

UJI BEBAN PADA STRUKTUR BANGUNAN CAGAR BUDAYA JEMBATAN LOJI

KOTA PEKALONGAN

Parang Sabdono

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas Diponegoro

Email: parangabdono2022@gmail.com

Abstract. *The Loji Bridge in Pekalongan City is a cultural heritage building that was built in 1880, during the Dutch East Indies colonial period. The Loji Bridge is more than 150 years old and is still standing and is only used for bicycle and motorbike traffic. When it was built, it was an important bridge because it was a bridge on the north coast road. Until now, this has been the way of the economy. The condition of the bridge is currently unknown as to its structural feasibility. The Pekalongan city government will revitalize the bridge left over from the Dutch era so that it can be used again. If it is not possible for traffic to be used, it will be used as a place for MSME activities. So in the city of Pekalongan there are interesting places to attract visitors as culinary tourism spots and others. To determine the suitability of the bridge structure with a span of 50 meters, testing needs to be carried out. The test carried out is a load test. Why is a loading test carried out because there is no bridge building data, superstructure data or substructure/foundation data. So with a loading test you can immediately determine the amount of load the bridge can safely withstand. The loading method uses water loads, namely by creating a loading pool. The load is adjusted to the planned traffic load / live load. The equipment installed and recorded during the test is to determine and monitor the bridge settlement, either in the pillars or beams. Monitoring is carried out to maintain deflection / settlement. So that the decrease / deflection that occurs during testing is still within safe limits. The equipment used to monitor and record deflection is a Linear Variable Displacement Transducer (LVDT) which is connected to a data logger and computer. The LVDT is placed on wooden stakes / poles stuck into the river bed, so that the readings decrease relative to the river bed. Loji Bridge with a span of 50 meters consists of 4 pillars and 2 abutments. Upper structure with asphalt pavement, wooden plank floor. The abutments use river stone pairs and the pillars use 7 solid pipes with a diameter of 12 cm. Later, it is planned to replace the wooden floor with a reinforced concrete slab floor on the bridge.*

Keywords: *Bridge, cultural heritage, solid pipe pillars*

Abstrak. Jembatan loji kota pekalongan merupakan bangunan cagar budaya yang dibangun pada tahun 1880, pada masa penjajahan hindia belanda. Jembatan loji sudah berumur lebih dari 150 tahun tahun saat ini masih berdiri dan hanya digunakan untuk lalu lintas sepeda dan sepeda motor. Pada saat dibangun merupakan jembatan penting karena merupakan jembatan yang berada di jalan pesisir pantai utara. Sampai saat ini merupakan jalan perekonomian. Kondisi jembatan saat ini tidak diketahui terhadap kelayakan strukturnya. Pemerintah kota pekalongan akan merevitalisasi jembatan peninggalan jaman belanda tersebut untuk difungsikan kembali. Jika tidak memungkinkan untuk digunakan lalu lintas maka akan digunakan sebagai tempat untuk kegiatan umkm. Sehingga di kota pekalongan terdapat tempat yang menarik untuk menarik pengunjung sebagai tempat wisata kuliner dan yang lainnya. Untuk mengetahui kelayakan struktur jembatan dengan bentang 50 meter tersebut maka perlu dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan adalah dengan uji beban (loading tes). Mengapa dilakukan loading tes karena tidak terdapat data bangunan jembatan, data bangunan atas maupun bangunan bawah / pondasi. Sehingga dengan loading tes dapat langsung diketahui besarnya beban yang dapat ditahan oleh jembatan dengan aman. Metode pembebanan dengan menggunakan beban air, yaitu dengan membuat kolam pembebanan. Beban disesuaikan dengan beban lalu lintas / beban hidup yang direncanakan. Peralatan yang dipasang dan merekam saat pengujian adalah untuk mengetahui dan memantau terhadap penurunan jembatan baik pada pilar atau balok. Pemantauan dilakukan untuk menjaga lendutan / penurunan. Sehingga penurunan / lendutan yang terjadi saat pengujian masih dalam batas aman. Peralatan yang digunakan untuk memantau dan merekam lendutan yaitu dengan linear variable displacement transducer (lvdt) yang dihubungkan ke data logger dan computer. Lvdt ditempatkan pada steger / tiang-tiang kayu yang menancap didasar sungai, sehingga pembacaan penurunan relative terhadap dasar sungai. Jembatan loji dengan bentang 50 meter terdiri dari 4 pilar dan 2 abutmen. Struktur atas dengan perkerasan lapis aspal lantai kayu papan. Abutmen menggunakan pasangan batu kali dan pilar menggunakan pipa pejal berjumlah 7 buah dengan diameter 12 cm. Nantinya jembatan akan direncanakan dilakukan penggantian pada lantai kayu dengan lantai plat beton bertulang.

