

The background of the cover is a photograph of a large concrete bridge under construction over a river. A yellow crane is positioned on the bridge deck, and three workers in safety gear are visible in a yellow platform basket. The title text is overlaid on the lower half of the image.

Pengembangan Sistem Manajemen Jembatan Terpadu

Risma Putra Pratama, Herry Vaza,
Rulli Ranastira Irawan & Hanna Abdul Halim

Risma Putra Pratama, Herry Vaza, Rulli Ranastra Irawan & Hanna Abdul Halim

Pengembangan Sistem Manajemen Jembatan Terpadu



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
www.pusjatan.pu.go.id

PENGEMBANGAN SISTEM MANAJEMEN JEMBATAN TERPADU

Risma Putra Pratama
Herry Vaza
Rulli Ranastra Irawan
Hanna Abdul Halim

Desember, 2015

Cetakan Ke-1 2015, 132 halaman

© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

Foto Cover :

<http://2.bp.blogspot.com/-dgYDggKmnA4/U5Cu-wpEYvI/AAAAAAAAAM4/sS9UEAEYGnI/s1600/4.JPG> (modotblog.blogspot.com)

No. ISBN : 978-602-264-134-6
Kode Kegiatan : 033.11.04.2432.029.032.107
Kata kunci : Sistem Manajemen Jembatan, Pemeriksaan Visual, Nilai Kondisi, Subjektifitas Inspektor, *Instrumented Inspection*

Ketua Program Penelitian:

Risma Putra, Puslitbang Jalan dan Jembatan

Ketua Sub Tim Teknis:

Prof. (R). Ir. Lanneke Tristanto, Puslitbang Jalan dan Jembatan

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2015 pada paket pekerjaan Pengembangan Teknologi Penggunaan Struktur Jembatan sebagai Sensor Identifikasi Jumlah dan Berat Kendaraan dalam kondisi bergerak.

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, unsur pimpinan, maupun institusi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Diterbitkan oleh:

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Badan Penelitian dan Pengembangan
Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan
Jl. A.H. Nasution No. 264 Ujungberung – Bandung 40293

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan
info@pusjatan.pu.go.id



PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PUPR dalam menyelenggarakan jalan di Indonesia dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi, dan nilai-nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan dukungan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIK & SUB TIM TEKNIK

Tim Teknis

Ir. Agus Bari Sailendra, MT.
Prof.(R).DR. Ir. M.Sjahdanulirwan, M.Sc
Ir. Pantja Dharma Oetojo, M.Eng.Sc
Ir. IGW Samsi Gunarta, M.Appl.Sc
DR. Ir. Dadang Mohammad, M.Sc
DR. Drs. Max Antameng, MA
DR. Ir. Hedy Rahadian, M.Sc
Ir. Iwan Zarkasi, M.Eng.Sc
Ir. George Joseph Winston Fernandez
Ir. Soedarmanto Darmonegoro
Ir. Palgunadi, M.Eng, Sc
Ir. Teuku Anshar
Ir. Gandhi Harahap, M.Eng.Sc
DR. Ir. Rudy Hermawan, M.Sc
Ir. Saktyanu, M.Sc
DR.Ir. Kemas Ahmad Zamhari, M.Sc
DR. Ir. Hasroel, APU
DR. Ir. Chaidir Amin, M.Sc
DR. Ir. IF.Poernornosidhi, M.Sc
Ir. Lanneke Tristanto, APU
Ir. Saroso B.S.

Prof.(R). DR. Ir. Furqon Affandi, M. Sc
Ir. Joko Purnomo, MT
Ir. Moch. Tranggono, M.Sc
DR. Ir. Djoko Widayat, M.Sc
Redrik Irawan, ST., MT.
Ir. Wawan Witarnawan, M.Sc
Dr.Ir.Slamet Mulyono
DR. Ir. Didik Rudjito, M.Sc
Ir. Edward Pauner

Sub Tim Teknis

Prof.(R).Ir. Lanneke Tristanto
Ir. Wawan Witarnawan, M.Sc
Ir. Abinhot Sihotang, MT.
Bernardus Herbudiman, ST., MT.
Dr.Eng. Ir. Made Suangga, MT.
Dr.tech Ir. Aswandy, MT.
Ir. Ahmad Yunaldi, MM.
Dr.Eng Ir. Fauzri Fahimuudin, M.Sc.Eng
Ir. Koesno Agus
Ir. Sumargo, M.Sc., Ph.D
Ir. Samun Haris, MT.

KATA PENGANTAR

Penyusunan naskah ilmiah ini bertujuan untuk menjelaskan kondisi penggunaan sistem penilaian dengan metode sesuai dengan Bridge Management System 1992. Berdasarkan kajian ini diharapkan dapat memberikan suatu wawasan bagi masyarakat umum mengenai fungsi dari Sistem Manajemen Jembatan, dan umumnya untuk kebutuhan perkembangan ilmiah bagi para peneliti dan pemeriksa jembatan.

Puslitbang Jalan dan Jembatan telah menyusun konsep pengembangan Bridge Management System (BMS) 1992 pada tahun 2015. Pengembangan ini difokuskan kepada Sistem Penilaian Kondisi untuk elemen jembatan, yang diharapkan dapat memudahkan inspektur jembatan dalam melakukan penilaian kondisi elemen jembatan. Beberapa pengembangan tersebut diantaranya yaitu dengan melakukan pembobotan untuk setiap elemen jembatan, sehingga setiap bobot elemen yang ada mewakili tingkat kontribusi penilaiannya terhadap kondisi jembatan secara keseluruhan. Selain itu, dilakukan pengembangan terhadap pemeriksaan getaran jembatan sebagai metode baru dalam melakukan penilaian kondisi jembatan berdasarkan frekuensi alami jembatan yang terukur dilapangan.

Semoga dengan pembahasan dalam naskah ilmiah ini dapat lebih membuka wawasan pengetahuan yang diperlukan untuk pengembangan sistem penilaian kondisi jembatan khususnya, dan pengelolaan jembatan secara umum.

Bandung, Desember 2015

**Risma Putra Pratama, Herry Vaza,
Rulli Ranastra Irawan & Hanna Abdul Halim**

Penyusun

DAFTAR ISI

PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATANIII

KATA PENGANTAR V

DAFTAR ISIVII

DAFTAR GAMBAR..... X

DAFTAR TABELXII

BAB 1. SISTEM INFORMASI MANAJEMEN JEMBATAN 15

 Pendahuluan..... 15

 Penilaian Kondisi Jembatan..... 16

 Planning Programming 17

 Pemeliharaan dan Rehabilitasi Jembatan 19

BAB 2. KAJIAN PENGGUNAAN BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM 1992 23

 Pendahuluan..... 23

 Sistem Penilaian Kondisi dengan BMS 1992..... 25

 Penilaian Kondisi Jembatan Pada Ruas Pantura Jawa 26

 Evaluasi Kasus Kegagalan Jembatan di Indonesia 29

 Evaluasi Penggunaan BMS’92 Sebagai Panduan Pemeriksaan Jembatan..... 29

 Tahapan Pemeriksaan Jembatan..... 31

 Ketersediaan Inspektor Jembatan 34

 Subjektifitas Penilaian Kondisi Jembatan..... 36

 Hasil Evaluasi BMS’92..... 36

 Penilaian Kondisi Berbasis Pembobotan Elemen..... 37

BAB 3. PENGEMBANGAN SISTEM PENILAIAN KONDISI JEMBATAN DENGAN METODE PEMBOBOTAN	41
Umum.....	41
Pengembangan BMS	42
Urutan pemeriksaan	43
Hirarki Elemen Jembatan	44
Kombinasi kemungkinan dari indikator kondisi	49
Tingkat resiko elemen jembatan terhadap keruntuhan jembatan	52
Penilaian Kondisi Jembatan.....	54
Model Pedoman Pemeriksaan Jembatan	55
Uji Model dan Diskusi.....	56
Prosedur Pemeriksaan Jembatan Baru	62
Pengembangan Lebih Lanjut.....	63
BAB 4. KAJIAN METODE UJI GETARAN JEMBATAN DALAM PENILAIAN KONDISI JEMBATAN	65
Umum.....	65
Frekuensi Natural.....	66
Frekuensi alami dari formula umum.....	67
Frekuensi alami dari formula empiris.....	68
Frekuensi Natural berdasarkan perhitungan numerik	68
Frekuensi alami dari uji beban dinamis.....	69
Frekuensi alami dari pengukuran defleksi statis.....	70
Percobaan lapangan dan hasil.....	72

Umum	72
Pemeriksaan Visual.....	74
Dimensi jembatan	74
Percobaan uji beban statis	79
Konfigurasi beban	79
Susunan instrumentasi.....	80
Pengukuran regangan pada uji beban statis	80
Pengukuran lendutan	80
Percobaan uji beban dinamis	82
Frekuensi alami mendasar	82
Amplifikasi beban dinamis	85
Damping	87
Analisis numerik.....	89
Model analisis penuh Jembatan Matani	89
Model analisis artifisial jembatan Matani.....	90
Ringkasan frekuensi alami.....	90
Nilai kondisi jembatan berdasarkan rasio frekuensi	90
Pemeriksaan jembatan dengan instrumentasi dan penilaian berdasarkan frekuensi.....	100
BAB 5. KESIMPULAN	103
Kesimpulan.....	103
Saran	105
DAFTAR PUSTAKA	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sistem pengelolaan informasi kondisi jembatan pada BMS 1992	14
Gambar 2.1 Hubungan Antara BMS, Data, dan Perangkat Analisis	24
Gambar 2.2 Alur pemeriksaan kondisi jembatan	26
Gambar 2.3 Lokasi jalur Pantura	27
Gambar 2.4 Populasi jembatan gelagar dan rangka baja di Ruas Jalur Pantura Jawa	27
Gambar 2.5 Rasio perbedaan hasil penilaian kondisi jembatan di ruas jalan Pantura	28
Gambar 2.6 Frekuensi kerusakan elemen jembatan di ruas jalan Pantura	28
Gambar 2.7 Penyebab kegagalan jembatan	30
Gambar 2.8 Tahapan pemeriksaan jembatan	31
Gambar 2.9 Konsistensi dalam melakukan pemeriksaan Jembatan	33
Gambar 2.10 Alasan tidak dilakukannya kegiatan pemeriksaan jembatan	34
Gambar 2.11 Standar kompetensi inspektor	35
Gambar 2.12 Kualifikasi inspektor	36
Gambar 3.1 Family Tree BMS'92	48
Gambar 3.2 Pengamatan CIA terhadap kerusakan jembatan (model sistem pemeriksaan yang baru)	56
Gambar 3.3 Persepsi CIA terhadap nilai kondisi elemen jembatan (model sistem pemeriksaan yang baru)	57
Gambar 3.4 Variasi nilai kondisi dari pengamatan CIA (model sistem pemeriksaan baru)	57

Gambar 3.5 Rasio perbedaan penilaian inspektur berdasarkan parameter penilaian kondisi (model sistem pemeriksaan baru).....	58
Gambar 3.6 Profil indeks hasil pemeriksaan kondisi Jembatan Cilalawi - A.....	59
Gambar 3.7 Indeks persepsi para inspektur untuk Jembatan Cilalawi - A.....	59
Gambar 3.8 Pengamatan kerusakan jembatan oleh CIA pada elemen level 3	60
Gambar 3.9 Usulan pengembangan dalam kegiatan pemeriksaan jembatan	63
Gambar 4.1 Fundamental frequency.....	67
Gambar 4.2 Grafis dari formula empiris frekuensi alami berdasarkan panjang jembatan	68
Gambar 4.3 Kendaraan bergerak pada rantai jembatan (Jembatan Ciberes).....	69
Gambar 4.4 Skema kombinasi pembebanan (Jembatan Ciberes).....	71
Gambar 4.5 Jembatan matani: (a) tampak depan; (b) tampak memanjang.....	72
Gambar 4.6 Tampak udara Jembatan Matani.....	73
Gambar 4.7 Kondisi elemen Jembatan Matani:	74
Gambar 4.8 Pemeriksaan beton.....	75
Gambar 4.9 Pengukuran ketebalan selimut beton.....	77
Gambar 4.10 Titik pengukuran camber.....	77
Gambar 4.11 Pengukuran camber.....	77
Gambar 4.12 peralatan utama percobaan	78
Gambar 4.13 Skema pembebanan	79
Gambar 4.14 Susunan instrumentasi.....	80
Gambar 4.15 Skema pembebanan	81
Gambar 4.16 Posisi truk.....	81
Gambar 4.17 Dokumentasi iji beban statis.....	83

Gambar 4.18 Sensor akselero pada saat truk bergerak..... 83

Gambar 4.19 Frequency spectrum 84

Gambar 4.20 Tegangan dan lendutan akibat beban dinamis 84

Gambar 4.21 Time series getaran jembatan.....87

Gambar 4.22 Model geometri 88

Gambar 4.23 Frekuensi alami pada analisis modal 88

Gambar 4.24 Geometeri balok artifisial 89

Gambar 4.25 Program pemeliharaan vs Rasio K.....97

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kriteria Penilaian Terhadap Elemen Jembatan16

