

PENILAIAN KONDISI JEMBATAN KEDUANG PASCABANJIR

Dedy Hamdani¹, SA Kristiawan² dan Cahyono Ikhsan²

¹ Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Hulu Sungai Selatan, Jl. Singakarsa No. 17 Kandangan (71213).

Telp. (0517) 21022 Email : dendy_kalimantan@yahoo.com

² Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A Surakarta

Abstrak

Bencana alam menyebabkan kerusakan jembatan, misalnya banjir tanggal 26 Desember 2007 menyebabkan kerusakan jembatan pada jaringan jalan nasional di Jawa Tengah. Salah satunya adalah Jembatan Keduang (nomor registrasi jembatan 23.109.006.0) berlokasi di Ngadirojo-Giriwoyo- Pacitan. Kerusakan elemen struktur seringkali memunculkan keraguan apakah komponen struktur tersebut masih cukup aman. Penelitian ini bertujuan menentukan nilai kondisi Jembatan Keduang melalui pemeriksaan detail dan menganalisa keamanan Jembatan Keduang berdasarkan kinerja struktur pilar dengan memperhitungkan semua kombinasi beban termasuk gaya horizontal akibat aliran banjir pada berbagai kala ulang serta memeriksa kestabilan pilar terhadap bahaya scouring. Hasil pemeriksaan detail menunjukkan Jembatan Keduang memiliki nilai kondisi 4 yang mengindikasikan perlunya penggantian. Sementara hasil analisa struktur pilar memastikan kapasitas lentur, geser, kestabilan arah vertikal dan horizontal masih aman tetapi beresiko terjadi guling. Ditinjau dari scouring, salah satu pilar pada Jembatan Keduang cenderung kritis sekalipun ditinjau dari banjir pada kala ulang 2 tahun.

Kata kunci: kajian keamanan, beban banjir, stabilitas pondasi, penggerusan.

Abstract

Natural disaster causes bridge damage, for instance, flood occurred in Bengawan river in December 26th, 2007 which caused bridge damage of the national road network in Central Java. One of them is Keduang Bridge (path number: 24.109.006.0) located on Ngadirojo – Giriwoyo – Pacitan. The damage of bridge structure elements causes uncertainty whether they are still safe enough. This research is aimed to determine condition rating of Keduang Bridge, to analyze the safety of Keduang Bridge based on pier performance by considering all possible loads combination including horizontal forces due to flooding at a variety of periods and investigate the stability of pier against scouring. The results show that the bridge has condition rating 4 indicating it requires substitution. Analysis of pier confirms that the pier is structurally safe against bending moment and shear, having stability in vertical and horizontal direction but having no resistance against over turning. Based on scouring calculation, one of pier tends to be in critical condition event due flooding at 2 years period.

Keywords: condition rating, flood load, pier stability, scouring.

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur penting, yang bersama jalan, berperan dalam memacu pertumbuhan ekonomi suatu wilayah. Mempertahankan fungsi dan kemampuan jembatan dalam melayani arus lalu-lintas menjadi kunci lancarnya roda perekonomian; oleh sebab itu pemeriksaan yang terus-menerus terhadap kondisi jembatan harus menjadi bagian yang tak terpisahkan dalam sistem manajemen jembatan. Pemeriksaan terhadap kondisi jembatan dimaksudkan untuk sedini mungkin mengidentifikasi kerusakan-kerusakan yang terjadi sehingga penanganan yang efektif dan efisien dapat dilakukan sesuai dengan kondisi kerusakan yang terjadi [1].

Kerusakan yang terjadi pada jembatan dapat disebabkan oleh faktor beban, lingkungan maupun bencana alam. Beban lalu-lintas yang bekerja terus-menerus bahkan dengan intensitas yang semakin besar dapat merusak beberapa komponen jembatan. Studi yang dilakukan oleh Manuoka [2] juga menunjukkan bahwa jenis beban (lajur "D" atau beban truk "T") berpengaruh terhadap besarnya momen lentur yang terjadi pada jembatan. Pada jembatan dengan bentang antara 6-22 m disimpulkan bahwa momen yang

diakibatkan oleh beban truk "T" lebih berpengaruh pada kapasitas lentur batas daripada yang diakibatkan oleh beban lajur "D". Sebaliknya pada jembatan dengan bentang lebih dari 22 m kapasitas lentur batas lebih ditentukan oleh beban lajur "D". Hasil yang ditunjukkan oleh Manuoka ini dapat dijadikan acuan dalam penelusuran mengenai beban lalu-lintas mana yang cenderung mengakibatkan kerusakan pada jembatan.

Faktor lingkungan juga sangat berpengaruh terhadap terjadinya kerusakan antara lain berupa korosi pada komponen struktur jembatan yang terbuat dari material baja. Sohanghpurwala [3] menyusun panduan tentang penentuan tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh korosi pada tulangan akibat penetrasi ion klorida. Berdasarkan kuantifikasi tingkat kerusakan yang di hitung dengan nilai indeks kerentanan, alternatif perbaikan yang sesuai diusulkan.

Bencana alam seperti gempa bumi, longsor maupun banjir dapat merusak jembatan apabila desain jembatan kurang mengantisipasi kemungkinan terjadinya bencana ini. Desniar [4] melakukan evaluasi keamanan struktur Jembatan Panasan yang merupakan jembatan pasca gempa. Jembatan beton bertulang yang memiliki bentang 22 m ini

diidentifikasi mengalami penurunan lokal pada komponen pilar sehingga mengakibatkan gaya tambahan (gaya sekunder). Sementara itu kejadian banjir tanggal 26 Desember 2007 yang melanda di wilayah DAS Bengawan Solo Hulu akibat curah hujan yang mencapai 124 mm/hari atau merupakan curah hujan dengan kala ulang R_{55} tahun [5] adalah salah satu contoh nyata bagaimana banjir telah mengakibatkan kerusakan jembatan-jembatan pada ruas jalan nasional di Provinsi Jawa Tengah, termasuk yang terjadi pada Jembatan Keduang (Nomor ruas: 24.109.006.0) yang terletak di ruas Jalan Ngadirojo-Giriwoyo-Pacitan.

Penelitian tentang kondisi pilar jembatan akibat pengaruh aliran air dilakukan oleh Rohmiyati [6]. Dari hasil penelitian di laboratorium diperoleh bahwa gerusan lokal disekitar pilar jembatan disebabkan oleh sistem pusaran air (*vortex system*) karena adanya gangguan pola aliran akibat rintangan seperti: krib, pilar, abutmen jembatan, bendung dan bangunan lain. Dampak dari gerusan lokal harus diwaspadai karena dapat berpengaruh pada penurunan stabilitas bangunan air. Nilai reduksi terhadap gerusan yang paling besar didapat pada pilar segiempat ujung bulat adalah pada pilar dengan perlindungan *groundsill* berjarak $5d$ dari pilar dengan penambahan tinggi $0,75d$ dengan nilai reduksi sebesar 74,29%. Sedangkan nilai reduksi yang paling besar pada pilar silinder adalah pada pilar dengan perlindungan *groundsill* berjarak $5d$ dari pilar dengan penambahan tinggi $0,75d$ dengan nilai reduksi sebesar 74,20%. Dari data penelitian yang didapat, maka untuk pemilihan penambahan tinggi *groundsill* yang paling optimal adalah pada penambahan $0,75d$ baik pada pilar segiempat maupun pilar silinder.

Agung dkk [7] melakukan kajian laboratorium tentang pola gerusan di sekitar pilar dengan membandingkan hasil percobaan di laboratorium dengan rumus-rumus pendekatan yang telah ada selama ini. Dari hasil penelitian didapat bahwa formula yang dikeluarkan oleh *Colorado State University (CSU)* adalah formula yang paling mendekati hasil percobaan dengan penyimpangan 14,4%.

Penampang sungai merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan perubahan pola aliran air. Perubahan bentuk penampang akibat adanya kelokan ataupun karena berkurangnya luas penampang basah akibat sedimentasi akan menyebabkan meningkatnya kecepatan aliran. Penelitian tentang perubahan aliran air dalam hal ini aliran permukaan dengan mempertimbangkan kondisi perubahan bentuk penampang sungai dilakukan oleh Kusumastuti [8]. Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan melakukan pemodelan aliran permukaan di DAS Keduang diperoleh data bahwa debit limpasan maksimum yang dapat terjadi adalah 1.471,880 m³/dt untuk R24maks terbesar dan 589,303 m³/dt untuk R24maks terkecil.