Kata Kunci: Jembatan, cagar budaya, pilar pipa pejal

PENDAHULUAN

1 Latar Belakang

Seiring dengan waktu bangunan akan mengalami degradasi, degradasi dapat berasal dari lingkungan, stabilitas pondasi, tingkat pemakaian, operasional dan lain-lain. Degradasi ini menyebabkan fungsi bangunan yang tidak optimal.

Jembatan eksisting tempat studi berlokasi di kota Pekalongan dibangun sekitar tahun 1880. Struktur jembatan terdiri dari lantai kayu dengan perkerasan aspal. Struktur atas menggunakan baja profil INP pada gelagar memanjang maupun melintang. Bentang jembatan 50 meter dengan pilar sebanyak 4 buah dan 2 abutmen. Elemen pilar menggunakan 7 buah pipa baja bundar pejal dengan diameter 12 cm. Abutmen menggunakan pasangan batu kali.

Jembatan terletak di jalan Sultan Agung menghubungkan alun-alun kota Pekalongan dengan museum batik. Jalan Sultan Agung merupakan pusat kegiatan perekonomian masyarakat kota Pekalongan. Di jalan Sultan Agung terdapat mall, pasar Banjarsari dan pertokoan.

Fungsi jembatan tidak maksimal, saat ini hanya dilewati sepeda dan becak. Pemerintah kota Pekalongan berkeinginan untuk merevitalisasi dan mengalih fungsikan jembatan sebagai pusat kuliner. Fungsi jembatan Loji sudah digantikan dengan jembatan yang baru yang berada beberapa meter di sebelah timur jembatan Loji.

Karena untuk bangunan publik maka perlu dilakukan penelitian terhadap kelayakan struktur. Penelitian dengan tujuan mengevaluasi terhadap kelayakan struktur dan tingkat keamanan baik struktur atas maupun struktur bawah. Sehingga pengguna dapat merasa aman dan nyaman.

Uji pembebanan biasanya perlu dilakukan untuk kondisi-kondisi seperti berikut ini :

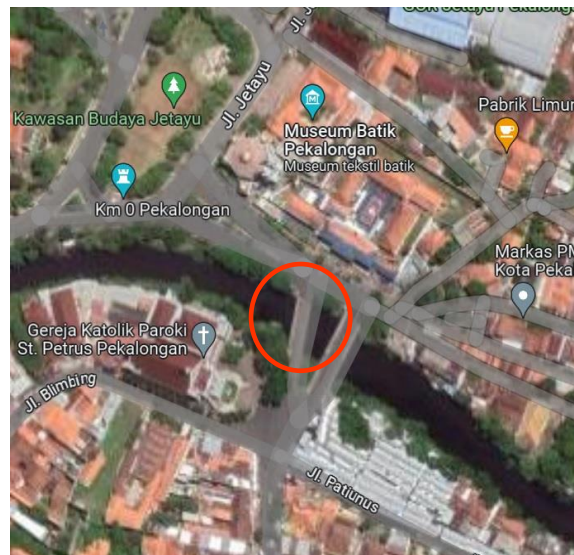
- Perhitungan analitis tidak memungkinkan untuk dilakukan karena keterbatasan informasi mengenai detail dan geometri struktur.
- Kinerja struktur yang sudah menurun karena adanya penurunan kualitas bahan, akibat serangan zat kimia, ataupun karena adanya kerusakan fisik.
- Perubahan fungsi struktur sehingga menimbulkan pembebanan tambahan yang belum diperhitungkan dalam perencanaan.