Tabel 1.2 Kriteria skrining secara umum18

Tabel 2.1 Pengembangan BMS Internasional..... 24

Tabel 2.2 Contoh cara pengisian form penilaian kondisi dengan menggunakan
BMS'9225

Tabel 2.3 Persentase Asumsi Surveyor Terhadap Nilai Kondisi Elemen.....37

Tabel 3.1 Urutan pemeriksaan elemen utama 43

Tabel 3.2 Hirarki elemen untuk jembatan tipe gelagar..... 45

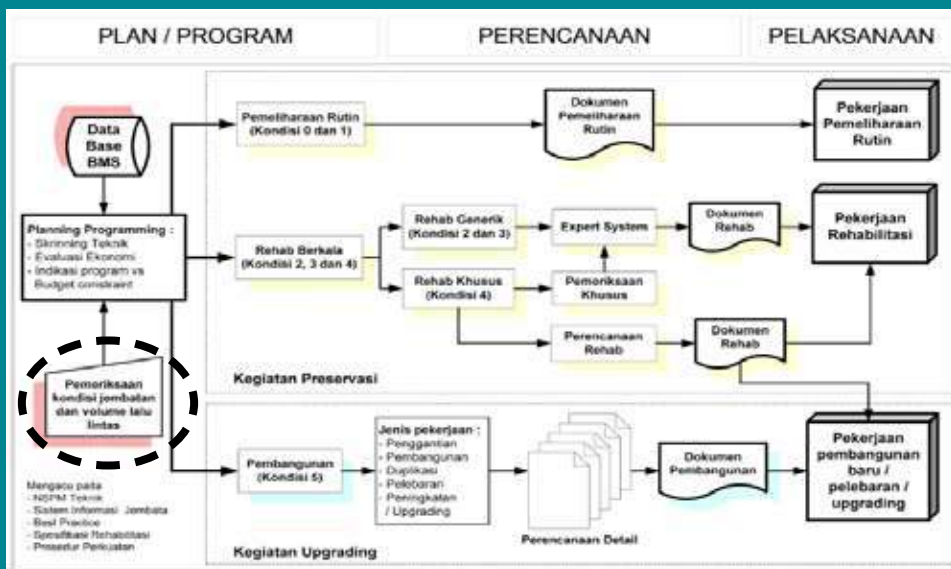
Tabel 3.3 Model hirarki elemen jembatan.....46-47

Tabel 3.4 Model hirarki elemen jembatan pada pemeliharaan rutin 49

Tabel 3.5 Kemungkinan kombinasi matriks dari nilai kondisi
(jenis Gelagar) 50-51

Tabel 3.6 Jembatan Gelagar Tipe I – Single Span 54

Tabel 3.7 Contoh hasil penilaian kondisi jembatan	55
Tabel 3.8 Level-1 Nilai kondisi jembatan cilalawi A (prosedur lama)	60
Tabel 3.9 Level-1 Nilai kondisi jembatan cilalawi A (Model sistem pemeriksaan baru)	61
Tabel 3.10 Deskripsi nilai kondisi jembatan.....	62
Tabel 4.1 Detail Informasi Jembatan Matani	73
Tabel 4.2 Pemeriksaan Beton	75
Tabel 4.3 Kedalaman retak beton	76
Tabel 4.4 Ketebalan selimut beton.....	76
Tabel 4.5 Camber jembatan.....	78
Tabel 4.6 Berat truk.....	78
Tabel 4.7 Konfigurasi beban	79
Tabel 4.8 Hasil pengukuran regangan statis	81
Tabel 4.9 Lendutan pada tengah bentang	82
Tabel 4.10 Frekuensi alami pada kombinasi 1.....	82
Tabel 4.11 Dynamic load amplification (DLA).....	86
Tabel 4.12 Ringkasan frekuensi jembatan Matani	90
Tabel 4.13 Rasio frekuensi alami (K%)	91-92
Tabel 4.14 Hubungan antara hasil pemeriksaan visual dengan rasio (K) hasil uji getaran jembatan.....	93-97
Tabel 4.15 Rasio nilai K vs Nilai kondisi pemeriksaan visual dan program pemeliharaan	98
Tabel 4.16 Nilai kondisi berdasarkan rasio frekuensi	99
Tabel 5.1 Perbandingan BMS'92 dan Model Baru	105



Gambar 1.1 Sistem pengelolaan informasi kondisi jembatan pada BMS 1992

1

SISTEM INFORMASI MANAJEMEN JEMBATAN

PENDAHULUAN

Sistem informasi manajemen jembatan merupakan suatu sistem yang didalamnya mengatur beberapa komponen pengelolaan jembatan. Komponen-komponen tersebut yaitu, sistem inspeksi jembatan, sistem manajemen data jembatan, dan sistem penanganan jembatan sebagai panduan dalam pengambilan keputusan untuk perencanaan dan pemrograman.

Komponen yang terdapat pada Sistem Informasi Manajemen Jembatan saat ini yaitu Bridge Management System (BMS) 1992 yaitu seperti terlihat pada **Gambar 1.1**.

Fungsi dari sistem pengelolaan informasi kondisi jembatan tersebut yaitu memudahkan dalam hal program penanganan yang akan dilakukan terhadap jembatan. Di dalam sistem ini terdapat sistem pemeriksaan kondisi jembatan yang menjadi ujung tombak dalam proses manajemen informasi jembatan. Dari sistem pemeriksaan ini didapatkan beberapa informasi seperti nilai kondisi elemen jembatan, nilai kondisi jembatan secara umum, dan data properti jembatan. Sehingga apabila terjadi kesalahan dalam melakukan penilaian kondisi jembatan, maka program penanganan jembatan akan menjadi tidak tepat.

PENILAIAN KONDISI JEMBATAN

BMS yang digunakan di Indonesia merupakan hasil kerjasama dengan Pemerintah Australia pada tahun 1992 dan masih digunakan sebagai panduan dalam pemeriksaan jembatan di Indonesia sampai dengan saat ini.

Dalam BMS 1992 untuk pemeriksaan detail dan evaluasi kondisi jembatan, struktur dibagi atas 5 level hierarki elemen, nilai tertinggi adalah level 1 yaitu jembatan itu sendiri, dan level terendah adalah level 5, yaitu elemen kecil secara individual dan bagian-bagian jembatan. Untuk elemen yang rusak, maka perlu diberikan penilaian kondisi.

Sistem penilaian elemen yang rusak terdiri atas serangkaian pertanyaan mengenai kondisi struktur (S), tingkat kerusakan (R), kuantitas kerusakan (K), fungsi elemen (F), dan pengaruh kerusakan terhadap elemen lain (P). Setiap nilai diberi angka 1 dan 0 pada setiap level hierarki jembatan, mulai dari level terendah (level 5) sampai dengan level tertinggi (level 1), elemen atau kelompok elemen dinilai dengan diberikan suatu Nilai Kondisi antara 0 dan 5. Angka-angka tersebut merupakan jumlah dari kelima nilai yang ditentukan menurut kriteria yang diberikan pada **Tabel 1.1**.

Setelah penilaian elemen pada level 5, 4 atau 3, Nilai Kondisi untuk elemen pada level yang lebih tinggi dalam hierarki ditentukan dengan cara mengevaluasi sejauh mana kerusakan dalam elemen pada level yang lebih rendah berpengaruh terhadap elemen pada level yang lebih tinggi, apakah elemen ini dapat berfungsi dan apakah elemen lain pada level yang lebih tinggi dipengaruhi oleh kerusakan-kerusakan tersebut, sehingga diperoleh

Tabel 1.1 Kriteria Penilaian Terhadap Elemen Jembatan

Nilai	Kriteria	Nilai Kondisi
Struktur (S)	Berbahaya	1
	Tidak Berbahaya	0
Kerusakan (R)	Parah	1
	Tidak Parah	0
Kuantitas (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 mempengaruhi elemen lain	0
Nilai Kondisi (NK)	$NK = S+R+K+F+P$	0 – 5

Sumber: BMS 1992

Nilai Kondisi Jembatan pada level 1 yang mana data ini dengan menggunakan Sistem Informasi Manajemen Jembatan dapat menentukan strategi pemeliharaan untuk jembatan yang bersangkutan.

Sistem penilaian kondisi elemen atau jembatan sebagai berikut:

- 0 Elemen / jembatan dalam kondisi baik dan tanpa kerusakan
- 1 Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeriksaan rutin
- 2 Elemen / jembatan mengalami kerusakan yang memerlukan pemantauan atau pemeliharaan berkala
- 3 Elemen / jembatan mengalami kerusakan yang memerlukan tindakan secepatnya
- 4 Elemen / jembatan dalam kondisi kritis
- 5 Elemen/ jembatan tidak berfungsi atau runtuh

PLANNING PROGRAMMING

Kegiatan penyusunan rencana program dilakukan dengan dasar hasil pemeriksaan jembatan dilapangan. Pemeriksaan jembatan yang dimaksud yaitu pemeriksaan secara detail visual dengan menggunakan Selain itu, kondisi volume lalu lintas yang melintas diatas jembatan juga menjadi salah satu parameter dalam pengambilan keputusan penanganan dalam rangka kebutuhan kapasitas jembatan.

Tujuan dari rencana dan program antara lain adalah:

- a. Mengidentifikasi jembatan-jembatan yang tidak memenuhi standar baik kondisi, lalu lintas, maupun kapasitas beban
- b. Menentukan strategi penanganan jangka panjang yang dapat menghasilkan nilai ekonomi yang terbaik untuk pemilik, pemakai dan kebijaksanaan pembangunan
- c. Menjamin bahwa semua penanganan dapat terpantau dan database jembatan selalu dalam keadaan terbaharui.

Dari hasil pengumpulan data lapangan tersebut kemudian dilakukan beberapa langkah sebagai berikut:

a. Skrining Teknis

Kegiatan ini dilakukan untuk melakukan penyaringan nilai kondisi jembatan yang membutuhkan prioritas penanganan berdasarkan hasil pemeriksaan visual di lapangan. Skrining Teknis meliputi penyaringan dari database terhadap jembatan-jembatan yang memerlukan suatu penanganan karena kurangnya kapasitas lalu lintas, kurangnya kekuatan atau kondisinya yang buruk.

Berikut ini merupakan kriteria skrining secara umum seperti dapat dilihat pada **Tabel 1.2**.

Tabel 1.2 *Kriteria skrining secara umum*

Parameter	Nilai	Kategori	Penanganan Indikatif
Kondisi	0-2	Baik sampai rusak ringan	Pemeriksaan Rutin atau Berkala
	3	Rusak Berat	Rehabilitasi
	4, 5	Kritis atau Runtuh	Penggantian
Lalu lintas	0	Cukup lebar	Pemeliharaan rutin
	5	Terlalu sempit	Duplikasi, penggantian, atau pelebaran
Beban	0	Cukup kuat	Pemeliharaan rutin
	5	Tidak memenuhi standar	Perkuatan atau penggantian

b. Evaluasi Ekonomi

Hanya jembatan-jembatan yang direkomendasikan untuk ditangani (penggantian, rehabilitasi, pelebaran, perkuatan, jembatan baru dan sebagainya) yang akan dievaluasi.

Evaluasi ekonomi menghitung:

- Efektivitas biaya dari penanganan seperti yang disarankan dalam skrining teknis, dan
- Rangking index untuk setiap jembatan sehingga dapat diurutkan sesuai dengan urutan prioritas

Kendala dari kegiatan Rencana dan Program yaitu keterbatasan dana. Dalam hal ini, dana yang tersedia untuk program penanganan dan rehabilitasi jembatan terbatas sehingga tidak semua jembatan dapat ditangani secara langsung. Solusi dari penangguhan penanganan tersebut yaitu dengan menentukan “Base Case”.

“Base Case” adalah suatu batas dimana penanganan masih dapat ditunda, yaitu sampai penanganan tersebut benar-benar dibutuhkan. Base Case bukanlah “Do Nothing” karena dalam Base case diasumsikan bahwa penanganan akan dilakukan apabila memang harus segera dilakukan. Yang dilakukan adalah menemukan apakah lebih ekonomis dengan menunda penanganan, ataukah penanganan tersebut harus dilakukan segera. Mengacu pada BMS’92, maka penundaan dapat dilakukan sampai dengan 10 tahun sesuai dengan tingkat kerusakan yang terjadi.

PEMELIHARAAN DAN REHABILITASI JEMBATAN

Dalam BMS 1992, pemeliharaan jembatan mencakup 3 (tiga) jenis pekerjaan yaitu:

a. Pemeliharaan Rutin:

Pemeliharaan Rutin pada dasarnya menjaga jembatan dalam keadaan seperti semula dan mencakup beberapa pekerjaan yang berulang, yang secara teknis cukup sederhana. Pemeliharaan rutin harus dimulai pada waktu jembatan selesai dibangun (jembatan

masih dalam keadaan baru) dan dilanjutkan seumur jembatan tersebut. Hal ini merupakan suatu pengalokasian dana yang efektif dan efisien dalam hal pemeliharaan.