Pada seluruh jembatan yang menghubungkan jalan nasional, Departemen Pekerjaan Umum telah mengembangkan sistem manajemen jembatan yang mana pemeriksaan jembatan merupakan bagian yang tercakup dalam lingkup sistem manajemen jembatan ini. Pada keadaan normal (tidak terjadi bencana) kondisi jembatan yang ada dapat terpantau kemampuan layan dan keamanannya karena semua jembatan secara rutin diperiksa sehingga rencana penanganan terhadap kerusakan yang ditemukan selalu efektif, efisien dan terjadwalkan sesuai dengan kondisinya. Di lain pihak, pada kasus kerusakan akibat bencana terutama yang terjadi pada elemen struktur sering menimbulkan keraguan mengenai kinerja dan keamanan bangunan secara keseluruhan. Untuk lebih meyakinkan, apakah struktur betul-betul mampu mendukung beban layan, perlu dilakukan evaluasi kinerja struktur atau komponen strukturnya. Penilaian atas kemampuan jembatan setelah terjadi bencana juga penting dikaitkan dengan faktor beban kerja dan kondisi yang akan terjadi di masa yang akan datang.

Penelitian ini dimaksudkan untuk memeriksa kondisi jembatan Keduang pasca terjadinya banjir tanggal 26 Desember 2007. Dua macam pemeriksaan dilakukan yaitu yang pertama pemeriksaan detail yang bertujuan untuk menentukan nilai kondisi jembatan secara umum dan yang kedua pemeriksaan khusus yang difokuskan untuk mengevaluasi kemampuan elemen struktur (pilar) yang terkena dampak langsung terjadinya banjir. Pemeriksaan detail dilakukan terhadap setiap elemen jembatan sehingga kerusakan pada setiap elemen dapat diidentifikasi, yang selanjutnya pengaruh kerusakan tersebut terhadap kinerja jembatan secara umum dinilai sesuai dengan petunjuk dalam Panduan Pemeriksaan Jembatan [1] untuk menentukan kondisi jembatan. Sedangkan pemeriksaan khusus pada elemen pilar dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu kerusakan pada pilar akibat banjir dan selanjutnya menganalisis kemampuan pilar termasuk pondasinya dalam memikul kombinasi beban-beban yang mungkin terjadi pada jembatan termasuk memperhitungkan terjadinya banjir dan gerusan yang terjadi di masa yang akan datang.

2. KONSEP PENILAIAN KONDISI JEMBATAN

2.1. Kerusakan dan Pengaruhnya Pada Nilai Kondisi Jembatan

Secara umum kerusakan jembatan menurut sumber penyebabnya dapat digolongkan menjadi 2 (dua), yaitu kerusakan yang dipicu oleh degradasi material baik karena faktor internal maupun eksternal dan kerusakan elemen yang disebabkan oleh pengaruh luar. Kerusakan material akibat faktor internal dapat

terjadi sejak awal pekerjaan konstruksi seperti cacat saat pelaksanaan, mutu beton saat pelaksanaan yang tidak sesuai rencana, proses perawatan yang tidak ditangani dengan baik, dan lain sebagainya. Kerusakan ini jika tidak ditangani sejak awal akan menyebabkan kerusakan yang lebih parah, bahkan dapat menyebabkan kegagalan struktur. Kerusakan material akibat faktor eksternal antara lain terjadinya pengelupasan selimut beton yang disebabkan korosi tulangan, retak-retak akibat beban yang berlebih, dan lain-lain. Sementara jenis kerusakan yang dapat digolongkan sebagai kerusakan elemen antara lain tertekuknya elemen batang, miringnya pilar, turunnya pondasi, melendutnya elemen gelagar melebihi batasan, dan lain-lain.

Penilaian atas berbagai macam kerusakan yang terjadi pada sebuah jembatan dilakukan dengan mengacu pada [1], yang mana untuk memudahkan penilaian jembatan dibagi-bagi menjadi beberapa komponen dan komponen ini selanjutnya dibagi-bagi lagi menjadi beberapa elemen yang membentuk komponen tersebut. Elemen jembatan itu sendiri terbentuk dari elemen-elemen pada tingkatan yang lebih kecil sebagai penyusunnya. Masing-masing kerusakan yang terjadi pada elemen mulai dari elemen terkecil diberi kode untuk keseragaman pemahaman dan kemudahan dalam memasukkan data. Kerusakan-kerusakan yang telah teridentifikasi kemudian diberi penilaian dimana penilaian kondisi ini dilakukan berdasarkan kategori nilai struktur, tingkat kerusakan, kualitas kerusakan, pengaruhnya terhadap fungsi elemen yang bersangkutan serta pengaruhnya terhadap elemen lain. Penilaian dilakukan menurut kriteria kualitatif dan kuantitatif seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sistem Penilaian Kondisi Elemen

Nilai	Kriteria	Nilai Kondisi
Struktur (S)	Berbahaya	1
	Tidak berbahaya	0
Kerusakan (R)	Parah	1
	Tidak parah	0
Kualitas (K)	Lebih dari 50%	1
	Kurang dari 50%	0
Fungsi (F)	Elemen tidak berfungsi	1
	Elemen masih berfungsi	0
Pengaruh (P)	Mempengaruhi elemen lain	1
	Tidak berpengaruh pada elemen lain	0
NILAI KONDISI (NK)	$NK = (S+R+K+F+P)$	0 s/d 5

Setelah didapat nilai kondisi jembatan yang ada kemudian dilakukan penilaian secara teknis untuk ditentukan jenis penanganan indikatif yang harus dilakukan. Pada Tabel 2 dapat dilihat kriteria teknis hasil penilaian jembatan serta penanganan indikatifnya menurut [1].

Tabel 2. Kriteria skrining teknis jembatan

Nilai	Nilai	Kategori	Penanganan Indikatif
Kondisi	0 - 2	Baik s/d rusak ringan	Pemel. Rutin/berkala
	3	Rusak berat	Rehabilitasi
	4, 5	Kritis atau runtuh	Penggantian
Lalulintas	0	Cukup lebar	Pemel. Rutin
	5	Terlalu sempit	Duplikasi, penggantian, pelebaran
Beban	0	Mempengaruhi elemen lain	Pemel. rutin
	5	Tidak berpengaruh pada elemen lain	Perkuatan atau penggantian

2.2. Penilaian Kemampuan Elemen Struktur

Setiap elemen struktur dari sebuah jembatan harus memiliki kemampuan untuk menopang beban sesuai dengan yang direncanakan. Apabila karena sesuatu hal misalnya bencana alam komponen struktur ini mengalami kerusakan yang mengakibatkan turunnya kapasitas dalam memikul beban, maka jembatan secara keseluruhan dapat kehilangan tingkat kemampuan layan dan keamanannya. Dalam rangka mengevaluasi apakah jembatan memang telah mengalami penurunan kemampuan layan maupun keamanannya, diperlukan pemeriksaan khusus pada elemen struktur yang diduga menjadi sumber permasalahan. Atas dasar pemeriksaan ini kemudian dilakukan analisis struktur untuk menentukan seberapa besar pengaruh kerusakan elemen struktur tersebut terhadap kemampuan layan dan keamanan jembatan.

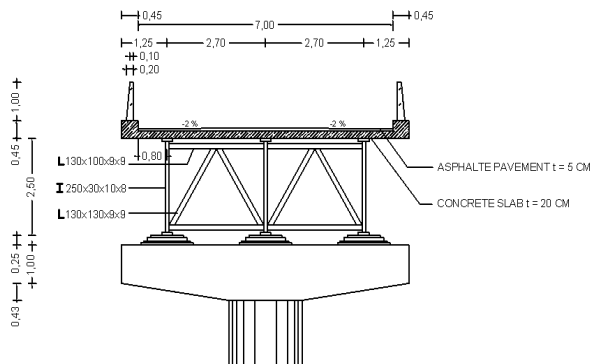
Dalam membuat penilaian atas kemampuan layan dan keamanan jembatan ini, semua beban yang diperkirakan bekerja dan berpengaruh pada jembatan harus diperhitungkan. Menurut Peraturan Standar Pembebanan untuk Jembatan (RSNI T-02-2005) beban yang bekerja pada jembatan merupakan kombinasi dari beberapa macam aksi rencana pembebanan [3]. Aksi rencana pembebanan digolongkan kedalam aksi tetap, transien dan aksi khusus. Kombinasi beban menurut RSNI T-02-2005 didasarkan kepada beberapa kemungkinan tipe yang berbeda dari aksi yang bekerja secara bersamaan. Keadaan paling berbahaya (maksimum) harus dijadikan acuan dalam perencanaan pembebanan.