Uji pembebanan dikategorikan dalam pengujian ditempat yang biasanya bersifat non destructive dan pengujian bagian-bagian struktur yang diambil dari struktur utamanya dengan cara destructive

Tujuan utama dari pembebanan ini adalah untuk mengetahui apakah perilaku suatu struktur pada saat diberi beban kerja (working load) memenuhi persyaratan bangunan yang dan pada dasarnya dilakukan agar keamanan untuk pengguna bangunan tersebut terjamin. Perilaku struktur tersebut dinilai berdasarkan pengukuran deformasi yang terjadi. Selain itu penampakan struktur pada saat retak-retak yang terjadi selama pengujian masih dalam batas-batas yang wajar. Beberapa hal yang harus menjadi perhatian dalam pelaksanaan loading test adalah sebagai berikut :

Pembebanan harus dilakukan sedemikian rupa sehingga laju distribusi pembebanan dapat dikontrol. Beban yang bisa digunakan diantaranya air, bata / batako, kantong semen / pasir, pemberat baja dan lain-lain. Pemilihan beban yang akan digunakan tergantung dengan distribusi pembebanan yang diinginkan, besarnya total beban yang dibutuhkan dan kemudahan pemindahannya.

Parameter yang biasanya diukur dalam load test adalah lendutan, lebar retak dan regangan. Gambar 1 adalah lokasi tempat penelitian. Gambar 2 tampak depan jembatan kali Loji kota Pekalongan.



Gambar 1. Lokasi jembatan Loji kota Pekalongan (sumber google maps)

2 Rumusan masalah

Jembatan Loji merupakan bangunan cagar budaya yang keberadaannya dilindungi dan dijaga. Kondisi jembatan masih baik, meskipun sudah berumur sekitar 150 tahun. Fungsi jembatan sudah diganti oleh jembatan baru yang lebih kokoh menggunakan struktur baja komposit dengan bentang 50 meter. Sehingga fungsi jembatan Loji menjadi berkurang, saat ini hanya digunakan oleh pejalan kaki, sepeda dan becak.

Mengingat letak jembatan sangat strategis maka pemerintah kota Pekalongan berencana untuk merevitalisasi jembatan. Fungsi jembatan akan berubah menjadi tempat wisata kuliner atau tempat kegiatan perekonomian untuk masyarakat kota Pekalongan. Dengan pengalihan fungsi bangunan maka wajib dilakukan evaluasi / penelitian terhadap kondisi serta kekuatan jembatan. Penelitian dilakukan untuk meyakinkan terhadap kekuatan struktur.

3 Tujuan

Penelitian dilakukan untuk mengetahui tingkat keamanan struktur. Dengan pengalihan fungsi bangunan jembatan apakah masih mampu menahan beban sesuai dengan pengalihan fungsi. Saat dilakukan pengujian pembebanan dilakukan pengukuran displacemen pada elemen struktur untuk mengetahui tingkat kekakuan. Tujuan uji pembebanan loading test adalah untuk mengetahui apakah bagian struktur (yang diuji) masih kuat menahan beban kerja (working load) yang membebaninya atau tidak.



Gambar 2. Tampak depan jembatan kali Loji .

TINJAUAN PUSTAKA

Bangunan jembatan merupakan bangunan cagar budaya yang sudah berumur 150 tahun dan data-data mengenai struktur jembatan tidak ada. Karena tidak ada dokumen pendukung untuk melakukan analisis, maka yang pengujian yang sesuai adalah uji pembebanan langsung. Dan harus dilakukan dengan sangat hati-hati, proses pengujian pembebanan tidak boleh merusak atau merubah bangunan cagar budaya tersebut.