Pemeliharaan Rutin Jembatan biasanya dimasukkan dalam pekerjaan Pemeliharaan Rutin Jalan dan dilaksanakan bersamaan dengan pemeliharaan rutin jalan tersebut.

Lingkup dari pemeliharaan rutin jembatan adalah sebagai berikut:

- Pembersihan secara umum
- Membuang tumbuhan liar dan sampah
- Pembersihan dan melancarkan drainase
- Penanganan kerusakan ringan
- pengecatan sederhana
- Pemeliharaan permukaan lantai kendaraan

b. Pemeliharaan Berkala

Pemeliharaan berkala adalah usaha untuk menjaga jembatan tetap dalam kondisi dan daya layan yang baik setelah pembangunan yang mencakup beberapa kegiatan yaitu:

- Kegiatan pemeliharaan berkala yang diduga, yang mencakup:
 - pengecatan ulang
 - Penggantian lapisan permukaan
 - Penggantian lantai kayu
 - Penggantian kayu jalur roda kendaraan
 - Pembersihan jembatan secara keseluruhan
 - Pemeliharaan perletakan/landasan
 - Penggantian sambungan siar muai/ expansion joint

-
- Perbaikan sederhana, yang mencakup:
 - Penggantian bagian-bagian kecil dan elemen yang kecil
 - Perbaikan tiang dan sandaran
 - Perawatan bagian-bagian yang bergerak
 - Perkuatan bagian yang struktural
 - Perbaikan tebing yang longsor dan terkena erosi
 - Perbaikan bangunan pengaman yang sederhana

c. Rehabilitasi dan Perbaikan Besar

Rehabilitasi dan perbaikan besar dilakukan untuk mengembalikan kondisi jembatan sesuai dengan daya layannya yang mencakup beberapa kegiatan seperti:

- Penggantian elemen utama (Lantai, Gelagar, Pilar, Kepala Jembatan)
- Perkuatan pada elemen utama
- Perbaikan besar pada elemen-elemen struktural pada jembatan

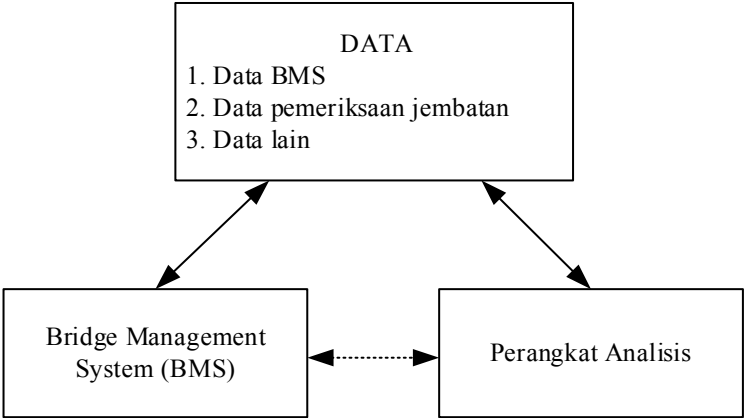
Sebagai tambahan, pekerjaan penunjang terkadang dilakukan agar jembatan tetap berfungsi sampai menunggu adanya dana untuk perbaikan atau penggantian. Tingkat pelayanan jembatan yang mendapat penunangan biasanya lebih rendah daripada jembatan asalnya. Hal ini dilaksanakan untuk sementara waktu saja, tergantung dari pelaksanaan perbaikan besar atau perencanaan untuk penggantian jembatan baru. ■

2

KAJIAN PENGUNAAN BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM 1992

PENDAHULUAN

Menurut Sanford (1999), peran utama dari sistem manajemen jembatan adalah untuk mengelola dan mengatur laporan inspeksi jembatan dan merekam jenis kerusakan untuk memberikan masukan kepada keputusan pemeliharaan dan penanganan yang akan dilakukan. Selain itu, BMS berperan untuk menyediakan prosedur yang sistematis untuk menghadapi pemeliharaan, perbaikan, dan rehabilitasi jembatan. BMS mencakup banyak komponen data seperti laporan inspeksi jembatan, alat peng analisis data, dan alat untuk identifikasi dan pemilihan kegiatan untuk mengelola sistem jembatan dalam suatu daerah. Berikut ini merupakan hubungan antara BMS, data, dan perangkat analisis.



Gambar 2.1 Hubungan Antara BMS, Data, dan Perangkat Analisis
Sumber : Sanford (1999)

Di dalam perangkat analisis, terdapat input data berupa hasil pemeriksaan visual, kriteria penentuan tingkat kerusakan, dan jenis penanganan yang akan dilakukan.

Menurut Syamsudin (2003), secara garis besar, pengelolaan jembatan adalah suatu sistem yang mengelola jembatan, mulai dari kegiatan pengumpulan data lapangan (cara pemeriksaan/survei) dan pemrosesan data, yaitu: penilaian kondisi, skrining, pemeringkatan, penanganan dan mekanisme penyimpanan data jembatan. Luaran dari proses tersebut berupa daftar kebutuhan penanganan dan peringkat prioritas penanganan sesuai dengan tingkat kepentingannya, yang selanjutnya digunakan sebagai salah satu bahan dalam menyusun usulan rencana program penanganan jembatan.

Berikut ini merupakan beberapa sistem pemeriksaan dan penilaian kondisi jembatan yang digunakan diberbagai negara seperti terlihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Pengembangan BMS Internasional

Negara	Nama Sistem	Penyusun
Amerika	Pontis	Thomson, et al. (1998)
Amerika	BRIDGIT	Hawk dan Small (2002)
	Finnish	Soderqvist dan Veijola (1998)
	Danish	Lauridsen, et al. (1998)
Jerman	-	Haardt (2002)
Jepang	-	Miyamoto, et al. (2000)

Sumber : Suksuwan dan Hadikusumo (2010)

Menurut Suksuwan dan Hadikusumo (2010), penggunaan BMS apabila tidak dilakukan oleh ahli yang memadai akan memberikan dampak yang signifikan terhadap hasil pemeriksaan kondisi jembatan. Maka penilaian ahli terhadap kerusakan yang terjadi merupakan hal yang mutlak dilakukan selain dari penilaian inspektor di lapangan.

Berdasarkan beberapa kajian diatas, maka pemeriksaan jembatan merupakan bagian penting dari suatu sistem manajemen jembatan, sebagai bentuk penyampaian informasi secara aktual tentang kondisi jembatan.

SISTEM PENILAIAN KONDISI DENGAN BMS 1992

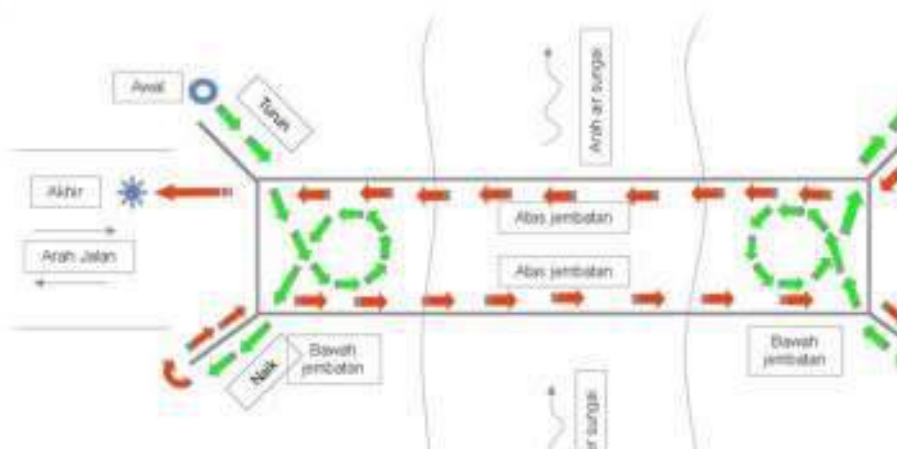
Penilaian kondisi dengan menggunakan metode BMS 1992 memiliki 5 (lima) tahapan hirarki penilaian. Masing-masing dalam tahapan tersebut menjelaskan nilai kondisi mulai dari elemen tunggal dengan lokasi tertentu (Level-5), lalu gabungan antar elemen sejenis (Level 4 – 3), kemudian elemen gabungan (Level 2) dalam satu komponen (contoh: bangunan atas, bawah, dan aliran sungai), kemudian yang terakhir yaitu penilaian elemen secara keseluruhan (Level-1) yaitu jembatan, seperti terlihat pada **Tabel 2.2** berikut.

Tabel 2.2 Contoh cara pengisian form penilaian kondisi dengan menggunakan BMS'92

Defective Element		Defect		Location				Level 5					Level 3 - 4							
Code	Description (optional)	Code	Description (optional)					Condition Mark					Condition Mark							
				A/B/C	X	Y	Z	S	R	K	F	P	NK	S	R	K	F	P	NK	
4.462	BTG. TEPI BWH	302	KARAT	B5	2			1												
4.461	BTG. TEPI ATAS	302	KARAT	B5				1												
4.463	BTG. DIAGONAL	302	KARAT	B5	7			1												
4.463	BTG. DIAGONAL	303	PERUBAHAN BENTUK	B5	7															
4.622	SANDARAN	302	KARAT	B5		1	1	1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2	
4.612	PERLETAKAN	712	ELEMEN HILANG	A1		1			1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	3
		712	ELEMEN HILANG	A1		2			1	1	1	0	0	3						
3.210	ALIRAN SUNGAI	503	PENBIKISAN												1	1	1	0	1	4
4.505	LANTAI PERMUKAAN	723	BERGELOMBANG												1	1	1	0	1	4

Sistem penilaian tersebut mengalami beberapa kendala di lapangan, dimana dengan sistem yang penilaiannya berhirarki dari level 5 ke level 1 berpotensi sangat besar terjadi kesalahan dalam hal penentuan kriteria penilaiannya. Umumnya beberapa elemen yang tidak memiliki kontribusi dalam menentukan kegagalan struktur dominan dalam isian formulir pemeriksaan, diantaranya seperti kerusakan pada tiang sandaran, dan permukaan aspal, sehingga penilaian nilai kondisi jembatan menjadi subjektif.

Alur pemeriksaan jembatan yang ada dalam pedoman pemeriksaan jembatan seperti pada **Gambar 2.2** cukup sulit untuk dilakukan terkait beberapa kondisi jembatan yang tidak memiliki akses pemeriksaan. Sehingga perlu dilakukan penyesuaian terhadap kondisi tersebut, agar dapat memudahkan inspektor dalam melakukan pemeriksaan jembatan di lapangan.



Gambar 2.2 Alur pemeriksaan kondisi jembatan

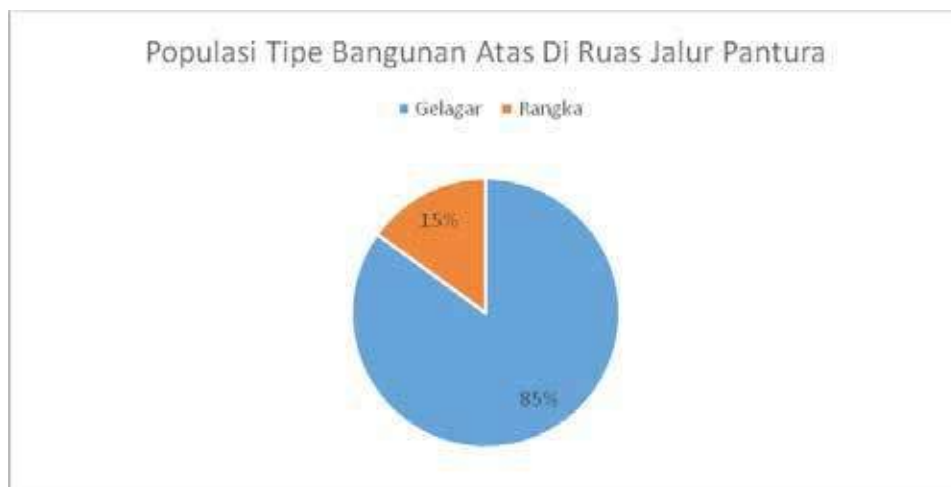
PENILAIAN KONDISI JEMBATAN PADA RUAS PANTURA JAWA

Pantura merupakan ruas jalan nasional yang terletak di sisi utara Pulau Jawa. Jalur ini sangat ramai digunakan, terutama sebagai jalur utama perpindahan barang dan komoditas lainnya. Seiring dengan bertambahnya volume lalu lintas pada ruas tersebut, maka kondisi jalan dan jembatan perlu diperhatikan untuk memenuhi standar pelayanan. Kondisi jembatan didapatkan dengan melakukan survey kondisi jembatan secara detail.