Pada Jembatan Keduang faktor banjir merupakan penyebab kerusakan pada struktur jembatan. Tekanan air akibat banjir ini mengakibatkan penambahan gaya lateral pada struktur bawah jembatan. Jika tekanan yang terus bertambah hingga melebihi kapasitas struktur pilar akan menyebabkan keruntuhan struktur, sedangkan jika melebihi kapasitas daya dukung tanah akan menyebabkan terjadinya *settlement* hal ini dapat diperparah jika lapisan struktur tanah mengalami gerusan (*scouring*).

3. PEMERIKSAAN DETAIL JEMBATAN KEDUANG

3.1. Deskripsi Umum Jembatan Keduang

Jembatan Keduang merupakan jembatan komposit baja-beton dengan lebar 7 m serta memiliki total panjang bentang 91,18 m yang dibagi menjadi 3 (tiga) bentang oleh adanya 2 (dua) pilar. Struktur utama bangunan atas berupa 3 (tiga) buah gelagar komposit baja-beton yang sejajar dengan jarak antar gelagar sekitar 2,7 m dan membentang sejauh sekitar 30 m. Gelagar-gelagar tersebut diperkuat dengan rangka pengaku baja (Lihat Gambar 1).



Gambar 1. Penampang melintang struktur atas jembatan

Struktur pilar-pilar yang membagi jembatan Keduang menjadi 3 (tiga) bentang terbuat dari beton bertulang dengan kepala pilar merupakan struktur kantilever dengan bentang tiap sisi 2,94 m dari muka pilar. Sementara struktur pilar merupakan kolom bulat dengan diameter 2,5 m. Tinggi total pilar sampai lapisan bawah pondasi adalah 11 m untuk Pilar 1 (P1) dan 16 m untuk Pilar 2 (P2). Pondasi langsung berbentuk persegi (5 x 5 m) terbuat dari beton bertulang dengan tebal 1,5 m menopang seluruh struktur pilar. Struktur pilar tersebut tertanam dari

elevasi dasar sungai sedalam 3,6 m dan 5,6 m masing-masing untuk P1 dan P2 diukur terhadap dasar pondasi. Gambar 2 memperlihatkan sketsa jembatan.

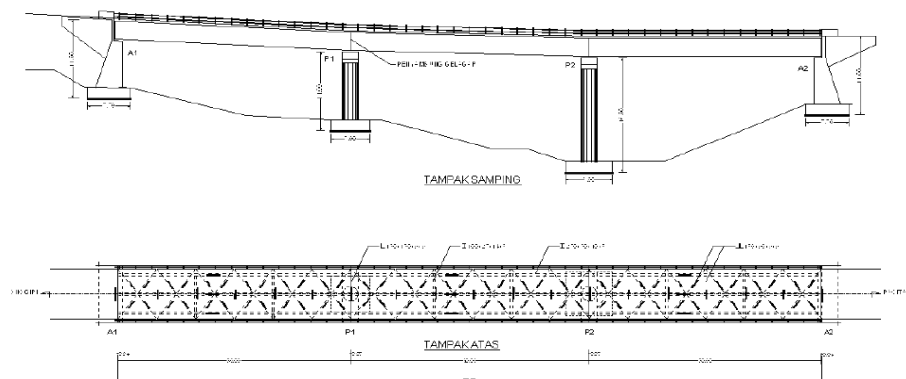
Pemeriksaan dilakukan melalui pengamatan yang seksama (secara visual) pada setiap elemen untuk menentukan tanda-tanda kerusakan. Tanda-tanda kerusakan yang diidentifikasi secara visual kemudian diukur kerusakannya (jumlah, lebar, luas, kemiringan, dan lain-lain) untuk menentukan tingkat kerusakannya. Alat-alat batu yang dipakai untuk mengukur kerusakan meliputi kamera, meteran, theodolite dan waterpass. Hasil pemeriksaan kerusakan selengkapnya ditampilkan pada Tabel L1 di Lampiran.

3.2. Pemeriksaan Kerusakan Elemen-Elemen Jembatan

Pemeriksaan terhadap setiap elemen-elemen Jembatan Keduang dilakukan untuk mengidentifikasi kerusakan yang terjadi. Pemeriksaan mencakup keseluruhan komponen jembatan yaitu bangunan atas, bangunan bawah serta aliran sungai/timbunan. Pemeriksaan dilakukan dengan prosedur sesuai dengan petunjuk pada buku Panduan Pemeriksaan Jembatan [1].

3.3. Penilaian Kondisi Jembatan

Kerusakan-kerusakan pada elemen-elemen yang teridentifikasi selama pemeriksaan detail kemudian diberi penilaian dengan menggunakan kriteria seperti pada Tabel 1. Penilaian dimulai dari elemen terkecil dan berlanjut ke elemen yang dibentuk oleh elemen-elemen kecil tersebut dan seterusnya sampai komponen utama yang membentuk Jembatan Keduang (Lihat Tabel L2 di Lampiran). Hasil penilaian terhadap kondisi Jembatan Keduang menunjukkan bahwa kerusakan yang terjadi cenderung kritis (nilai kondisi 4) yang menurut Tabel 2 menghasilkan rekomendasi perlunya dilakukan penggantian.



Gambar 2. Penampang memanjang jembatan

4. PEMERIKSAAN KEKUATAN PADA STRUKTUR PILAR DAN PONDASI

Rekomendasi penggantian Jembatan Keduang dengan jembatan baru mengindikasikan bahwa kondisi Jembatan Keduang mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki atau setidaknya efektifitas dan efisiensi perbaikan tidak layak apabila dibandingkan pembangunan jembatan baru sebagai pengganti. Namun demikian, rekomendasi penggantian ini hanya didasarkan pada indikasi kerusakan yang diperoleh dari hasil pemeriksaan detail yang mana pemeriksaan detail itu sendiri terutama bertumpu pada pengamatan visual. Mempertimbangkan hal ini maka pemeriksaan khusus harus dilakukan untuk memastikan apakah secara struktural Jembatan Keduang tersebut memang benar-benar tidak lagi mampu memikul beban baik untuk kondisi sekarang maupun yang akan datang dengan memperhitungkan semua kombinasi pembebanan yang mungkin.

Kerusakan besar yang terjadi pada Jembatan Keduang pasca banjir tanggal 26 Desember 2007 terutama terjadi pada komponen pilar yang selanjutnya kerusakan inilah yang berpengaruh besar pada penilaian kondisi. Berangkat dari fakta ini maka pemeriksaan kekuatan struktur Jembatan Keduang ini difokuskan pada pilar yang telah mengalami kerusakan (miring) dengan serangkaian kegiatan berikut:

1. Pengumpulan data sekunder yang meliputi data desain jembatan, *as built drawing*, data lapisan tanah saat perencanaan, data curah hujan dari tahun 1990 sampai 2007.
2. Survei lapangan untuk menentukan dimensi tampang sungai yang diperlukan untuk kajian aliran sungai dan penggerusan (*scouring*).

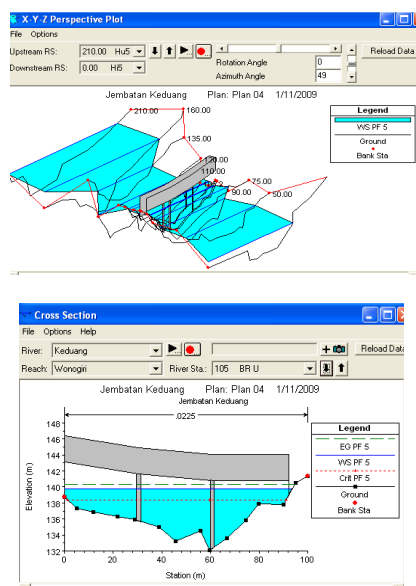
3. Pengujian *Hammer Test* untuk memperkirakan mutu beton pada pilar dan pondasi.
4. Penyelidikan tanah meliputi uji sondir di lapangan serta uji laboratorium untuk menentukan sifat tanah, klasifikasi, dan kuat geser (*direct shear test*).