Salah satu metode pemeriksaan jembatan yang sering dilakukan adalah dengan melakukan uji beban (loading test). Pengujian ini dilaksanakan untuk mengukur respon jembatan memikul beban statik. Struktur jembatan harus menunjukkan kinerja yang baik dalam memikul beban. Uji beban statik akan bermanfaat untuk memberikan informasi pola penyaluran gaya-gaya dalam struktur atas akibat beban hidup. Sedangkan, uji beban dinamik bermanfaat untuk mengukur frekuensi alami jembatan. Loading test pada dasarnya adalah untuk membuktikan bahwa tingkat keamanan suatu struktur atau bagian struktur sudah memenuhi persyaratan peraturan bangunan yang ada, yang tujuannya untuk menjamin keselamatan umum. Oleh karena itu biasanya load test hanya dipusatkan pada bagian-bagian struktur yang dicurigai tidak memenuhi persyaratan tingkat keamanan berdasarkan data-data hasil pengujian material dan hasil pengamatan. (Syuryadi, 2016)

Pada saat uji struktur diamati apakah perilakunya masih memenuhi kriteria peraturan bangunan yang berlaku atau tidak, yang mana pada akhirnya hasil dari uji ini dapat menjadi salah satu indikasi apakah struktur masih aman atau tidak bagi penggunaannya. Bagian struktur yang akan memikul beban uji harus dipertimbangkan/ dilihat apakah kondisinya baik dan kuat. Penambahan beban harus dihentikan ketika terindikasi lendutan yang terjadi melebihi batas ijin dan jika secara visual terlihat keretakan-keretakan yang tidak wajar. Beban pengujian harus direncanakan sedemikian rupa sehingga merepresentasikan beban rencana (paling tidak mendekati beban rencana). Dan jika diperlukan untuk menghindari terjadinya distribusi beban yang tidak diinginkan maka bagian struktur yang akan diuji sebaiknya diisolasi dari bagian struktur yang ada di sekitarnya. (Khoeri, 2015)

Beban yang paling mudah adalah dengan menggunakan air yang diletakkan diatas bak plastik, yang kemudian beban yang diinginkan diberikan secara bertahap dengan menambahkan air ke dalam bak tersebut.

METODE PENELITIAN

Data sekunder struktur atas jembatan dan struktur bawah eksisting sudah tidak ada, sehingga untuk bangunan bawah jembatan tidak memungkinkan untuk dilakukan analisis terhadap kekuatannya. Untuk bangunan atas dapat dilakukan inventory yaitu untuk mendapatkan ukuran dan dimensi detail elemen-elemen struktur.

1 Pengamatan dan inventory

Pada pengamatan di lapangan ditinjau secara detail kondisi fisik elemen gelagar memanjang dan melintang serta tiang pada pilar. Inventory di lapangan berupa pengukuran geometris bangunan dan elemen-elemen struktur.

2 Pengujian di Lapangan

Uji beban dilaksanakan dengan 10 tahapan penambahan beban (increment) yang sama yaitu beban rencana (working load) sebesar 500 kg/m^2 setara dengan 50 cm ketinggian air. Penambahan beban / increment direncanakan sebesar 5 cm (50 kg/m^2) atau 10 %. Setiap penambahan beban 10% beban didiamkan selama beberapa jam sampai bacaan displacement stabil. Tahapan pembebanan 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100%, setiap tahapan beban dipertahankan beberapa jam sampai lendutan stabil.

Berat jenis air = 1000 kg/m^3 kubik, sehingga setiap penambahan 1 cm pada satu area adalah sama dengan penambahan beban 10 kg/m^2 persegi. Pada setiap penambahan beban, besarnya lendutan yang terjadi pada diukur.

Alat yang digunakan adalah Linear Variable Displacement Transducer (LVDT), data logger dan komputer. LVDT digunakan untuk mengukur displacement, data logger untuk membaca transducer dan kemudian ditransfer ke komputer, sehingga data tersebut dapat diolah.