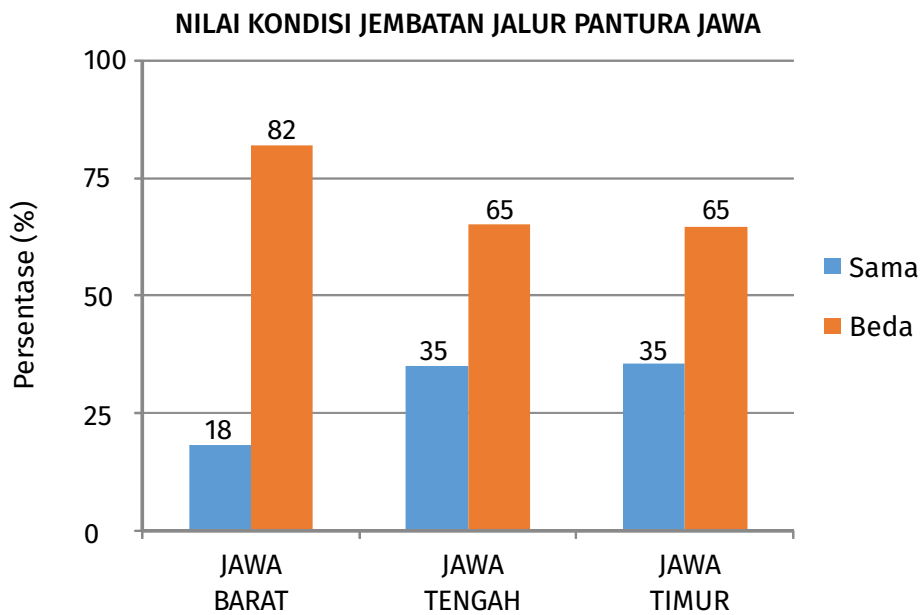
Gambar 2.3 Lokasi jalur Pantura

Populasi jembatan di ruas Pantura Jawa yaitu terdiri dari jembatan tipe gelagar (85%), dan jembatan rangka (15%), seperti terlihat pada **Gambar 2.4**. Berdasarkan data sekunder yang dikumpulkan, hasil pemeriksaan jembatan yang dilakukan oleh Balai Jembatan, Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan (Pusjatan), dan Direktorat Jenderal Bina Marga (BM), menunjukkan bahwa terdapat perbedaan hasil penilaian mengenai nilai kondisi jembatan di ruas Pantura Jawa.



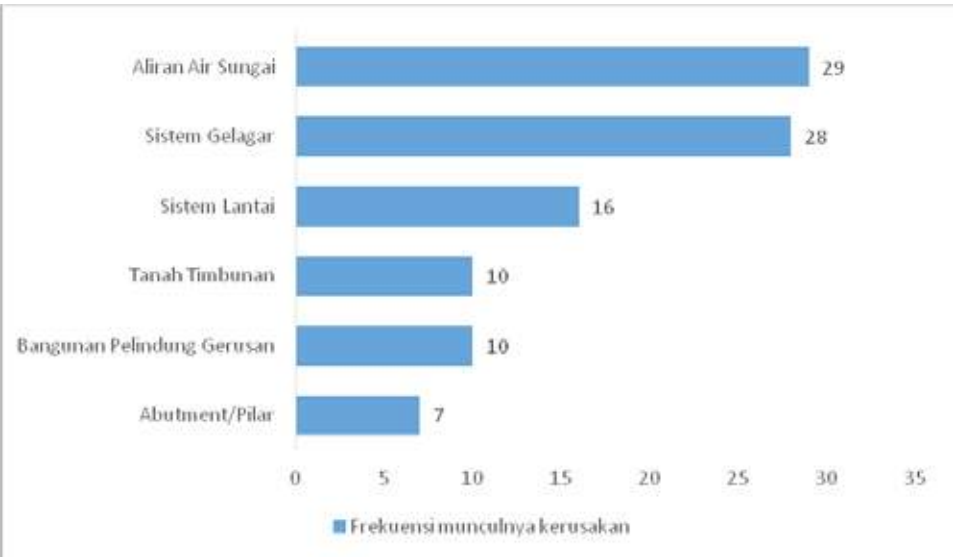
Gambar 2.4 Populasi jembatan gelagar dan rangka baja di Ruas Jalur Pantura Jawa

Berdasarkan perbandingan kedua data tersebut, maka didapatkan rasio perbandingan antara Pusjatan dengan BM, seperti terlihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Rasio perbedaan hasil penilaian kondisi jembatan di ruas jalan Pantura

Dari hasil analisis data sekunder, didapatkan beberapa jenis elemen yang dominan mengalami kerusakan. Beberapa elemen yang dominan mengalami kerusakan seperti terlihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Frekuensi kerusakan elemen jembatan di ruas jalan Pantura

Kerusakan dominan terjadi pada daerah aliran air sungai dan sistem gelagar. Pada elemen aliran air sungai, pada umumnya terjadi kerusakan berupa potensi terjadinya gerusan, penumpukan sampah/kotoran, dan endapan. Sedangkan untuk sistem gelagar, terjadi kerusakan berupa keropos, dan mengalami retak akibat pembebanan berlebih.

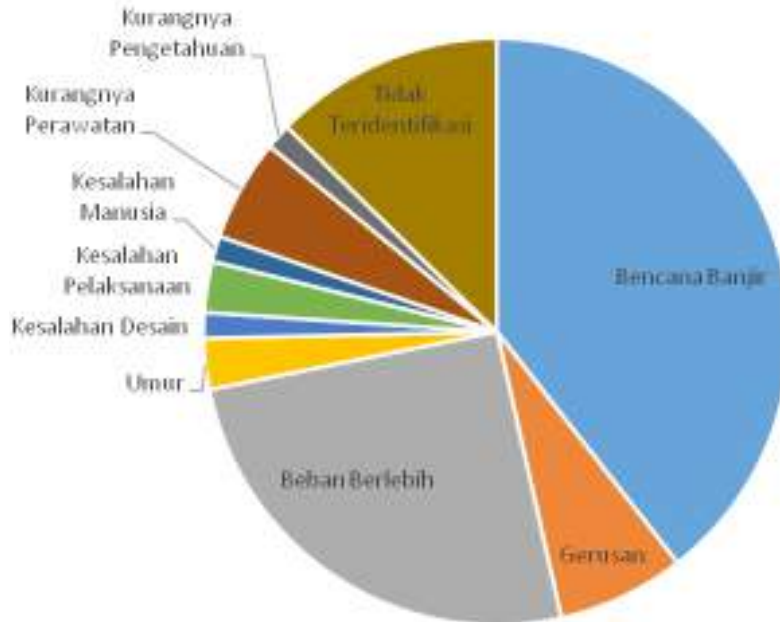
EVALUASI KASUS KEGAGALAN JEMBATAN DI INDONESIA

Jembatan merupakan bagian dari jalan yang memiliki peran penting dalam mendukung jaringan jalan, dan membantu dalam perekonomian suatu daerah. Penurunan kondisi jembatan di Indonesia, menjadi satu tugas penting kepada para penyelenggara untuk mempertahankan kondisi jembatan agar tetap sesuai dengan umur rencana jembatan. Diantaranya dengan melakukan beberapa kegiatan seperti perawatan, dan rehabilitasi elemen jembatan. Apabila kegiatan perawatan dan rehabilitasi jembatan tidak dilakukan dengan tepat, maka progress penurunan nilai kondisi akan semakin cepat.

Beberapa kasus kegagalan jembatan terjadi di Indonesia. Diantaranya yaitu Jembatan Kutai Kartanegara yang terletak di Tenggarong, Kalimantan Selatan, yang mengalami keruntuhan pada saat pemeliharaan jembatan. Berdasarkan informasi yang dikumpulkan melalui studi literatur, terdapat beberapa penyebab terjadinya kegagalan pada jembatan dalam masa layannya. Penyebab dari terjadinya kegagalan tersebut diantaranya yaitu bencana alam, dan beban berlebih seperti terlihat pada **Gambar 2.7**. Berdasarkan data yang diambil antara tahun 2004 sampai dengan 2014.

EVALUASI PENGGUNAAN BMS'92 SEBAGAI PANDUAN PEMERIKSAAN JEMBATAN

Sejak tahun 1992, Indonesia menggunakan *Bridge Management System* yang juga digunakan oleh pemerintah Australia pada saat itu. Sistem penilaian kondisi ini terbagi menjadi 5 hirarki penilaian mulai dari elemen jembatan individu sampai dengan level jembatan secara keseluruhan. Hirarki penilaian ini memiliki 5 (lima) kriteria penilaian yang menjadi penentu nilai kondisi suatu elemen baik secara individu maupun keseluruhan. Lima nilai tersebut terdiri dari Struktur (S), Tingkat Kerusakan (R), Kuantitas (K), Fungsi (F), dan Pengaruh (P).



Gambar 2.7 Penyebab kegagalan jembatan

1. Nilai Struktur, untuk menilai apakah struktur dalam kondisi bahaya atau tidak.
2. Nilai Kerusakan, untuk menilai parah atau tidaknya elemen dengan kerusakan yang ada.
3. Nilai Kuantitas, untuk menilai kuantitas suatu kerusakan apakah kurang atau lebih dari 50% luas, volume elemen yang ditinjau.
4. Nilai Fungsi, untuk menilai apakah elemen yang ditinjau masih berfungsi atau tidak.
5. Nilai Pengaruh, untuk menilai apakah kerusakan yang terjadi pada elemen yang ditinjau akan berpengaruh kepada elemen lain yang ada dalam satu kesatuan struktur jembatan.

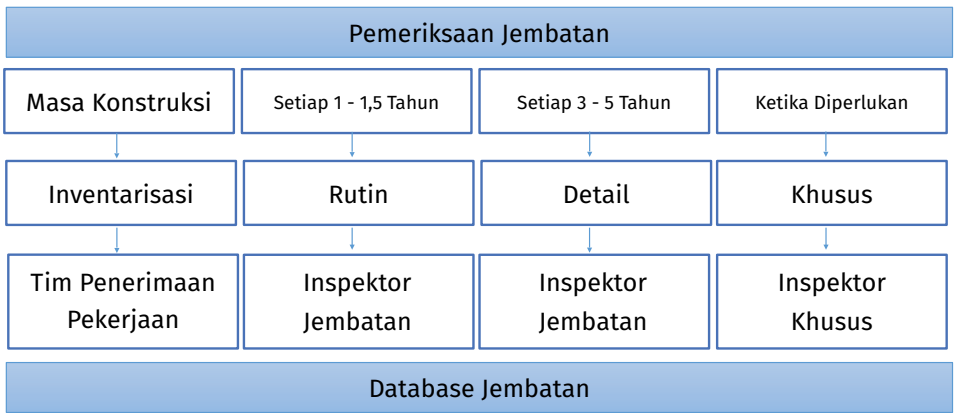
Didalam BMS'92 secara lengkap disampaikan jenis kerusakan dan penyebabnya berdasarkan elemen jembatan yang ada seperti elemen beton,

baja, kayu, dan elemen pendukung lainnya. Namun dalam pelaksanaannya, BMS'92 masih terkendala oleh jumlah tenaga ahli yang berpengalaman dan tersertifikasi. Selain itu, kriteria penilaian Fungsi (F) dan Pengaruh (P) masih memiliki celah penilaian yang subjektif, karena tidak dilengkapi dengan contoh kasus dilapangan. Dengan kondisi tersebut, maka perlu dilakukan pengembangan terkait dengan penilaian kondisi jembatan.

Evaluasi yang dilakukan diantaranya dengan melakukan penyebaran kuesioner, wawancara ahli, dan kegiatan Focused Group Discussion (FGD). Penyebaran kuesioner dilakukan melalui pos yang disebarakan ke otoritas pengelola jalan dan jembatan di Indonesia. Wawancara ahli dilakukan dengan kunjungan langsung, dan kegiatan FGD dilakukan di Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Bandung, dengan mengundang otoritas pengelola jembatan di Jawa Barat.

Tahapan Pemeriksaan Jembatan

Sistem pengumpulan data kondisi jembatan dalam mendukung sistem manajemen asset jembatan sesuai BMS '92 terdiri dari beberapa tahap dan merupakan strategi optimal untuk menghasilkan penanganan yang terbaik dalam koridor pendanaan yang disediakan. Pengumpulan data kondisi jembatan dilakukan melalui beberapa tahapan inspeksi seperti tersaji pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Tahapan pemeriksaan jembatan

Sistem Database kondisi jembatan ini dikembangkan pada kurun waktu 1989-1992. Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahapan inspeksi jembatan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Inventarisasi: dilakukan sekali seumur jembatan kecuali ada perubahan informasi properties jembatan. Data yang dikumpulkan berupa data administrasi, geometri jembatan dan kondisi struktur jembatan secara umum (pada level 2 sistem hirarki elemen jembatan). Data kondisi jembatan diisi secara umum dan tidak menggunakan prosedur seperti dijelaskan pada Inspeksi Detail jembatan BMS'92 yang dikhususkan menentukan kondisi jembatan.
- b. Inspeksi Detail: dilakukan sekali dalam 5 tahun atau dapat dilakukan lebih cepat menjadi 3 tahun apabila diperlukan mendesak. Biasanya jembatan kayu yang mengalami penurunan kondisi lebih cepat dibandingkan jembatan baja atau beton memerlukan Inspeksi Detail lebih cepat. Data yang dikumpulkan berupa data kondisi struktural dari element jembatan.
- c. Inspeksi Rutin: dilakukan setiap tahun. Inspeksi ini dilakukan oleh Tim Pemeliharaan Rutin saat Pemeliharaan Rutin dilakukan. Inspektor mencatat data kerusakan yang memerlukan Pemeliharaan Rutin Berat akan datang. Rutin Inspeksi rutin mencover dan memastikan kondisi jembatan yang tidak dijadwalkan dilakukan Inspeksi Detail dalam periode 5 tahunan selalu dalam kondisi terkontrol baik. Inspektor yang melakukan Pemeliharaan Rutin di lapangan dapat melaporkan ke kantor apabila jembatan mengalami kerusakan lebih parah dari informasi di dalam database jembatan dan meminta InspeksiDetail dilakukan dilakukan lebih cepat.
- d. Inspeksi Khusus: merupakan inspeksi yang diperlukan apabila saat Inspeksi Detail dilakukan memerlukan peralatan pengujian-pengujian.