Selanjutnya data-data yang diperoleh ini dipakai sebagai pedoman dalam menganalisa kekuatan struktur pilar dan pondasi. Adapun rangkaian kegiatan analisa kekuatan ini meliputi:

1. Melakukan analisa hidrologi untuk mendapatkan nilai kecepatan aliran di pilar saat banjir dengan kala ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun. Perhitungan kecepatan aliran sungai dilakukan dengan software HEC-RAS 4 pada kondisi *steady flow* dengan debit puncak banjir diperoleh dari analisa hidrologi dengan berbagai kala ulang. Gambar 3 memperlihatkan hasil simulasi genangan banjir pada banjir dengan kala ulang 50 tahun. Rekapitulasi hasil simulasi software HEC-RAS 4 untuk banjir dengan berbagai kala ulang ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Kecepatan aliran sungai pada berbagai kala ulang banjir pada Jembatan Keduang

No	Daerah Pilar	Debit Banjir Rencana dengan Kala Ulang (m ³ /dt) pada DAS Keduang					
		2 th	5 th	10 th	20 th	50 th	100 th
1	Vs (m/dt)	2,76	2,97	3,20	3,52	3,80	4,13
2	Elv. Saat Banjir (m)	138,48	138,77	139,12	139,55	139,90	140,29



Bridge Output			
File Type Options Help			
River:	Keduang	Profile:	PF 5
Reach:	Wonogiri	RS:	105
		Plan:	Plan 04
Plan: Plan 04 Keduang Wonogiri RS: 105 Profile: PF 5			
E.G. US. (m)	140.35	Element	Inside BR US Inside BR DS
W.S. US. (m)	139.85	E.G. Elev (m)	140.32 140.27
Q Total (m ³ /s)	1205.10	W.S. Elev (m)	139.73 139.53
Q Bridge (m ³ /s)	1204.61	Chl W.S. (m)	139.38 138.95
Q Weir (m ³ /s)		Max Chl Dpth (m)	7.64 6.61
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	3.41 3.80
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m ²)	352.97 317.02
Weir Submerg		Froude # Chl	0.39 0.62
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	1246.09 1217.69
Min El Weir Flow (m)	140.44	Hydr Depth (m)	3.92 3.86
Min El Pts (m)	143.15	W.P. Total (m)	117.05 103.60
Delta EG (m)	0.13	Conv. Total (m ³ /s)	32744.2 29698.4
Delta WS (m)	0.28	Top Width (m)	89.97 82.10
BR Open Area (m ²)	485.24	Frictn Loss (m)	0.01 0.00
BR Open Vel (m/s)	3.80	C & E Loss (m)	0.04 0.05
Coef of Q		Shear Total (N/m ²)	40.06 49.41
Br Sel Method	Energy only	Power Total (N/m.s)	136.76 187.83

Gambar 3. Simulasi genangan banjir pada kala ulang 50 tahun dengan HEC-RAS 4.

2. Melakukan analisa pembebanan menurut RSNI T-02-2005 terhadap pilar jembatan termasuk beban yang diakibatkan oleh angin, beban gempa, beban yang diakibatkan oleh aliran air saat banjir seperti yang diprediksi dari langkah 1 diatas serta secara khusus memperhitungkan beban sekunder yang terjadi akibat perubahan eksentrisitas struktur bangunan dan beban *overburder* akibat sedimentasi. Miringnya pilar tidak disebabkan semata-mata oleh gaya horizontal dari aliran saat banjir tanggal 26 Desember 2007 yang menerpa pilar secara langsung, tetapi juga oleh kenyataan bahwa saat banjir tersebut elevasi air cukup tinggi hingga mencapai lantai kendaraan. Dengan demikian aliran air juga memiliki gaya dorong horizontal yang cukup besar saat melewati/membentur gelagar komposit baja-beton. Sementara itu terjadinya sedimentasi tampak nyata dilihat dari menumpuknya sedimen di sekitar pilar. Banyaknya tanah timbunan ini berpengaruh terhadap kestabilan pilar sehingga termasuk yang diperhitungkan saat analisa pembebanan dilakukan. Beban-beban yang telah dikalkulasi ini kemudian dikombinasikan untuk memperoleh kombinasi maksimum yang mungkin terjadi, baik pada kondisi pembebanan layan maupun pembebanan ultimit. Hasil perhitungan pembebanan ini disajikan pada Tabel L3 dan kombinasi pembebanannya disajikan pada Tabel 4-6 di Lampiran.
3. Menganalisa keamanan struktur pilar pada beban kombinasi maksimum dengan melakukan kontrol kapasitas momen dan kapasitas geser pilar arah memanjang dan arah melintang. Data yang diperlukan untuk analisa ini seperti dimensi struktur pilar dan penulangannya diperoleh dari *as built drawing* serta pengukuran langsung dilapangan. Mutu beton diperkirakan sebesar 38 MPa yang diperoleh dari data *Hammer Test*. Sementara tegangan leleh tulangan diasumsikan sebesar 180 MPa. Asumsi ini dilakukan karena tidak adanya data pengujian selama proyek dibangun. Kekuatan struktur pilar kemudian dibandingkan dengan momen serta gaya geser yang terjadi akibat kombinasi beban maksimum dari Tabel L3-6 pada Lampiran. Hasil analisa keamanan pilar ditampilkan dalam Gambar 4-5.
4. Melakukan analisa stabilitas pondasi dalam arah vertikal, arah horisontal, dan keamanan terhadap guling. Data tanah yang diperlukan untuk analisa stabilitas ini diperoleh baik dari data perencanaan maupun data pengukuran di lapangan. Data perencanaan yang dipakai meliputi berat jenis tanah dan data SPT.

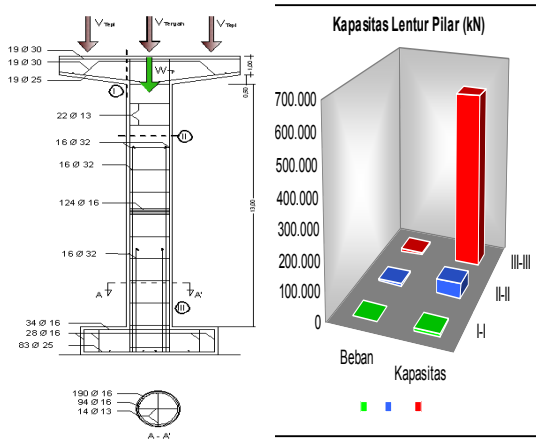
Sedangkan data tanah hasil pengukuran langsung mencakup data sondir, berat jenis tanah *overburder* dan kuat geser *overburder*. Tinggi *overburder* juga diperoleh dari pengukuran langsung. Hasil analisa stabilitas pondasi disajikan pada Gambar 6-8.

5. Melakukan analisa *scouring* terhadap pilar jembatan dengan bantuan software HEC-RAS 4. Data yang diperlukan untuk analisa ini meliputi data dimensi penampang sungai yang diperoleh dari pengukuran lapangan serta data kecepatan aliran pada dasar pilar. Sedangkan data ukuran butir tanah dasar pondasi diperoleh dari data perencanaan. Gambar 9-10 menunjukkan hasil simulasi pada analisa *scouring* pada P1 dan P2 untuk banjir dengan kala ulang 50 tahun. Sedangkan Gambar 11 menampilkan rangkuman hasil analisa *scouring* untuk berbagai kala ulang.

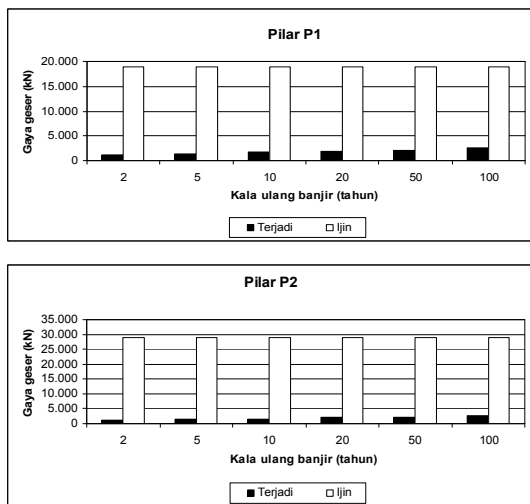
5. PEMBAHASAN

Kerusakan-kerusakan yang terjadi pada elemen-elemen Jembatan Keduang baik yang secara langsung diakibatkan oleh banjir tanggal 26 Desember 2007 maupun oleh sebab yang lain menghasilkan nilai kondisi 4. Apabila ditelusuri lebih lanjut, nilai kondisi ini dipengaruhi terutama oleh rusaknya komponen bangunan atas maupun bangunan bawah karena gaya horizontal yang cukup besar dari aliran air saat banjir. Kerusakan yang secara visual sangat mudah dikenali adalah miringnya pilar-pilar yang menopang struktur jembatan. Miringnya pilar-pilar ini meningkatkan kekhawatiran terhadap keamanan Jembatan Keduang.