Pada beban uji sebesar 100% , besarnya displacement yang terukur dicatat. Untuk selanjutnya beban didiamkan selama 24 jam, kemudian dilakukan kembali pengukuran untuk mengetahui besarnya pengaruh beban permanen pada struktur.

Dari hasil pengukuran, setelah beban didiamkan selama 24 jam, besarnya lendutan yang terukur pada balok dicatat pula. Setelah 24 jam, selanjutnya dilakukan pengurangan beban (unloading) dengan cara membuang air yang ada pada tempat bak pembebanan. Pada saat unloading juga direcord bacaan displacement setiap beban berkurang 10 %. Setelah air kosong, besarnya displacement akhir yang terukur pada balok struktur juga harus dicatat.

Parameter untuk mengontrol adalah displacemen dan lendutan, setiap tahapan pembebanan terus diamati. Jika terjadi lendutan yang berlebihan maka uji pembebanan segera dihentikan

karena dapat membahayakan struktur, kemungkinan jika dilanjutkan akan terjadi kegagalan struktur.

Gambar 3 adalah bak untuk pembebanan dengan air.

Gambar 4 pembebanan air mencapai maksimum sebesar 500 kg/m² dan didiamkan selama 24 jam.

Gambar 5 LVDT untuk mengukur displacement

Gambar 6 Data logger dan computer alat untuk membaca transducer LVDT dan menyimpan di computer

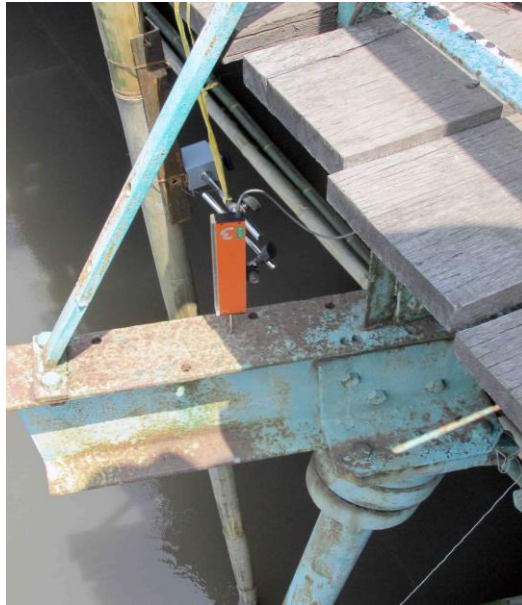
Gambar 7 Proses release beban / unloading , air dipompa ke sungai



Gambar 3. Bak untuk pembebanan dengan air



Gambar 4. Pembebanan mencapai maksimum



Gambar 5. Transducer Linear Variable Displacement Transducer (LVDT)