Strategi pengumpulan data sesuai dengan sistem BMS '92, kegiatan Inspeksi dan kegiatan Penanganan Jembatan dilakukan dalam bentuk kontraktual atau swakelola. Untuk Inspeksi Kondisi Jembatan biasanya dilakukan oleh Tim atau Kru yang berbeda. Inspector hanya mengumpulkan data jembatan dan melaporkan ke kantor pusat dan kemudian ditentukan rencana penanganan.

Tingkat konsistensi dalam melaksanakan tahapan pemeriksaan jembatan cukup rendah. Hal ini ditunjukkan dengan masih cukup banyaknya pengelola jembatan yang tidak melakukan kegiatan pemeriksaan jembatan secara rutin, seperti terlihat pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 Konsistensi dalam melakukan pemeriksaan Jembatan

Sebanyak kurang lebih 36% otoritas yang berwenang tidak melakukan pemeriksaan jembatan secara rutin, dan sekitar 16% otoritas tidak melakukan pemeriksaan jembatan. Terlihat bahwa masih kurangnya kegiatan pemeriksaan jembatan di beberapa daerah di Indonesia.

Terdapat beberapa alasan mengapa pengelola tidak melakukan pemeriksaan kondisi jembatan, seperti terlihat pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2.10 Alasan tidak dilakukannya kegiatan pemeriksaan jembatan

Sekitar 40% responden berpendapat bahwa tidak dilakukannya kegiatan pemeriksaan jembatan dikarenakan oleh keterbatasan dana. Namun hal ini terlihat bertentangan dengan Undang-Undang No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan, Pasal 30 Ayat 1 butir b, yang menyatakan bahwa penyelenggara jalan wajib memrioritaskan pemeliharaan, perawatan, dan pemeriksaan jalan (termasuk jembatan) secara berkala untuk mempertahankan tingkat pelayanan jalan sesuai dengan standar pelayanan minimal yang ditetapkan. Maka, seharusnya dana kegiatan sudah dapat dialokasikan sesuai dengan prioritasnya.

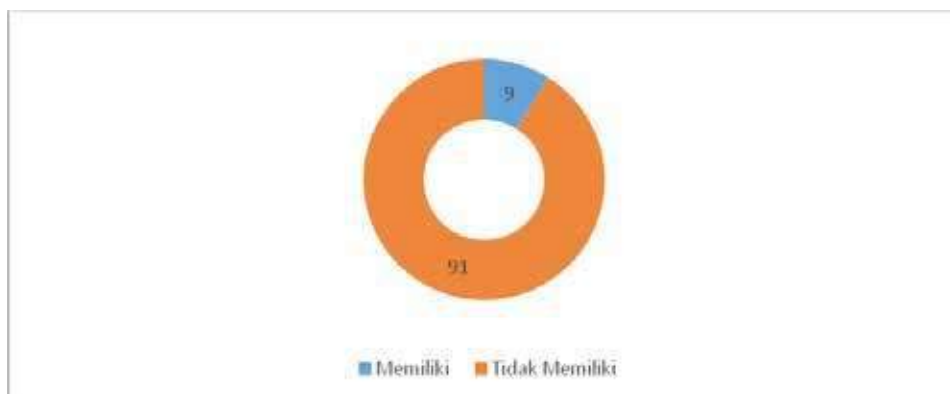
Keterbatasan SDM menjadi salah satu isu dalam kegiatan pengelolaan jembatan. Dalam hal ini, perlu dilakukan kegiatan pelatihan secara berkala, agar terbentuk regenerasi inspektor jembatan.

Ketersediaan Inspektor Jembatan

Kebutuhan inspektor jembatan di Indonesia meningkat seiring dengan bertambahnya populasi jembatan di Indonesia. Namun regenerasi inspek-

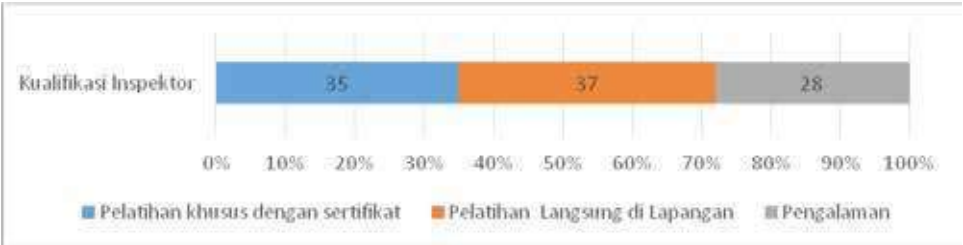
tor berjalan lambat, sehingga kondisi saat ini jumlah inspektur jembatan di Indonesia sangat terbatas. Berdasarkan hasil koordinasi dengan beberapa otoritas jembatan di Indonesia, maka didapatkan data ketersediaan inspektur di beberapa wilayah di Indonesia. Untuk Ruas Jalan Nasional, jumlah inspektur berkisar antara 3 – 4 orang per wilayah, sedangkan untuk wilayah Provinsi, Kota, dan Kabupaten jumlah inspektur kurang dari 3 orang atau sampai tidak ada sama sekali.

Kondisi ini masih sangat jauh dari harapan, mengingat jumlah jembatan di Indonesia saat ini mencapai kurang lebih 660 km/35.000 jembatan (Jalan Nasional 325 Km/16962 jembatan dan Provinsi 335 Km/18.038 jembatan). Sedangkan jembatan pada ruas Jalan Kabupaten dan Jalan Kota adalah 400km/54.000 jembatan (Vaza, 2012). Selain itu, jumlah inspektur yang memiliki standar kompetensi sangat terbatas. Berdasarkan hasil survey yang dilakukan, jumlah inspektur dengan standar kompetensi yaitu sekitar 9% dari total 85 responden yang berpartisipasi seperti terlihat pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Standar kompetensi inspektur

Kondisi diatas merupakan gambaran yang cukup jelas, dimana sebagian besar inspektur masih belum memiliki standar kompetensi, sehingga hasil pemeriksaan yang telah dilakukan memiliki tingkat subjektifitas yang tinggi. Beberapa kualifikasi kompetensi yang dimiliki oleh inspektur jembatan saat ini yaitu beberapa telah mengikuti pelatihan dengan sertifikat, dilatih langsung dilapangan, dan pengalaman sebagai inspektur jembatan.



Gambar 2.12 Kualifikasi inspektor

Mengingat jumlah jembatan yang ada cukup banyak sehingga strategi pengumpulan data secara berkesinambungan perlu dilakukan. Strategi ini juga perlu didukung dengan standar kompetensi inspektor sehingga data kondisi jembatan yang dikumpulkan tersebut menjadi lebih objektif penilaiannya, yang kemudian dapat dievaluasi dalam rangka kebutuhan Sistem Manajemen Informasi dan pengamanan asset sehingga jembatan dapat berfungsi sesuai rencana dan sistem jaringan jalan selalu dalam kondisi prima.

Subjektifitas Penilaian Kondisi Jembatan

Untuk membuktikan adanya subjektivitas dalam penilaian kondisi, maka dilakukan uji coba kepada 10 inspektor jembatan pada satu jembatan di daerah Purwakarta, Jawa Barat, yaitu jembatan Cilawati A.

Berikut ini merupakan hasil penilaian kondisi dengan penilaian kondisi dengan BMS 1992 yang telah dilakukan oleh 10 orang surveyor dari Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan. Dimana terdapat cukup banyak perbedaan dalam melakukan penilaian kondisi di setiap elemen jembatan yang ada.

Berdasarkan hasil pemeriksaan dengan BMS 1992, terdapat cukup banyak perbedaan penilaian elemen jembatan antara surveyor satu dengan yang lain. Hal ini cukup jelas menunjukan adanya subjektifitas yang tinggi dalam melakukan penilaian kondisi elemen, komponen, dan jembatan secara keseluruhan.

Hasil Evaluasi BMS’92

Tingkat kepentingan penggunaan BMS’92 sebagai pedoman dalam melakukan penilaian kondisi jembatan di berbagai daerah di Indonesia sudah cukup baik. Namun, penggunaannya di lapangan tidak sesuai dengan harapan, dimana

Tabel 2.3 *Persentase Asumsi Surveyor Terhadap Nilai Kondisi Elemen*

Uraian Elemen	Asumsi Surveyor Terhadap Nilai Kondisi Pada Elemen Jembatan Cilalawi B (%)					
	0	1	2	3	4	5
Aliran Sungai			20	60	20	
Bangunan Pengaman		10	10	70	10	
Tanah Timbunan	60	10	20	10		
Kepala Jembatan/Pilar	10	10	40	40		
Sistem gelagar	40	10	50			
Sistem Lantai			60	40		
Sambungan/ Siar muai			30	70		
Perletakan			10	70	20	

tidak semua penyelenggara jembatan mendokumentasikan kerusakan kedalam formulir BMS yang tersedia. Sebagian mendokumentasikan langsung dengan menggunakan kamera dan mencatat kerusakan pada buku atau kertas catatan saja.

Banyaknya elemen yang ditinjau dalam pemeriksaan dilapangan, menyebabkan pencarian kerusakan pada elemen menjadi sulit. Terutama elemen-elemen non-struktural, yang lebih dominan dicatat dalam formulir, dibandingkan kerusakan yang terjadi pada elemen strukturalnya. Sehingga penilaian kondisi menjadi subjektif, dan kurang dapat mewakili kondisi aktualnya dilapangan.

Beberapa kondisi di daerah, penanganan jembatan tidak dilakukan berdasarkan hasil skrining dari pemeriksaan visual dengan BMS’92, akan tetapi lebih kepada kebijakan pimpinan. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pemeriksaan yang dilakukan masih belum mewakili kondisi sebenarnya dilapangan.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka perlu dilakukan pengembangan pada BMS’92 khususnya dalam penilaian kondisi jembatan. Pengembangan sistem penilaian kondisi tersebut diharapkan dapat mengurangi tingkat subjektifitas penilaian. Sehingga data hasil pemeriksaan dilapangan dapat digunakan sebagai acuan penanganan jembatan.

PENILAIAN KONDISI BERBASIS PEMBOBOTAN ELEMEN

Beberapa metode dalam penentuan nilai kondisi dengan menggunakan sistem pembobotan telah dikaji dalam berbagai penelitian. Gatulli dan Chiaramonte (2005) menjelaskan bahwa sebuah prosedur penilaian kondisi jembatan berdasarkan pemeriksaan visual dikembangkan pada saat perencanaan dan desain awal dari BMS. Dalam penelitian yang dilakukan terdapat tipe jembatan, pemeriksaan visual dengan bantuan perangkat lunak, katalog kerusakan, dan ranking prioritas. Larsen dan Holst (2000) menjelaskan dalam bentuk strategi pemeliharaan jembatan, termasuk masalah teknis dan konsekuensi dalam segi ekonomis terhadap jembatan yang ada. Mereka menjelaskan muali dari pengumpulan data melalui hasil pemeriksaan jembatan di lapangan, dan data input ke dalam BMS untuk menentukan peringkat jembatan berdasarkan pemeliharaan dan perbaikan. Hean (2000) mengembangkan metode untuk pemeriksaan per segmen jembatan, agar pengumpulan data lebih efisien dalam penentuan pola kerusakan. Pemeriksaan per segmen menjelaskan kondisi elemen dan kuantitas yang dibutuhkan oleh sistem manajemen jembatan dan lokasi kerusakan. Sukuwan (2010) mengembangkan metode evaluasi kondisi dengan menggunakan sistem pembobotan untuk jembatan dengan struktur beton. Metode ini menjelaskan mengenai jenis kerusakan yang ada untuk setiap elemen jembatan, kemudian menentukan bobot dari tingkat kerusakan dan kuantitas kerusakannya.