Nilai kondisi 4 mengharuskan dilakukannya penggantian jembatan. Namun demikian pemeriksaan struktur terhadap komponen pilar yang dianggap paling bertanggung jawab dalam memberi kontribusi nilai kondisi 4 tersebut harus dilakukan untuk memastikan apakah jembatan memang memerlukan penggantian sekaligus untuk menjawab kekhawatiran atas keamanan Jembatan Keduang. Hasil analisa kekuatan lentur pilar pada 3 (tiga) daerah tinjauan (lihat Gambar 4) menunjukkan bahwa kapasitas lentur pilar masih memiliki kekuatan yang melebihi momen yang timbul akibat kombinasi beban ultimit yang mungkin terjadi. Pada daerah I-I yang merupakan daerah yang paling lemah dibandingkan daerah tinjauan yang lain, kapasitas momen pilar setara dengan 7000 kNm yang mana nilai ini masih lebih tinggi dibandingkan dengan momen yang timbul akibat kombinasi beban ultimit yakni 2600 kNm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa berdasarkan kapasitas lenturnya pilar masih aman.



Gambar 4. Grafik kapasitas lentur pilar Jembatan Keduang

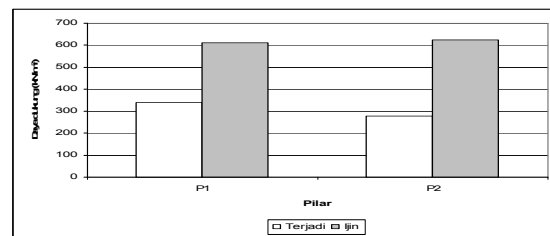


Gambar 5. Grafik kapasitas geser pilar Jembatan Keduang

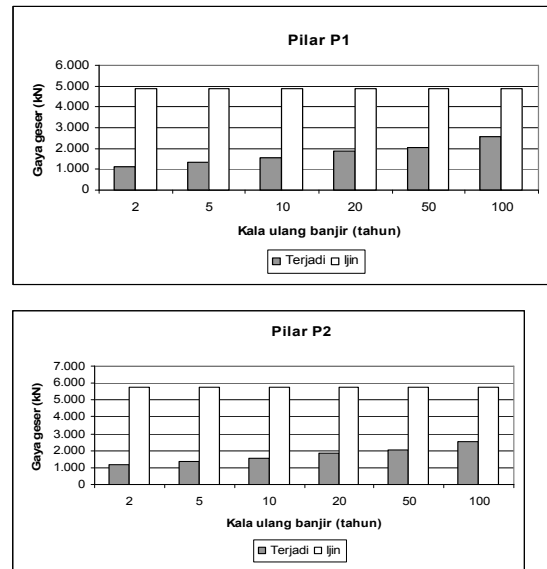
Demikian juga dilihat dari tinjauan geser yang telah memasukkan kemungkinan terjadinya banjir dengan berbagai kala ulang, maka dapat disimpulkan kekuatan geser pada pilar masih aman (Gambar 5). Pada kondisi yang paling ekstrem yaitu kemungkinan terjadinya banjir dengan kala ulang 100 tahun kapasitas geser yang dimiliki pilar juga masih jauh di atas geser yang terjadi akibat kombinasi semua beban.

Keamanan pondasi pilar Jembatan Keduang ditinjau dari kemampuan tanah dibawah pondasi dalam memikul beban vertikal, kemungkinan terjadi pergeseran serta guling pada pondasi akibat kombinasi gaya-gaya yang bekerja. Dilihat dari Gambar 6 maka terlihat bahwa daya dukung tanah dibawah pondasi masih aman dalam memikul tegangan yang disebarkan oleh pondasi. Dengan demikian pondasi cenderung stabil dalam memikul

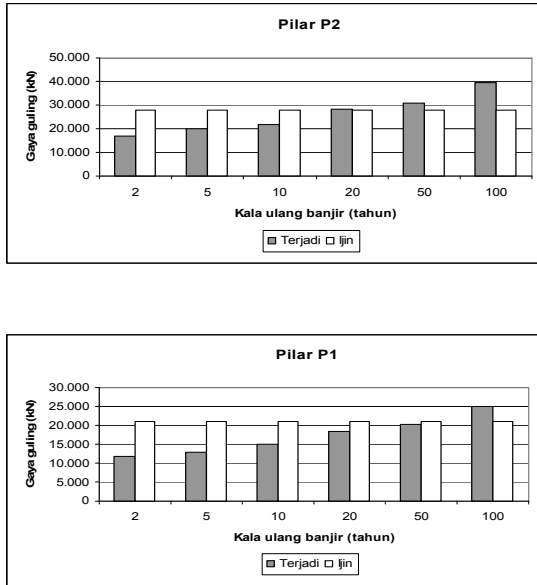
beban vertikal. Pondasi juga cenderung stabil terhadap gaya-gaya yang dapat menimbulkan pergeseran baik pada P1 maupun P2 (lihat Gambar 7). Namun demikian ditinjau dari kemungkinan terjadinya guling, pondasi akan rentan apabila gaya horizontal dari aliran air saat banjir diperhitungkan pada kala ulang 50 tahun untuk P1 dan 20 tahun untuk P2 (Gambar 8). Dengan demikian banjir dengan kala ulang 20 tahun menjadi batasan terhadap kemampuan struktur pilar dalam memikul kombinasi beban. Untuk meningkatkan kemampuan pilar dalam memikul kombinasi beban, maka langkah terpenting yang dilakukan adalah meningkatkan kestabilan pondasi pilar terhadap guling. Hal ini bisa dilakukan dengan memperbesar luasan pondasi (panjang pondasi arah hulu-hilir) sampai momen tahanan terhadap guling melampaui momen yang mengakibatkan guling. Dapat dibuktikan bahwa dengan menambah panjang pondasi sebesar 1m arah hulu-hilir, pondasi pilar akan memiliki angka keamanan terhadap guling lebih dari 1,75 baik pada P1 maupun P2.



Gambar 6. Grafik stabilitas pondasi arah vertikal Jembatan Keduang



Gambar 7. Grafik stabilitas horisontal pondasi Jembatan Keduang

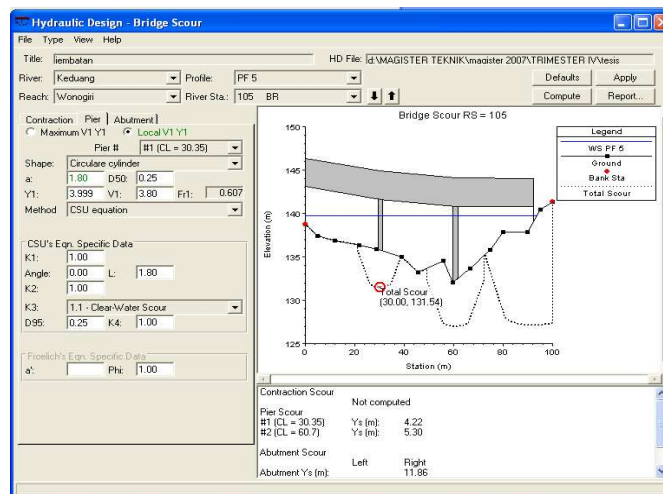


Gambar 8. Grafik stabilitas guling pondasi Jembatan Keduang

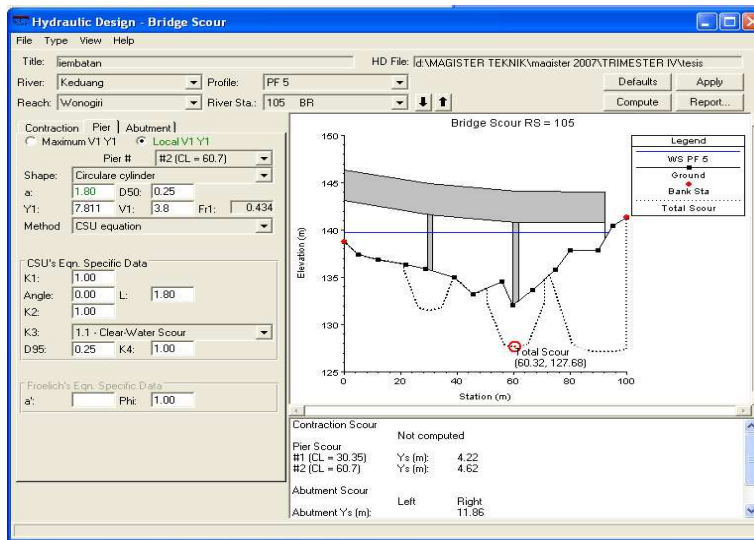
Disamping kombinasi gaya-gaya luar yang dapat mengganggu kestabilan pilar, keamanan pilar juga dapat terganggu oleh terjadinya perubahan muka tanah dasar sungai akibat terjadinya penggerusan (*scouring*) yang terus menerus oleh aliran air disekitar pilar. Kedalaman *scouring* yang disimulasikan dengan HEC-RAS 4 (Gambar 9-10) akan berguna untuk menentukan apakah pilar