Gambar 6. Data logger dan komputer



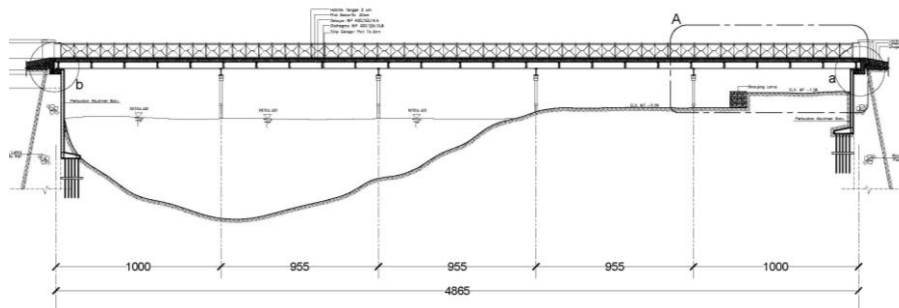
Gambar 7. Unloading / release beban

HASIL DAN PEMBAHASAN

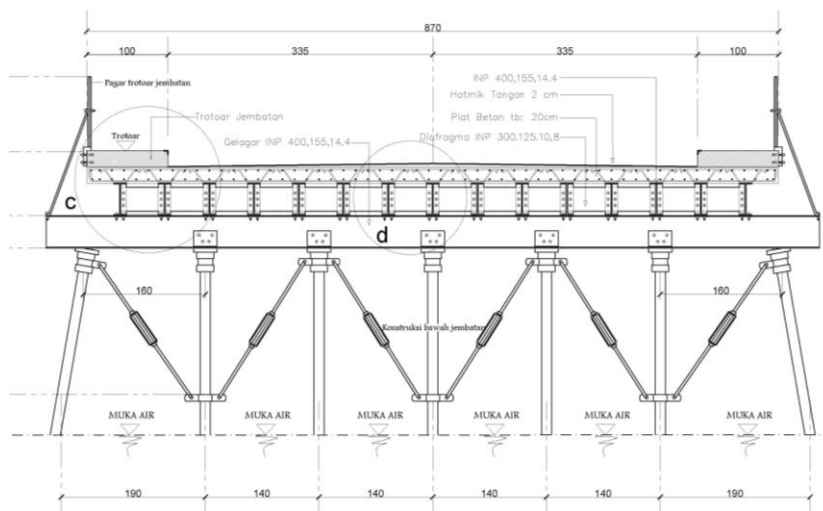
1 Hasil pengujian

1. Inventory dan pengamatan

Dari pengamatan secara visual kondisi papan lantai di beberapa tempat sudah mulai lapuk. Perkerasan aspal dalam kondisi masih baik. Tidak dijumpai deformasi / lendutan yang kasat mata mengkhawatirkan. Sehingga dapat dilakukan uji pembebanan. Gambar 3 dan 4 adalah hasil inventory pada upper structure. Terdapat empat pilar dan dua abutmen. Gelagar memanjang menggunakan INP sebanyak 15 buah. Pilar menggunakan pipa pejal diameter 12 cm sebanyak 7 buah. Masing-masing pipa pilar dihubungkan dengan profil INP sekaligus berfungsi sebagai gelagar melintang.



Gambar 8. Potongan memanjang jembatan kali Loji



Gambar 9. Potongan melintang jembatan kali Loji

2. Loading test

Hasil pengukuran tinggi air dan displacement pada pilar 1 dan pilar 2 (tabel 1). Tinggi air diukur menggunakan mistar pada 8 titik dilokasi dalam bak pembebanan, mengingat elevasi lantai jembatan tidak rata sehingga terdapat perbedaan ketinggian pada ke delapan titik pengukuran.

P11 adalah bacaan displacement pada pilar 1 ditepi, P13 adalah bacaan displacement pada pilar 1 di tengah. B bacaan lendutan pada balok memanjang ditengah bentang. P21 bacaan displacement pilar 2 di tepi. P22 bacaan displacement di tengah, P23 bacaan displacement ditepi.

Tabel 2 adalah hasil pengujian pada pilar 3 dan pilar 4.

P31 adalah bacaan displacement pada pilar 3 ditepi, P33 adalah bacaan displacement pada pilar 3 di tengah. P41 bacaan displacement pilar 4 di tepi. P43 bacaan displacement di tengah.