Di Indonesia terdapat beberapa penelitian yang terkait dengan metode penilaian kondisi untuk jembatan. Hadi (2003) melakukan penelitian mengenai penilaian kondisi mengenai bangunan atas untuk jembatan kereta api, dengan pembobotan untuk setiap elemennya. Marsuki (2009) menggunakan sistem kriteria penilaian New York State Departement of Transportation (NYSDOT) yang digabungkan dengan pembobotan elemen jembatan dengan Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk mendapatkan nilai kondisi jembatan. Kostawan (2006) menggunakan metode AHP untuk menentukan bobot elemen jembatan dengan tipe bangunan atas rangka baja. ■

3

PENGEMBANGAN SISTEM PENILAIAN KONDISI JEMBATAN DENGAN METODE PEMBOBOTAN

UMUM

Kondisi data informasi kondisi jembatan di Indonesia akan menjadi kesatuan dalam sebuah sistem Database terpadu. Keterpaduan data tersebut membutuhkan akurasi data yang lebih objektif dalam hal penyampaian nilai kondisi jembatan sesuai dengan kondisi aktual dilapangan. Penilaian yang objektif akan memudahkan dalam menyusun kegiatan penanganan jembatan dan kebutuhan biaya lapangan yang dibutuhkan.

Dalam rangka pengembangan metode penilaian kondisi jembatan, maka perlu ada pengembangan terhadap metode penilaian kondisi, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap objektifitas hasil penilaian.

Saat ini, sistem penilaian dengan BMS'92 memiliki beberapa kekurangan berdasarkan hasil peninjauan ulang yang telah dilakukan, diantaranya yaitu:

1. Kesulitan dalam menemukan elemen yang mengalami kerusakan
2. Elemen non-struktural berkontribusi terhadap penilaian kondisi jembatan, sehingga penilaian kondisi jembatan menjadi subjektif
3. Kesulitan dalam menentukan penilaian pada kriteria S, R, K, F, dan P
4. Tingkat kepentingan antar elemen terhadap jembatan masih belum terlihat jelas
5. Hasil penilai kondisi jembatan (BMS'92) masih belum dapat menggambarkan kondisi jembatan yang sebenarnya.

PENGEMBANGAN BMS

Berdasarkan hasil evaluasi, maka perlu dilakukan beberapa pengembangan terhadap sistem penilaian kondisi jembatan yang ada, sebagai berikut:

- a. Urutan pemeriksaan yang disesuaikan dengan tingkat kepentingan elemen jembatan.
- b. Hirarki elemen non-struktural yang perlu dipisahkan menjadi kelompok elemen yang termasuk kedalam pemeliharaan rutin.
- c. Penambahan katalog kerusakan pada elemen jembatan, khususnya elemen struktural, untuk memudahkan inspektur dalam melakukan penilaian pada elemen jembatan yang diperiksa.
- d. Perbaikan pada formulir pemeriksaan dimana elemen non-struktural dan elemen struktural terpisah, dan tidak saling mempengaruhi penilaian kondisi antara kedua elemen tersebut.
- e. Pembobotan pada setiap elemen struktural jembatan, sebagai kontribusi dalam penilaian kondisi jembatan secara keseluruhan.
- f. Penyempurnaan dalam strategi pengumpulan data kondisi jembatan dilapangan.

URUTAN PEMERIKSAAN

Urutan dalam pemeriksaan kondisi jembatan seharusnya dilakukan sesuai dengan pedoman pemeriksaan yang ada, seperti terlihat pada **Gambar 2.2** sub bab 3.2. Namun, kondisi dilapangan memiliki variasi dalam tingkat kesulitan dalam melakukan pemeriksaan jembatan, sehingga memerlukan penyesuaian terhadap kondisi-kondisi yang tidak sesuai dengan pedoman pemeriksaan.

Berdasarkan hasil evaluasi mengenai elemen jembatan, maka didapatkan urutan pemeriksaan jembatan yang didasarkan kepada urutan/peringkat tertinggi dari elemen yang sering dilaporkan mengalami kerusakan. Selain itu, urutan pemeriksaan juga ditentukan berdasarkan tingkat kepentingan elemen terhadap jembatan. Berikut ini merupakan urutan pemeriksaan elemen jembatan, seperti terlihat pada tabel berikut:

Tabel 3.1 Urutan pemeriksaan elemen utama

Urutan Prioritas Pengecekan	Berdasarkan Tingkat Kerusakan Kerusakan Elemen	Berdasarkan Tingkat Kepentingan Elemen
1	Pondasi	Pondasi
2	Gelagar	Kepala Jembatan/Pilar
3	Sistem Lantai	Gelagar
4	Tanah Timbunan	Sistem Lantai
5	Bangunan Pelindung (Scouring)	Tanah Timbunan
6	Kepala Jembatan/Pilar	Bangunan Pelindung (Scouring)

Urutan pertama dalam pemeriksaan kondisi jembatan yaitu Elemen Pondasi, yang meliputi pemeriksaan kondisi struktur pondasi dan daerah aliran sungai (untuk kondisi jembatan yang berada diatas aliran sungai). Pada peringkat pertama, kegagalan jembatan disebabkan oleh elemen pondasi yang tergerus akibat aliran air sungai. Kegagalan struktur pondasi akan menyebabkan kegagalan elemen jembatan lainnya. Sehingga urutan pemeriksaan dapat dimulai dari pemeriksaan bangunan bawah jembatan (sub-structure) dan kondisi aliran sungai, yang kemudian dilanjutkan dengan melakukan pemeriksaan bangunan atas jembatan (superstructure).

HIRARKI ELEMEN JEMBATAN

Dasar dari penilaian dengan panduan BMS'92 yaitu elemen yang berhirarki dari mulai level 5 yaitu elemen tunggal pada jembatan (contoh: satu gelagar, satu perletakan karet, dll), sampai dengan elemen jembatan secara keseluruhan seperti terlihat pada **Tabel 3.2**.

Metode penilaian kondisi dengan BMS'92 bertahap untuk setiap level elemen tunggal (level 5). Penilaian dari masing-masing elemen tunggal tersebut kemudian menjadi penilaian kelompok elemen di level 4 dan 3, kemudian menjadi nilai kondisi komponen (bangunan atas, bangunan bawah, dan lain-lain), dan yang terakhir menjadi penilaian kondisi jembatan secara utuh.

Hal ini menjadi kendala dalam melakukan penilaian, karena elemen non-struktural juga menjadi unsur dalam penilaian kondisi jembatan secara keseluruhan. Dengan sistem penilaian tersebut, penilaian kondisi jembatan menjadi tidak objektif. Sebagai contoh, penilaian elemen non-struktural seperti tiang sandaran, lapis permukaan aspal, atau pipa cucuran air, menjadi pertimbangan dalam menilai kondisi jembatan. Sehingga apabila elemen non-struktural tersebut mengalami rusak berat sampai dengan kritis, penilaian kondisi jembatan akan terpengaruh secara langsung.

Hirarki elemen pada BMS'92 masih belum menggambarkan tingkat kepentingan antara elemen jembatan yang satu dengan lainnya. Tingkat kepentingan ini akan berpengaruh terhadap objektifitas penilaian kondisi elemen jembatan.

Selain itu, evaluasi terhadap elemen seperti sandaran horizontal tidak berbahaya terhadap struktur jembatan jika elemen tersebut mengalami kerusakan. Walaupun dari sisi pengguna jembatan, sandaran horizontal memiliki peran penting dan diperlukan, tetapi kerusakan pada sandaran horizontal adalah masalah yang sederhana dan dapat diperbaiki dengan pemeliharaan rutin. Sama halnya dengan perletakan, siar muai, karet penahan gempa, lateral stop dan pengaku, keberadaan elemen tersebut pada jembatan apakah memiliki peran penting?.

Tabel 3.2 Hirarki elemen untuk jembatan tipe gelagar

L-1 Jembatan	L-2 Komponen	L-3 Elemen utama	L-4 Elemen	Level-5 Sub Elemen
Jembatan Tipe Gelagar	Bangunan Atas	Sistem lantai	Lantai-xx	N/A
		Gelagar	Gelagar-xx	N/A
		Diafragma	Diafragma-xx	N/A
		Siar Muai	Siarmuai-xx	N/A
		Perletakan	Perletakan-xx	N/A
	Kepala Jembatan/ Pilar	Pile-cap	Pile-cap-xx	N/A
		Kepala Jembatan / Dinding Penuh	Kepala Jembatan / Dinding Penuh-xx	N/A
		Dinding sayap	Dinding sayap-xx	N/A
		Pengaku kolom	Pengaku kolom-xx	N/A
		Balok melintang	Balok melintang-xx	N/A
		Pedestal	Pedestal-xx	N/A
	Pondasi	Pile/Sumuran	Pile/Sumuran-xx	N/A
	Pelindung Gerusan	Pelindung Gerusan	Pelindung Gerusan	N/A
	Tanah Timbunan	Timbunan jalan pendekat	Jalan Pendekat-xx	N/A
		Dinding penahan tanah	Dinding penahan tanah-xx	N/A
		Drainase timbunan	Drainase timbunan-xx	N/A
	Aliran sungai	Tebing sungai	Tebing sungai-xx	N/A
		Aliran sungai utama	Aliran sungai utama -xx	N/A
		Daerah genangan banjir	Daerah genangan banjir-xx	N/A

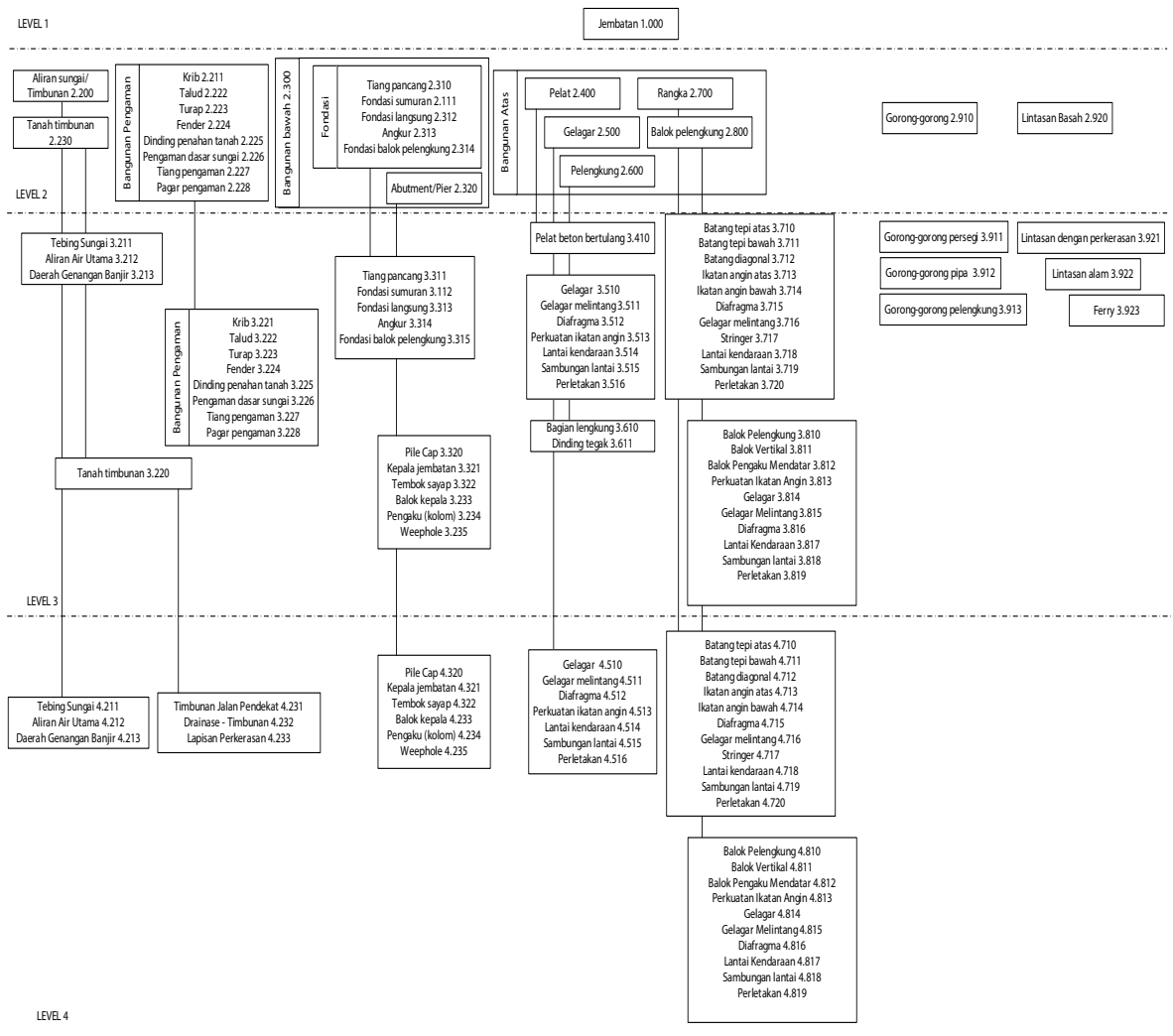
Note: -xx lokasi kerusakan. Level-4 adalah tingkat terendah dari hirarki di mana rating kondisi akan langsung berkontribusi terhadap tanda jembatan.

Pada **Tabel 3.3** menyajikan model hirarki elemen jembatan dimana kerusakan elemen jembatan secara tidak langsung menyebabkan kegagalan jembatan jika asal kerusakan bukan dari pemeliharaan rutin.