masih stabil. Mengingat kedua pondasi pilar merupakan pondasi langsung, maka apabila kedalaman *scouring* telah mencapai dasar pondasi berarti kestabilan pilar dalam kondisi kritis.

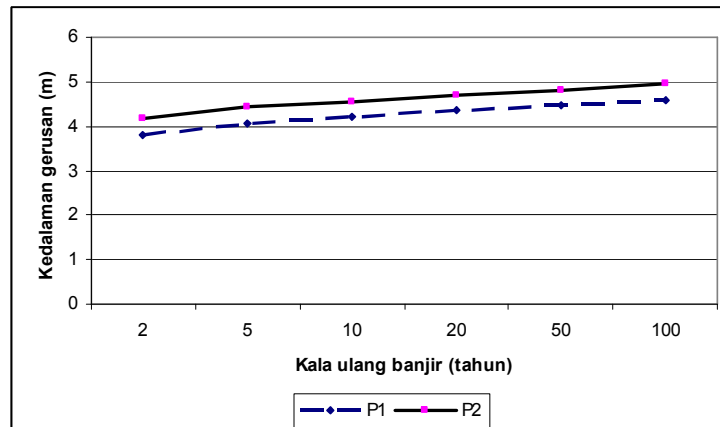
Penggerusan yang berlanjut setelah kondisi ini dapat menimbulkan pilar mengalami penurunan dan penggulingan/miring. Pondasi pada P1 dan P2 masing-masing berada pada kedalaman 3,6 m dan 5,6 m dari tanah dasar sungai sehingga apabila kedalaman *scouring* telah mencapai angka tersebut, pondasi dalam keadaan kritis terhadap terjadinya penurunan dan penggulingan. Dari Gambar 11 terlihat bahwa pada banjir dengan kala ulang 2 tahun saja, kedalaman *scouring* telah mencapai batas kritis untuk P1. Untuk melindungi pilar-pilar jembatan terhadap *scouring* dapat dilakukan dengan mereduksi kecepatan aliran. Hal ini dapat dicapai dengan bangunan *ground sill*. Dapat dibuktikan melalui simulasi HEC-RAS 4 apabila *ground sill* dibangun pada jarak 9 m ke arah hilir jembatan maka dapat mereduksi kecepatan aliran dari 3,8 m/det pada banjir dengan kala ulang 50 tahun menjadi 2,64 m/det. Pada kecepatan yang telah direduksi ini kedalaman *scouring* mencapai 3,61 m pada P1 yang berarti *ground sill* mampu mengurangi waktu tercapainya kondisi kritis pada P1 yang semula terjadi saat banjir dengan kala ulang 2 tahun menjadi 50 tahun. Teknik lain yang dapat dilakukan adalah melindungi secara langsung pilar-pilar tersebut dengan *rip rap* sebagai pengelak aliran air. *Rip-rap* dibuat dari susunan batu-batu besar yang mempunyai kecepatan kompetensi lebih besar dari kecepatan aliran air saat banjir.



Gambar 9. Analisa scouring pada P1 dengan HEC-RAS 4 pada banjir kala ulang 50 tahun.



Gambar 10. Analisa scouring pada P2 dengan HEC-RAS 4 pada banjir kala ulang 50 tahun.



Gambar 11. Grafik kedalaman gerusan pada pilar Jembatan Keduang

6. SIMPULAN

Pemeriksaan terhadap Jembatan Keduang pasca terjadinya banjir tanggal 26 Desember 2006 menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kondisi jembatan adalah 4 yang mengindikasikan perlunya dilakukan penggantian.
2. Gaya horizontal akibat aliran air saat banjir tanggal 26 Desember 2006 telah menyebabkan pilar miring. Kekuatan struktur pilar yang telah miring ini masih aman ditinjau dari kapasitas lentur, geser, kestabilan arah vertikal dan horizontal tetapi beresiko terjadi guling.
3. Ditinjau dari *scouring*, salah satu pilar pada Jembatan Keduang cenderung kritis sekalipun ditinjau dari banjir pada kala ulang 2 tahun.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Departemen Pekerjaan Umum, 1993., "Panduan Pemeriksaan Jembatan". Sistem Manajemen Jembatan, Jakarta.
- [2] Manukoa, J., 2007, "Pemeriksaan Kapasitas Lentur Ultimit pada Jembatan Tipe Balok T Standar Bina Marga Tahun 1980 BM 100", Majalah Teknik Jalan dan Jembatan No. 109. hal. 22.
- [3] Soharhpurwala, AA, 2006., "Manual on Service Life of Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Bridge Superstructure Elements". NCHRP Report 558, Transportation Research Board, Washington.
- [4] Desniar, H. Y., 2007, "Evaluasi Keamanan Struktur Jembatan Beton Bertulang (Studi Kasus: Jembatan Panasan, DI Yogyakarta)", Tesis Pasca Sarjana MPSP UGM, Yogyakarta

[5] Erwin Budoyo, 2008.” *Banjir Bengawan Solo Desember 2007 dan Operasional Pengendalian Banjir Bendungan Wonogiri* ”. Dialog Interaktif Mencari Solusi Permasalahan Banjir di Solo Raya 2 Pebruari 2008, Fakultas Teknik UNS, Surakarta.

















[6] Rohmiyati, A, 2008., “*Pengendalian Gerusan Lokal dengan Groundhill pada Pilar Jembatan*”. Skripsi Teknik Sipil UNS, Surakarta,

[7] Agung, W., Soekarno, I., dan Egon, A., 2006, “*Perbandingan Beberapa Formula Gerusan di Sekitar Pilar (Kajian Laboratorium)*”. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 13 No. 1 Januari.

[8] Kusumastuti R., 2006, *Perbitungan Aliran Permukaan Menggunakan Sistem Informasi Geografis Model Data Raster (Studi Kasus DAS Keduang)*, Skripsi Teknik Sipil UNS, Surakarta







Lampiran

Tabel I.1. Kerusakan-kerusakan pada elemen Jembatan Keduang

No. Jembatan											
2 4 1 0 9 0 0 6 0 0 0											
FOTO ELEMEN dan KERUSAKAN											
Nomor Foto	1	Jenis Kerusakan	Endapan lumpur berdehili	Tanggal Pengambilan	30-9-2008	Nomor Foto	3	Jenis Kerusakan	Pemuntiran batu karat	Tanggal Pengambilan	21-07-2008
Nama elemen	Aman air utama	Kode Kerusakan	S1	Catatan:		Nama elemen	Dinding penahan tanah	Kode Kerusakan	S3	Catatan:	
Kode elemen	4.212	Nilai Kandisi	3	Endapan lumpur/pakar halus yang berdehili di luar area di DAS Keduang meliputi lebih dari setengah tinggi pilar (P1)		Kode elemen	4.224	Nilai Kandisi	4	Pondasi batu korong penahan tanah pada A1 rusak	
											