Tabel 1. Hasil pengujian pada pilar 1 dan 2

PENGUKURAN TINGGI AIR (CM)								BACAAN LVDT (MM)						
1	2	3	4	5	6	7	8	P11	P13	B	P21	P22	P23	
11	10	23	2	13	3	5	16	0	0.02	1.5	0.212	0.16	0.06	
16	15	28	7	18	8	10	21	0	0.02	2.06	0.254	0.44	0.08	
21	20	33	12	23	13	15	26	0	0.02	2.78	0.07	0.98	0.2	
26	25	38	17	28	18	20	31	0.002	0	3.5	0.104	1.46	0.24	
31	30	43	22	33	23	25	36	0.004	0.02	4.22	0.27	0.76	0.28	
36	35	48	27	38	28	30	41	0.004	0.02	4.86	0.218	1.18	0.3	
41	40	53	32	43	33	35	46	0.004	0	5.8	0.28	1.36	0.32	
46	45	58	37	48	38	40	51	0.008	0.02	5.22	0.336	1.22	0.3	
51	50	63	42	53	43	45	56	0.006	0.1	4.54	0.296	1.24	0.18	
46	45	58	37	48	38	40	51	0.006	0.08	3.82	0.65	1.02	0.16	
41	40	53	32	43	33	35	46	0.008	0.12	3.06	0.67	1	0.12	
36	35	48	27	38	28	30	41	0.006	0.22	2.26	0.79	0.92	0.14	
31	30	43	22	33	23	25	36	0.008	0.26	1.46	0.932	0.72	0.12	
26	25	38	17	28	18	20	31	0.006	0.26	0.86	0.93	0.54	0.14	
21	20	33	12	23	13	15	26	0.01	0.2	0.8	0.67	0.42	0.12	
16	15	28	7	18	8	10	21	0.01	0.1	0.78	0.43	0.24	0.08	
11	10	23	2	13	3	5	16	0.01	0.02	0.66	0.22	0.14	0.08	

Tabel 2. Hasil pengujian pada pilar 3 dan 4

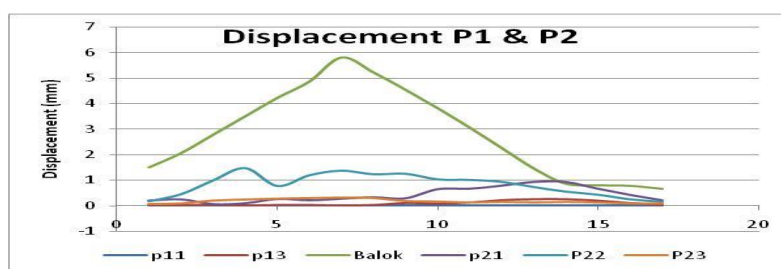
PENGUKURAN TINGGI AIR (CM)								BACAAN LVDT (MM)			
1	2	3	4	5	6	7	8	P31	P33	P41	P43
10.3	7.3	10.3	4.3	3.2	5.3	3.5	6	0.02	0	0.02	0
15.3	12.3	15.3	9.3	8.2	10.3	8.5	11	0.22	0.02	0	0.08
20.3	17.3	20.3	14.3	13.2	15.3	13.5	16	1.3	0.04	0.16	0.02
25.3	22.3	25.3	19.3	18.2	20.3	18.5	21	1.1	0.04	0.14	0.08
30.3	27.3	30.3	24.3	23.2	25.3	23.5	26	0.9	0.04	0.24	0.1
35.3	32.3	35.3	29.3	28.2	30.3	28.5	31	0.74	0.1	0.26	0.12
40.3	37.3	40.3	34.3	33.2	35.3	33.5	36	0.62	0.08	0.24	0.14
45.3	42.3	45.3	39.3	38.2	40.3	38.5	41	0.44	0.08	0.24	0.14
50.3	47.3	50.3	44.3	43.2	45.3	43.5	46	0.3	0.08	0.32	0.08
45.3	42.3	45.3	39.3	38.2	40.3	38.5	41	0.28	0.07	0.3	0.06
40.3	37.3	40.3	34.3	33.2	35.3	33.5	36	0.24	0.07	0.3	0.06
35.3	32.3	35.3	29.3	28.2	30.3	28.5	31	0.22	0.07	0.26	0.06
30.3	27.3	30.3	24.3	23.2	25.3	23.5	26	0.22	0.07	0.26	0.04
25.3	22.3	25.3	19.3	18.2	20.3	18.5	21	0.12	0.07	0.2	0.04
20.3	17.3	20.3	14.3	13.2	15.3	13.5	16	0.1	0.07	0.2	0.04
15.3	12.3	15.3	9.3	8.2	10.3	8.5	11	0.08	0.07	0.16	0.04
10.3	7.3	10.3	4.3	3.2	5.3	3.5	6	0.04	0.06	0.08	0.04