Tabel 3.3 Model hirarki elemen jembatan

KODE	LEVEL 1	KODE	LEVEL 2	KODE	LEVEL 3	KODE	LEVEL 4
1.000	Jembatan	2.200	Aliran sungai	3.211	Tebing Sungai	4.211	Tebing Sungai
				3.212	Aliran Air Utama	4.212	Aliran Air Utama
				3.213	Daerah Genangan Banjir	4.213	Daerah Genangan Banjir
		2.211	Krib/Pengarah Arus Sungai	3.221	Krib/Pengarah Arus Sungai		
		2.222	Talud	3.222	Talud		
		2.223	Turap	3.223	Turap		
		2.224	Fender	3.224	Fender		
		2.225	Dinding Penahan Tanah	3.225	Dinding Penahan Tanah		
		2.226	Pengamanan dasar sungai	3.226	Pengamanan dasar sungai		
		2.227	Tiang Pengaman	3.227	Tiang Pengaman		
		2.228	Pagar Pengaman	3.228	Pagar Pengaman		
		2.230	Tanah Timbunan	3.231	Timbunan Jalan Pendekat	4.231	Timbunan Jalan Pendekat
				3.232	Drainase - Timbunan	4.232	Drainase - Timbunan
				3.233	Lapisan Perkerasan	4.233	Lapisan Perkerasan
		2.310	Tiang Pancang	3.311	Tiang Pancang		
		2.311	Fondasi Sumuran	3.312	Fondasi Sumuran		
		2.312	Fondasi Langsung	3.313	Fondasi Langsung		
		2.313	Angkur	3.314	Angkur		
		2.314	Fondasi Balok Pelengkung	3.315	Fondasi Balok Pelengkung		
		2.320		3.320	Pile Cap	4.320	Pile Cap
				3.321	Kepala jembatan	4.321	Kepala jembatan
				3.322	Tembok sayap	4.322	Tembok sayap
				3.323	Balok kepala	4.323	Balok kepala
				3.324	Pengaku (kolom)	4.324	Pengaku (kolom)
				3.325	Weephole	4.325	Weephole

KODE	LEVEL 1	KODE	LEVEL 2	KODE	LEVEL 3	KODE	LEVEL 4
	2.400		Pelat	3.410	Pelat beton bertulang		
	2.500		Gelagar	3.510	Gelagar	4.510	Gelagar
				3.511	Gelagar Melintang	4.511	Gelagar Melintang
				3.512	Diafragma	4.512	Diafragma
				3.513	Perkuatan Ikatan Angin	4.513	Perkuatan Ikatan Angin
				3.514	Lantai Kendaraan	4.514	Lantai Kendaraan
				3.516	Sambungan lantai	4.516	Sambungan lantai
				3.517	Perletakan	4.517	Perletakan
	2.600		Pelengkung	3.610	Bagian Lengkung		
				3.611	Dinding Tegak		
	2.700		Rangka	3.710	Batang tepi atas	4.710	Batang tepi atas
				3.711	Batang tepi bawah	4.711	Batang tepi bawah
				3.712	Batang Diagonal	4.712	Batang Diagonal
				3.713	Ikatan Angin Atas	4.713	Ikatan Angin Atas
				3.714	Ikatan Angin Bawah	4.714	Ikatan Angin Bawah
				3.715	Diafragma	4.715	Diafragma
				3.716	Gelagar Melintang	4.716	Gelagar Melintang
				3.717	Stringer	4.717	Stringer
				3.718	Lantai Kendaraan	4.718	Lantai Kendaraan
				3.719	Sambungan lantai	4.719	Sambungan lantai
				3.720	Perletakan	4.720	Perletakan
	2.800		Balok pelengkung	3.810	Balok Pelengkung	4.810	Balok Pelengkung
				3.811	Balok Vertikal	4.811	Balok Vertikal
				3.812	Balok Pengaku Mendatar	4.812	Balok Pengaku Mendatar
				3.813	Perkuatan Ikatan Angin	4.813	Perkuatan Ikatan Angin
				3.814	Gelagar	4.814	Gelagar
				3.815	Gelagar Melintang	4.815	Gelagar Melintang
				3.816	Diafragma	4.816	Diafragma
				3.817	Lantai Kendaraan	4.817	Lantai Kendaraan
				3.818	Sambungan lantai	4.818	Sambungan lantai
				3.819	Perletakan	4.819	Perletakan
	2.910	Gorong-gorong		3.911	Gorong gorong Persegi		
				3.912	Gorong-gorong Pipa		
				3.913	Gorong-gorong Pelengkung		
	2.920	Lintasan Basah		3.921	Lintasan dengan Perkerasan		
				3.922	Lintasan Alam		
				3.923	Ferry / Ponton		



Gambar 3.1 Family Tree BMS'92

Gambar 3.1 menyajikan pengembangan model hirarki jembatan dengan membagi kebanyakan elemen jembatan ke dalam elemen level 3 dan untuk menentukan lokasi kerusakan jembatan ditentukan dalam elemen level 4.

Hal ini dapat dilakukan dengan mengevaluasi elemen jembatan yang mempengaruhi terhadap kinerja jembatan. Jumlah kerusakan jembatan diperoleh dari database jembatan yang sering muncul sebagai referensi untuk mengevaluasi pentingnya elemen jembatan.

Tabel 3.4 Model hirarki elemen jembatan pada pemeliharaan rutin

Kode	Elemen	Kode	Sub-elemen
3.110	Lantai	4.111	Lapisan permukaan
		4.112	Trotoar
		4.113	Pipa cucuran
3.120	Railing	4.121	Post
		4.122	Horizontal railing
		4.123	Railing support
		4.124	Parapet
3.130	Perlengkapan	4.131	Batas-batas ukuran
		4.132	Rambu-rambu dan tanda tanda
		4.133	Marka Jalan
		4.134	Papan Nama
		4.135	Patung
		4.136	Parapet / Tambok Sedada
		4.137	Lampu Penerangan
		4.138	Tiang Lampu
		4.139	Kabel Listrik
		4.140	Utilitas

KOMBINASI KEMUNGKINAN DARI INDIKATOR KONDISI

Jembatan pemeriksaan dilakukan oleh Calon Inspektur Ahli (CIA) Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, dimana jembatan yang diperiksa adalah Jembatan Cilalawi-A di jalan nasional antara Purwakarta-Padalarang. Tipe jembatan yang diperiksa adalah jembatan balok Gelagar, rincian tentang jembatan dapat dilihat pada foto di lampiran-A.

Evaluasi dilakukan untuk umpan balik dari hasil pemeriksaan. Ada 10 bentuk diisi oleh inspektur CIA. Dari 10 responden (CIA) yang diterima, tingkat akurasi nilai kondisi jembatan telah ditinjau dan dianggap perlu untuk mempersiapkan Validasi Matrix Elemen Penilaian oleh Ahli, yang dapat digunakan sebagai acuan pemeriksaan silang sebagai parameter dalam menentukan nilai kondisi jembatan yang dilakukan oleh inspektur. Matriks validasi dari elemen jembatan yang dikembangkan di tingkat-3 (L-3) hirarki BMS '92 ditunjukkan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 3.5 disediakan sebagai contoh untuk gelagar jembatan. Kombinasi pendapat ahli 'disajikan dalam tabel, di mana tidak ada rating 3 ditampilkan. Matriks ini dapat digunakan sebagai program pemeliharaan jembatan yang ideal. Pemeliharaan rutin ini dimaksudkan untuk elemen-elemen yang tidak

mengalami penurunan nilai kondisi lebih lanjut, sementara pemeliharaan rehabilitasi diperlukan untuk pekerjaan perbaikan elemen sehingga penilaian jembatan menjadi lebih baik (dengan penilaian yang lebih rendah). Pemeliharaan penggantian terdiri dari penggantian elemen-elemen, komponen atau bagian dari keseluruhan.

Tabel 3.5 Kemungkinan kombinasi matriks dari nilai kondisi (jenis Gelagar)

Elemen penting	S	R	K	F	P	C-Mark	Tindakan perbaikan
Lantai	0	0	0	0	0	0	-
	1	0	0	0	0	1	Rutin
	1	1	0	0	0	2	Rehabilitasi Ringan
	1	0	1	0	0	2	Rutin
	1	1	1	0	0	3	Rehabilitasi
	1	1	1	0	1	4	Penggantian
	1	1	1	1	1	5	Penggantian
Gelagar	0	0	0	0	0	0	-
	1	0	0	0	0	1	Rutin
	1	1	0	0	0	2	Rehabilitasi Ringan
	1	0	1	0	0	2	Rutin
	1	1	1	0	0	3	Rehabilitasi
	1	1	1	0	1	4	Perkuatan
	1	1	1	1	1	5	Penggantian
Diafragma	0	0	0	0	0	0	-
	1	0	0	0	0	1	Rutin
	1	1	0	0	0	2	Rehabilitasi
	1	0	1	0	0	2	Rutin
	1	1	1	0	0	3	Rehabilitasi
	1	1	1	1	0	4	Penggantian
Sambungan Siar Muai	0	0	0	0	0	0	-
	1	0	0	0	0	0	Rutin
	1	0	0	0	1	2	Rehabilitasi
	1	1	0	0	1	3	Rehabilitasi
	1	1	1	0	1	4	Rehabilitasi
	1	1	1	1	1	5	Penggantian
Perletakan	0	0	0	0	0	0	-
	1	1	0	0	1	3	Rehabilitasi
	1	1	1	0	1	4	Rehabilitasi

Elemen penting	S	R	K	F	P	C-Mark	Tindakan perbaikan
Pile-cap	0	0	0	0	0	0	-
	1	0	1	0	0	2	Rehabilitasi
	1	1	0	0	0	2	Rehabilitasi
	1	0	1	0	0	2	Rutin
	1	1	1	0	0	3	Rehabilitasi
Kepala Jembatan/Pilar/ Dinding Penuh	0	0	0	0	0	0	-
	1	0	0	0	0	1	Rutin
	1	0	1	0	0	2	Rutin
	1	1	0	0	0	2	Rutin
	1	1	1	0	0	3	Rehabilitasi
	1	1	1	1	0	4	Rehabilitasi
	1	1	1	0	0	3	Rehabilitasi
Dinding sayap	0	0	0	0	0	0	-
	1	0	1	0	0	2	Rutin
	1	1	0	0	0	2	Rutin
Pengaku kolom	0	0	0	0	0	0	-
	1	0	1	0	0	0	Rutin
	1	1	0	0	0	2	Rutin
	1	1	1	0	0	3	Rehabilitasi
	1	1	1	0	0	3	Rehabilitasi
Balok melintang	0	0	0	0	0	0	-
	1	0	1	0	0	2	Rutin
	1	1	0	0	0	2	Rutin
	1	1	0	0	0	3	Rehabilitasi
Pedestal	0	0	0	0	0	0	-
	1	1	0	0	0	2	Rutin
	1	1	0	0	0	2	Rutin
Pile/Sumuran	0	0	0	0	0	0	-
	1	1	0	0	0	2	Rutin
	1	0	1	0	0	2	Rutin
	1	1	1	0	0	2	Rutin
	1	1	1	0	0	3	Rehabilitasi
	1	1	0	1	0	3	Rehabilitasi
	1	1	1	0	0	3	Rehabilitasi
Pelindung gerusan	0	0	0	0	0	0	-
	1	0	1	0	0	2	Rutin
	1	1	0	0	0	2	Rutin
	1	1	1	0	0	3	Rehabilitasi

Elemen penting	S	R	K	F	P	C-Mark	Tindakan perbaikan
Timbunan jalan pendekat	0	0	0	0	0	0	-
	1	1	0	0	0	2	Rutin
	1	0	1	0	0	2	Rutin
Dinding penahan tanah	0	0	0	0	0	0	-
	1	0	1	0	0	2	Rutin
	1	1	1	0	0	3	Rehabilitasi
	1	1	1	1	0	4	Rehabilitasi
Drainase timbunan	0	0	0	0	0	0	-
	1	0	0	0	0	1	Rutin
	1	1	0	0	0	1	Rutin

Berdasarkan hasil penyusunan matriks kemungkinan penilaian kondisi pada setiap kategori kerusakan jembatan, maka kemudian disusun katalog kerusakan elemen jembatan sesuai dengan matriks tersebut seperti terlihat pada lampiran C.

TINGKAT RESIKO ELEMEN JEMBATAN TERHADAP KERUNTUHAN JEMBATAN

Tingkat risiko elemen jembatan kegagalan perlu untuk dibahas. Untuk tujuan ini, perlu mengevaluasi setiap jenis jembatan secara komprehensif. Evaluasi dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan desain teknis serta melalui pemungutan suara dengan para ahli konsultan dan narasumber dari universitas atau praktisi. Untuk tujuan pemungutan suara, telah disusun kuesioner tahap 2. Dari kedua pendekatan itu diharapkan dapat mengusulkan bobot risiko dari elemen jembatan / elemen penting yang menyebabkan kegagalan atau runtuhnya jembatan secara serempak. Bobot risiko dalam **Tabel 3.6** diusulkan dengan mengevaluasi dari perspektif desain teknis jembatan sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/2010 tentang Perencanaan Teknis dan Kriteria Perencanaan dan kemudian akan disesuaikan dari hasil polling.