Nomor Foto	2	Jenis Kerusakan	Endapan lumpur berdehili	Tanggal Pengambilan	30-9-2008	Nomor Foto	4	Jenis Kerusakan	Pemuntiran batu karat	Tanggal Pengambilan	21-07-2008
Nama elemen	Aman air utama	Kode Kerusakan	S1	Catatan:		Nama elemen	Dinding penahan tanah	Kode Kerusakan	S3	Catatan:	
Kode elemen	4.212	Nilai Kandisi	3	Endapan lumpur/pakar halus yang berdehili di luar area di DAS Keduang meliputi lebih dari setengah tinggi pilar (P2)		Kode elemen	4.224	Nilai Kandisi	4	Pondasi batu korong penahan tanah pada A2 rusak	
											
Nomor Foto	5	Jenis Kerusakan	Rundas mengalami pemuntiran	Tanggal Pengambilan	30-9-2008	Nomor Foto	7	Jenis Kerusakan	Mortal perlekatan retak	Tanggal Pengambilan	30-9-2008
Nama elemen	Rundas jembatan	Kode Kerusakan	S1	Catatan:		Nama elemen	Kepala sambungan	Kode Kerusakan	S1	Catatan:	
Kode elemen	4.313	Nilai Kandisi	4	Settlement menyebabkan P1 miring		Kode elemen	4.323	Nilai Kandisi	2	Mortal perlekatan pada A1 rusak karena bahan yang berdehili	
											
Nomor Foto	6	Jenis Kerusakan	Rundas mengalami pemuntiran	Tanggal Pengambilan	30-9-2008	Nomor Foto	8	Jenis Kerusakan	Mortal perlekatan retak	Tanggal Pengambilan	30-9-2008
Nama elemen	Rundas jembatan	Kode Kerusakan	S1	Catatan:		Nama elemen	Kepala sambungan	Kode Kerusakan	S1	Catatan:	
Kode elemen	4.313	Nilai Kandisi	4	Settlement menyebabkan P2 miring		Kode elemen	4.323	Nilai Kandisi	3	Mortal perlekatan pada A2 rusak karena bahan yang berdehili	
											

Nomor Foto	9	Jenis Kerusakan	Pilar bergesek (miring)	Tanggal Pengambilan	30-9-2008	NomorFoto	11	Jenis Kerusakan	Gelagar bergeser dari perletakan	Tanggal Pengambilan	30-9-2008
Nama elemen	Pilar kolom	Kode Kerusakan	B1	Catatan:		Nama elemen	Gelagar	Kode Kerusakan	B1	Catatan:	
Kode elemen	4.322	Nilai Kondisi	4	Gaya lateral berubah menyebarkan P1 miring		Kode elemen	4411	Nilai Kondisi	4	Kondisi expansion joint yang saling bertumpuk menandakan pergerakan gelagar yang berubah pada semua lintang (H1, H2 dan H3)	
											
											

Tabel L1 Kerusakan-kerusakan pada elemen Jembatan Keduang (lanjutan)

Nomor Foto	10	Jenis Kerusakan	Pilar bergesek (miring)	Tanggal Pengambilan	30-9-2008	NomorFoto	12	Jenis Kerusakan	Gelagar bergeser dari perletakan	Tanggal Pengambilan	30-9-2008
Nama elemen	Pilar kolom	Kode Kerusakan	B1	Catatan:		Nama elemen	Gelagar	Kode Kerusakan	B1	Catatan:	
Kode elemen	4.322	Nilai Kondisi	4	Gaya lateral berubah menyebarkan P1 miring		Kode elemen	4411	Nilai Kondisi	3	Kondisi expansion joint yang saling bertumpuk menandakan pergerakan gelagar yang berubah pada semua lintang (H1, H2 dan H3)	
											
											
Nomor Foto	13	Jenis Kerusakan	Deformasi akibat beban berubah	Tanggal Pengambilan	30-9-2008	NomorFoto	15	Jenis Kerusakan	Rusak / rusak	Tanggal Pengambilan	30-9-2008
Nama elemen	Balan angin	Kode Kerusakan	B3	Catatan:		Nama elemen	Perletakan baja	Kode Kerusakan	B4	Catatan:	
Kode elemen	4.413	Nilai Kondisi	3	Gaya lateral berubah menyebarkan ikatan angin bengkok. Lintang: H1 = y2, y9, y12, y13, y16 H2 = y3, y5, y11 H3 = y4, y9, y12, y16		Kode elemen	4511	Nilai Kondisi	4	Gaya lateral yang berubah menyebarkan perletakan pasak	
											
											
Nomor Foto	14	Jenis Kerusakan	Sambungan yang terdih akibat geser	Tanggal Pengambilan	30-9-2008	NomorFoto	16	Jenis Kerusakan	Rusak	Tanggal Pengambilan	30-9-2008
Nama elemen	Expansion joint	Kode Kerusakan	B1	Catatan:		Nama elemen	Sambutan horizontal	Kode Kerusakan	B5	Catatan:	
Kode elemen	4.811	Nilai Kondisi	3	Expansion joint yang bergeser berubah		Kode elemen	4622	Nilai Kondisi	2	Sambutan pada H1 rusak akibat tarikan	
											
											

Tabel L2. Penilaian kondisi Jembatan Keduang

Bemen yang rusak		Kerusakan				Level 5					Level 3 - 4								
Kode	Uraian	Kode	Uraian	Lokasi				Nilai Kondisi					Nilai Kondisi						
				A/P/B	X	Y	Z	S	R	K	F	P	NK	S	R	K	F	P	NK
Aliran sungai/timbunan																			
4.212	Aliran air utama	501	endapan/lumpur berlebih	P1				1	1	0	0	1	3	1	1	0	0	1	3
				P2				1	1	0	0	1	3	1	1	0	0	1	3
4.224	Dinding penahan tanah	103	pas. batu runtuh	A1				1	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4
				A2				1	0	0	1	1	3	1	0	0	1	1	3
Bangunan bawah																			
4.313	Pondasi langsung	551	Pondasi mengalami penurunan	P1				1	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4
				P2				1	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4
4.323	Kepala jemb/dinding	551	mortal perletakan retak	A1				0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
				P1				1	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4
				P2				1	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4
				A2				1	1	0	0	1	3	1	1	0	0	1	3
4.322	Pilar kolom	511	Pilar mengalami pergerakan (miring)	P1				1	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4
				P2				1	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4
Bangunan atas																			
4.411	Gelagar	511	Gelagar bergerak/bergeser	A1				1	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4
				P1				1	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4
				P2				1	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4
				A2				1	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4
4.415	Perkuatan ikatan angin	303	deformasi akibat beban berlebih	B1		5		1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
						9		1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
						12		1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
						13		1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
						16		1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
				B2		3		1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
						5		1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
						11		1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
				B3		4		1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
						9		1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
						12		1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
						16		1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
4.601	Expansion joint	801	sambungan saling tindih akibat geser	A1				1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
				P1				1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
				P2				1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
				A2				1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
4.611	Perletakan baja	304	rusak/retak	A2				1	1	1	0	1	4	1	1	1	0	1	4
4.622	Sandaran horisontal	305	rusak akibat tertabrak	B1				1	0	0	1	0	2	1	0	0	1	0	2

Tabel L2. Penilaian kondisi Jembatan Keduang (lanjutan)

No. Jembatan	2	4	1	0	9	0	0	6	0	0	0
--------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

EVALUASI ELEMEN

Gambar Y/T	Foto (Y/T)	Kuantitas	Satuan	Tindakan Darurat	Pemeriksaan Khusus	LEVEL 3		Nilai Kondisi (Harus Lengkap)												
						Kode	Elemen	S	R	K	F	P	N K							

LEVEL 2		Nilai Kondisi (Pilihan)						
Kode	Elemen	S	R	K	F	P	N K	
2,200	Aliran Sungai / Timbunan	1	0	1	0	1	3	
2,300	Bangunan Bawah	1	1	1	0	1	4	
2,400	Bangunan Atas	1	1	1	0	1	4	
2,700	Perlengkapan							
2,800	Gorong-gorong							
2,900	Lintasan Basah							

LEVEL 1		Nilai Kondisi (Pilihan)						
Kode	Elemen	S	R	K	F	P	N K	
1,000	Jembatan	1	1	1	0	1	4	

