio kekuatan penampang terhadap beban *ultimate* yang bekerja sebesar 0,444.

- Desain Pondasi Struktur Portal

Pondasi yang digunakan pada struktur portal berdasarkan hasil sondir (data sekunder) adalah pondasi sumuran karena kedalaman tanah keras yang didapat adalah 4 m. Pondasi sumuran pada portal baja didesain berdasarkan SNI 03-3447-1994: *Tata Cara Perencanaan Teknis Fondasi Sumuran untuk Jembatan*. Hasil analisis menunjukkan tulangan lentur yang digunakan pada pondasi sumuran ini D16 – 250 dan tulangan geser D13 – 250. Tulangan tersebut dapat menahan beban aksial pada jembatan sebesar 924,913 kN dan beban lentur sebesar 7,256 kNm.

E. Engineering Estimate

Perhitungan *engineering estimate* dilakukan berdasarkan Analisa Harga Satuan (AHS) tahun 2018 yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga,

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dan harga satuan yang diambil ialah harga satuan kota Bandar Lampung tahun 2018.

- *Engineering Estimate* Sistem Prategang Eksternal dan Sistem Portal

Biaya pelaksanaan perkuatan struktur menggunakan sistem prategang eksternal adalah sebesar Rp1.170.790.000,- sedangkan biaya pelaksanaan perkuatan struktur menggunakan metode sistem portal adalah sebesar Rp1.658.740.000,-.

- *Engineering Estimate* Penggantian Struktur Atas Jembatan

Biaya pelaksanaan penggantian struktur atas jembatan tanpa mengganti struktur bawah jembatan adalah sebesar Rp 1.993.830.000,-. Penggantian struktur atas jembatan ini tidak efektif karena selain harus melakukan pengujian kekuatan pada struktur bawah eksisting, usia Jembatan Way Bako I jembatan sudah mencapai 39 tahun sehingga sudah hampir mendekati umur rencana bangunan jembatan 50 tahun, sehingga lebih baik dilakukan perkuatan struktur sampai menunggu umur rencana dan dilakukan rekonstruksi.

F. Perbandingan antara Metode Prategang Eksternal dan Sistem Portal

Perbandingan perkuatan struktur antara sistem prategang eksternal dengan metode sistem portal menunjukkan bahwa metode sistem prategang eksternal lebih baik dibandingkan sistem portal ditinjau dari segi kekuatan struktur (rasio μ/μ_n dan lendutan) serta biaya konstruksi, sehingga untuk jembatan pelat berongga (*voided slab*) lebih direkomendasikan menggunakan perkuatan struktur sistem prategang eksternal. Meskipun demikian hal yang harus diperhatikan jika memilih jenis perkuatan menggunakan sistem prategang eksternal adalah ketika melakukan penegangan saat pelaksanaan, karena apabila struktur eksisting mengalami retak, akan sangat berbahaya untuk kestabilan struktur tersebut.

Tabel 5. Rekapitulasi perbandingan antara Metode Sistem Prategang Eksternal dan Sistem Portal

No.	Jenis Perkuatan	Lendutan (mm)			Momen Ultimate (kNm)	Momen Nominal (kNm)		Rasio μ/μ_n	Biaya Konstruksi (Rp)
		Sebelum perkuatan		Setelah perkuatan		Sebelum Perkuatan	Setelah Perkuatan		
		Hasil Pengujian	Hasil Analisis						
1.	Prategang Eksternal	18	18.88	17.18	5686,03	5569,57	6941,65	0,8191	1.170.790.000
2.	Sistem Portal	18	18.88	18.17	5686,03	5569,57	13764,62	0,4131	1.658.740.000

Tabel 5. menunjukkan bahwa metode prategang eksternal dapat mengurangi lendutan sebesar 1,70 mm seperti penelitian yang pernah dilakukan oleh Wakid pada tahun 2014 tentang “Perkuatan Struktur Atas Jembatan Komposit dengan Metode Prategang Eksternal” dimana hasil penelitian menunjukkan lendutan dapat berkurang sebesar 1,38 mm.

4. Simpulan

Berdasarkan uraian dan hasil pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Hasil survey pendahuluan menunjukkan bahwa jembatan ini telah banyak mengalami kerusakan struktur dan non struktur. Kerusakan struktur tersebut berupa lendutan yang tidak seragam pada girder *voided slab* akan ditangani dengan *retrofiting* dan perkuatan struktur (*strengthening*) antara sistem prategang eksternal dan sistem portal.
- Hasil analisis struktur menunjukkan nilai momen nominal dan lendutan sebelum perkuatan adalah 5569,57 kN.m dan 18 mm, setelah diperkuat dengan sistem prategang eksternal menjadi 7097,88 kN.m ($M_u/M_n = 0,8191$) dan 17 mm sedangkan sistem portal 13764,62 kN.m ($M_u/M_n = 0,4131$) dan 18 mm. Biaya sistem prategang eksternal Rp 1.170.790.000,- sedangkan sistem portal Rp 1.658.740.000,-. Dengan demikian metode prategang eksternal lebih tepat diterapkan pada Jembatan ini.

Daftar Pustaka

- [1] Shintike dan Yosephine, “Analisa Nilai Sisa Kapasitas Bangunan Atas Jembatan Bahanapu dengan Menggunakan Metode Rating Factor,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. IV, p. 79-90, 2015.
- [2] Wakid, “Perkuatan Struktur Atas Jembatan Komposit dengan Metode Partegang Eksternal,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. II, p. 1, 2014.
- [3] SNI-7833-2012, Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2012.