3. Pembahasan

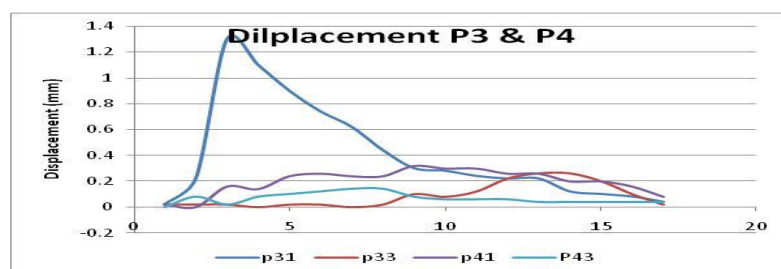
Dari pengamatan dan inventory terdapat elemen gelagar memanjang mengalami karat yang agak akut. Jika gelagar diganti sebaiknya menggunakan profil yang sama dengan yang lainnya yaitu menggunakan profil INP. Kondisi pilar masih baik, meskipun terendam di dalam sungai, tidak terjadi korosi. Biasanya korosi terjadi pada splash zone, di area ini tidak terjadi korosi.

Dari hasil uji pembebanan secara langsung dapat dibuat grafik displacemen. Gambar 10 adalah grafik hubungan displacement dengan tahapan pembebanan saat loading dan unloading/ release pada pilar 1, pilar 2 dan gelagar memanjang. Dari grafik dapat dilihat bahwa displacement yang terjadi pada pilar kecil yaitu kurang dari 2 mm, setelah unloading kembali seperti semula. Lendutan balok saat beban maksimum sebesar 5,8 mm, tetapi saat unloading kembali seperti semula.

Gambar 11 adalah grafik hubungan displacement dengan tahapan pembebanan saat loading dan unloading/ release pada pilar 3 dan pilar 4.



Gambar 10. Grafik displacement – loading/unloading pilar 1&2



Gambar 11. Grafik displacement – loading/unloading pilar 3 & 4

Hasil *loading test* pada tumpuan menunjukkan respon yang baik, dimana peningkatan *displacement* cukup kecil.

Pada pilar 1 = 0,2 mm

Pada pilar 2 = 1,46 mm

Pada pilar 3 = 1,3 mm

Pada pilar 4 = 0,3 mm

KESIMPULAN

- Pilar jembatan P1, P2, P3 dan P4 dan gelagar dilakukan uji pembebanan sampai maksimum = 500 kg/m².
- Saat beban maksimum displacement pada pilar kecil antara 0,2 mm – 1,46 mm
- Lendutan maksimum pada gelagar 5,8 mm , lebih kecil dari lendutan yang diijinkan
- Hasil uji pembebanan menggambarkan bahwa struktur jembatan Loji masih mampu menerima beban kerja (working load)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syuryadi, Paksi Aan., 2016, Analisis Risiko pada Uji Pembebanan (loading test) Jembatan dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (fmea), Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2016 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, ISSN: 2459-9727
- [2] Bayraktar, Alemdar., et all., 2017, Static and dynamic field load testing of the long span Nissibi cable-stayed bridge, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 0267-7261/ Elsevier Ltd, 136-157
- [3] Khoeri, Heri., 2015, Uji Pembebanan Loading Test, <https://hesa.co.id/uji-pembebanan-loading-test-2/>, diakses Juli 2023
- [4] Sapulete, C.A., et all., 2016, Optimasi Teknik Struktur Atas Jembatan Beton Bertulang , *Jurnal Sipil Statik* 4(4), ISSN 2302-3457: 233-240.
- [5] SNI 1725, 2020, Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan Gedung dan struktur lain.
- [6] SNI 1725, 2016, Pembebanan Untuk Jembatan.