Tabel L3. Beban vertikal dan horizontal yang bekerja pada pilar

Aksi	V (kN)			H kN	Faktor kemiringan (α)	V deformasi (kN)			H deformasi (kN)	Faktor Beban Daya Layan	Faktor Beban Ultimit (K ¹)		V (Kg)									H (Kg)				
	Tepi	Tengah	Tepi			Tepi	Tengah	Tepi			Tepi	Tengah	Tepi	Normal	Terkurang	Daya Layan			Ultimit			Daya Layan Normal	Ultimit Normal	Ultimit Terkurang		
																Tepi	Tengah	Tepi	Normal	Tengah	Tepi				Tengah	Tepi
A. Beban Tetap																										
1. Berat sendiri	569,59	402,11	569,59			569,50	402,05	569,50		1,00	1,10	0,90	569,50	402,05	569,50	626,45	442,25	626,45	512,55	361,84	512,55					
2. Beban mati tambahan	122,93	127,14	122,93			122,91	127,12	122,91		1,00	2,00	0,70	122,91	127,12	122,91	135,20	139,83	135,20	110,62	114,41	110,62					
B. Beban Transien																										
1. Beban lajur "D"	634,25	796,50	634,25			634,15	796,38	634,15		1,00	2,00	N/A	634,15	796,38	634,15	697,57	876,02	697,57								
2. Beban rem				39,83					33,51	1,00	2,00	N/A														
3. Beban pejalan kaki	67,50		67,50			67,49	-	67,49		1,00	2,00	N/A	67,49		67,49	74,24		74,24								
4. Gesekan perletakan	173,13	132,31	173,13			173,10	132,29	173,10		1,00	1,30	0,80	173,10	132,29	173,10	190,41	145,52	190,41	155,79	119,06	155,79					
5. Pengaruh temperatur	11,20	11,20	11,20		1,00	11,20	11,20	11,20		1,00	1,20	0,80	11,20	11,20	11,20	12,32	12,32	12,32	10,08	10,08	10,08					
6. Beban angin																										
- Ultimit									134,84	1,00	1,20	N/A														161,81
- Layan									93,66	1,00	N/A	N/A														93,64
7. Pengaruh aliran									1.866,13	1,00	2,00	N/A														3.732,25
C. Beban Khusus																										
1. Beban gempa									979,86	1,00	N/A	N/A														979,86

Tabel L4. Kombinasi pembebanan aksial pada pilar Jembatan Keduang

Aksi Aksial	Layan				Ultimit Normal			
	Tepi	Tengah	Tepi	Vtotal kN	Tepi	Tengah	Tepi	Vtotal kN
	Berat Sendiri	569,50 (x)	402,05 (x)	569,50 (x)	1.541,05 (x)	626,45 (x)	442,25 (x)	626,45 (x)
Beban Mati Tambahan	122,91 (x)	127,12 (x)	122,91 (x)	372,94 (x)	135,20 (x)	139,83 (x)	135,20 (x)	410,23 (x)
Beban Lajur "D"	634,15 (o)	796,38 (o)	634,15 (o)	2.064,69 (o)	697,57 (o)	876,02 (o)	697,57 (o)	2.271,15 (o)
Beban pejalan kaki								
Gesekan perletakan	173,10 (o)	132,29 (o)	173,10 (o)	478,50 (o)				
Pengaruh temperatur	11,20 (o)	11,20 (o)	11,20 (o)	33,61 (o)				
Kombinasi Primer:	1.326,56 865,51 703,61	1.325,54 661,46 540,37	1.326,56 865,51 703,61	3.978,67 2.392,48 1.947,59	1.459,22 761,65 761,65	1.458,10 582,08 582,08	1.459,22 761,65 761,65	4.376,54 2.105,39 2.105,39
Beban kombinasi primer max	1.326,56	1.325,54	1.326,56		1.459,22	1.458,10	1.459,22	
Beban total kombinasi primer max	3.978,67 kN				4.376,54 kN			
Kombinasi Sekunder:	1.770,47 1.447,74 1.334,41	1.883,01 1.418,15 1.333,39	1.770,47 1.447,74 1.334,41	5.423,95 4.313,62 4.002,20	1.947,52 1.459,22 1.459,22	2.071,31 1.458,10 1.458,10	1.947,52 1.459,22 1.459,22	5.966,35 4.376,54 4.376,54
Beban kombinasi sekunder max	1.770,47	1.883,01	1.770,47		1.947,52	2.071,31	1.947,52	
Beban total kombinasi sekunder max	5.423,95 kN				5.966,35 kN			
Kombinasi Tersier:	1.735,79	1.796,50	1.735,79	5.268,09	1.675,35	1.764,57	1.675,35	5.115,27
Beban kombinasi tersier max	1.735,79	1.796,50	1.735,79		1.675,35	1.764,57	1.675,35	
Beban total kombinasi tersier max	5.268,09 kN				5.115,27 kN			
Hasil:	Beban kombinasi maksimum yang digunakan: Kombinasi Sekunder Pu = 5.966,35 kN							

Tabel L5. Kombinasi pembebanan momen pada P1 Jembatan Keduang

Aksi Momen	Momen Ultimit akibat gaya horisontal							
	Htotal (kN)		L. Mx m	L. My m	Layan*		Ultimit	
	Daya Layan	Batas Ultimit			Mx kN.m	My kN.m	Mx kN.m	My kN.m
Beban Rem	33,51 (o)			15,8		529,48 (o)		
Beban angin	93,64 (o)		13,24		1.239,82 (o)			
Beban aliran	1.866,13 (x)		9,16		17.093,71 (x)			
Beban gempa		979,86 (x)	11,00	11,00			10.778,46 (x)	10.778,46 (x)
Kombinasi Primer:								
Arah x	1.959,77	979,86			18.333,53		10.778,46	
Arah y	33,51	979,86				529,48		10.778,46
Beban kombinasi primer max								
Arah x	1.959,77 kN				18.333,53 kN		10.778,46 kN	
Arah y	979,86 kN				529,48 kN		10.778,46 kN	
Kombinasi Sekunder:								
Arah x	2.025,32	979,86			19.201,40		10.778,46	
Arah y	1.003,32	979,86				370,64		10.778,46
Beban kombinasi sekunder max								
Arah x	2.025,32 kN				19.201,40 kN		10.778,46 kN	
Arah y	1.003,32 kN				370,64 kN		10.778,46 kN	
Kombinasi Tersier:								
Arah x	2.023,34	979,86			18.953,44		10.778,46	
Arah y	996,62	979,86			529,48	264,74		10.778,46
Beban kombinasi tersier max								
Arah x	2.023,34 kN				18.953,44 kNm		10.778,46 kNm	
Arah y	996,62 kN				264,74 kNm		10.778,46 kNm	
Hasil:								
Beban kombinasi maksimum yang digunakan:	Kombinasi Sekunder			Mx-x	19.201,40	kNm		
				My-y	10.778,46	kNm		

Tabel L6. Kombinasi pembebanan momen pada P2 Jembatan Keduang

Aksi Momen	Momen Ultimit akibat gaya horisontal							
	Htotal (kN)		L. Mx	L.My	Layan		Ultimit	
	Daya Layan	Batas Ultimit	m	m	Mx kN.m	My kN.m	Mx kN.m	My kN.m
Beban Rem	33,51 (o)			20,8 (o)		697,04 (o)		
Beban angin	93,64 (o)		18,22		1.706,16 (o)			
Beban aliran	1.866,13 (x)		14,391		26.855,41 (x)			
Beban gempa		979,86 (x)	16,00	16,00			15.677,76 (x)	15.677,76 (x)
Kombinasi Primer:								
Arah x	1.959,77	979,86			28.561,57		15.677,76	
Arah y	33,51	979,86				697,04		15.677,76
Beban kombinasi primer max								
Arah x	1.959,77 kN				28.561,57 kN		15.677,76 kN	
Arah y	979,86 kN				697,04 kN		15.677,76 kN	
Kombinasi Sekunder:								
Arah x	2.025,32	979,86			29.755,88		15.677,76	
Arah y	1.003,32	979,86				487,93		15.677,76
Beban kombinasi sekunder max								
Arah x	2.025,32 kN				29.755,88 kN		15.677,76 kN	
Arah y	1.003,32 kN				487,93 kN		15.677,76 kN	
Kombinasi Tersier:								
Arah x	2.023,34	979,86			29.414,65		15.677,76	
Arah y	996,62	979,86				348,52		15.677,76
Beban kombinasi tersier max								
Arah x	2.023,34 kN				29.414,65 kNm		15.677,76 kNm	
Arah y	996,62 kN				348,52 kNm		15.677,76 kNm	
Hasil:								
Beban kombinasi maksimum yang digunakan:	Kombinasi Sekunder			Mx-x	29.755,88 kNm			
				My-y	15.677,76 kNm			