Untuk menentukan tingkat kepentingan elemen jembatan, menggunakan metode MCUA (*Multiple Criteria Utility Assessment*). Pada metode ini, beberapa kriteria yang ditetapkan berdasarkan Bridge Desain Code Indonesia yang

mewakili tingkat kepentingan elemen jembatan. Pembobotan kriteria ini didefinisikan dengan diskusi, argumentasi dan justifikasi.

Mengacu pada peraturan di atas, ada 5 kriteria penting dalam perencanaan jembatan yang mungkin berkorelasi untuk pentingnya setiap elemen jembatan ke jembatan itu sendiri. Kriteria yang terdiri antara kekuatan, ketahanan, dan tingkat kesulitan dalam perbaikan dan dampaknya jika elemen yang rusak. Contoh kuesioner dapat dilihat pada Lampiran B.

Kriteria kekuatan berarti bahwa elemen harus dirancang sehingga mereka mampu menahan beban baik beban mati dan beban berjalan. Sebuah elemen harus memenuhi kriteria ini jika mereka memiliki fungsi penting untuk menjembatani atau jika kegagalan elemen ini membuat jembatan tidak dapat digunakan.

Kapasitas pelayanan (servis) berarti elemen harus dirancang sehingga mereka memenuhi fungsi struktural yang diperlukan, yang berkaitan dengan bentuk, stabilitas dan ketahanan, menangani pemuatan, defleksi, getaran, deformasi permanen, retak dan korosi, serta persyaratan desain lainnya.

Ketahanan berarti elemen dapat atau menolak untuk lalu lintas dan iklim kondisi dalam periode tertentu. Serupa dengan kriteria kekuatan, daya tahan harus dipenuhi oleh elemen-elemen penting dari jembatan di mana kegagalan untuk memenuhi persyaratan membuat jembatan tidak dapat digunakan.

Selanjutnya adalah tingkat kesulitan dalam perbaikan jika elemen yang rusak. Kriteria ini penting karena jika perbaikan elemen yang rusak sulit, dapat mempengaruhi biaya, waktu, dan akses alternatif bagi pengguna jalan.

Kriteria terakhir menangani dampak negatif atau kematian yang disebabkan oleh struktur jembatan jika elemen yang rusak. Tanpa kriteria kematian, jembatan tidak dapat digunakan. Penilaian elemen setiap kriteria disajikan pada **Tabel 3.6**, di mana jembatan yang memenuhi kriteria diberi nilai 1 dan nilai 0 untuk sebaliknya.

PENILAIAN KONDISI JEMBATAN

Berdasarkan hierarki elemen jembatan, Penilaian kondisi jembatan (B-Mark) adalah nilai kondisi elemen berdasarkan kerusakan yang terdapat di level 3

Tabel 3.6 Jembatan Gelagar Tipe I – Single Span

Elemen Level-3 atau Level-4	Ultimate/ Kekuatan	Serviceability/ Kapasitas Layan	Durability/ Ketahanan	Kemudahan Penanganan	Mode Keruntuhan	T-Mark	Mpar%
Sistem lantai	1	1	1	0	1	4	9.5
Gelagar	1	1	1	1	1	5	12
Diafragma	1	0	1	1	1	4	9.5
Siar Muai	0	0	0	0	0	0	0
Perletakan	1	1	1	1	1	5	12
Pile-cap	1	1	1	1	1	5	12
Kepala Jembatan / Pilar	1	1	1	1	1	5	12
Dinding sayap	0	0	0	0	0	0	0
Pedestal	0	0	0	0	0	0	0
Pengaku kolom	0	0	0	0	0	0	0
Kepala Pilar	1	1	1	1	1	5	12
Pondasi	1	1	1	1	1	5	12
Tanah Timbunan	0	1	1	0	0	2	4.8
Pelindung gerusan	0	0	1	0	0	1	2.4
Aliran sungai	0	0	1	0	0	1	2.4
Total						25	100

kemudian dikalikan dengan bobot kepentingan (M-Partisipasi) seperti yang ditunjukkan pada **Formula 3.1**. Sementara nilai bobot kepentingan yang diusulkan berasal dari rekomendasi seperti yang dijelaskan pada **Tabel 3.6** di atas.

$$B_{Mark} = \sum_1^n T_{Mark} \times M_{Par} \quad (3.1)$$

Where:

- B_{mark} = Nilai Kondisi Jembatan Level-1
- T_{mark} = Nilai Kondisi Elemen Level 3
- M_{par} = Nilai Bobot Kepentingan Elemen

Tabel 3.7 menyajikan contoh perhitungan spreadsheet dalam menentukan nilai kondisi jembatan berdasarkan kondisi yang dikumpulkan dari lapangan pada elemen level 3 dengan menggunakan **Formula 3.1**.

Tabel 3.7 Contoh hasil penilaian kondisi jembatan

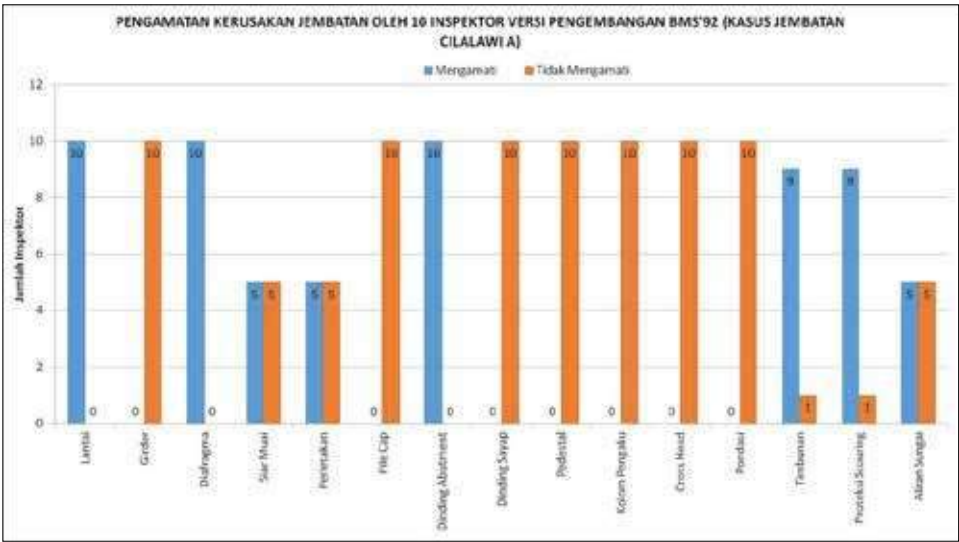
Element Level-3	S	R	K	F	P	T-Mark	%	B-Mark
Sistem lantai	1	1	0	0	0	2	9.5	0.19
Gelagar	1	1	0	0	0	2	12	0.24
Diafragma	2	2	2	0	0	2	9.5	0.19
Siar Muai	1	1	0	0	1	3	0	0
Perletakan	1	0	1	0	0	2	12	0.24
Pile-cap	1	1	0	0	0	2	12	0.24
Kepala Jembatan / Pilar	1	1	0	0	0	2	12	0.24
Dinding sayap	1	0	1	0	0	2	0	0
Pedestal	0	0	0	0	0	0	0	0
Pengaku kolom	1	0	1	0	0	2	0	0
Kepala Pilar	1	0	1	0	0	2	12	0.24
Pondasi	1	0	1	0	0	2	12	0.24
Tanah Timbunan	1	1	1	0	1	4	4.8	0.192
Pelindung gerusan	1	1	1	0	1	4	2.4	0.096
Aliran sungai	1	1	1	0	0	0	2.4	0.072
Nilai kondisi jembatan (Level-1)								2.18

MODEL PEDOMAN PEMERIKSAAN JEMBATAN

Model Pedoman Pemeriksaan Jembatan yang diusulkan merupakan pengembangan dari Pedoman Pemeriksaan Jembatan BMS '92 terdapat dalam lampiran C. Model ini dimaksudkan untuk menggantikan pedoman BMS '92.

UJI MODEL DAN DISKUSI

Pemeriksaan jembatan dilakukan kembali oleh 10 CIA di Jembatan Cilalawi dengan menggunakan Model Pedoman Pemeriksaan Jembatan yang baru. Hasil pemeriksaan dicatat dan dilampirkan oleh inspektor. Rangkuman hasil pemeriksaan disajikan dalam format yang sama dengan diskusi sebelumnya,



Gambar 3.2 Pengamatan CIA terhadap kerusakan jembatan (model sistem pemeriksaan yang baru)

sehingga perbandingan dapat terlihat mudah untuk memeriksa apakah ada perbaikan yang signifikan dari sistem sebelumnya.

Hasil percobaan pemeriksaan jembatan akan dianalisa dan dievaluasi dengan fokus pada kepraktisan dalam menemukan cacat dan keseragaman untuk mengetahui nilai kondisi. **Gambar 3.2** menunjukkan persepsi 10 CIA untuk mengetahui cacat elemen pada jembatan diperiksa. Kebanyakan inspektur setuju bahwa cacat terjadi atau tidak terjadi pada elemen jembatan ditunjukkan pada satu batang. Alasan inspektur tidak menyetujui bahwa elemen mengalami kerusakan adalah sulit untuk mengetahui dan mencapai objek.

Gambar 3.3 menunjukkan nilai kondisi jembatan di mana sebagian besar inspektur setuju bahwa terdapat cacat pada beberapa elemen level 3.

Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.2** dan setelah diklasifikasikan seperti terdapat pada **Gambar 3.4** dapat diketahui bahwa dengan menggunakan model pedoman pemeriksaan yang diusulkan, 10 CIA memiliki persepsi dan nilai kondisi jembatan yang seragam pada sebagian besar elemen level 3. Hanya beberapa elemen level 3 yang masih memiliki inkonsistensi besar karena sedikit sulit untuk menyelidiki tanpa alat inspeksi yang tersedia.



Gambar 3.3 Persepsi CIA terhadap nilai kondisi elemen jembatan (model sistem pemeriksaan yang baru)



Gambar 3.4 Variasi nilai kondisi dari pengamatan CIA (model sistem pemeriksaan baru)

Pengamatan yang dilakukan oleh inspektur pada elemen jembatan juga cukup seragam. Perbedaan rasio penilaian parameter nilai S, R, K, F dan P ditampilkan pada **Gambar 3.5**. Perbedaan terbesar terdapat pada parameter K, dimana pedoman penilaian parameter K tidak disediakan dalam pedoman.



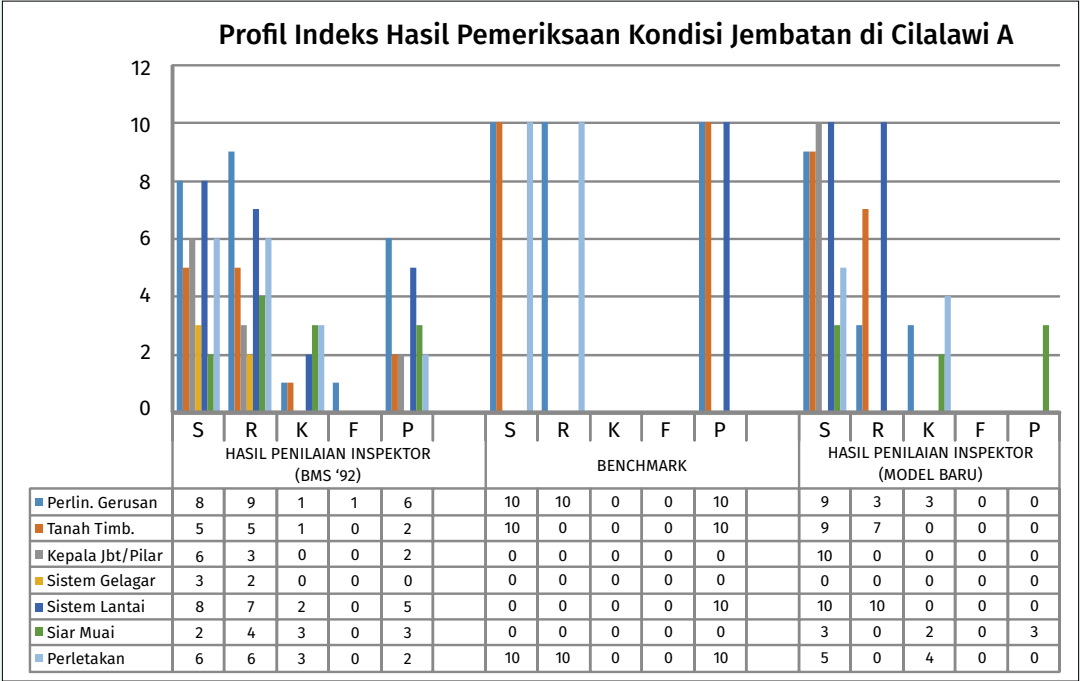
Gambar 3.5 Rasio perbedaan penilaian inspektor berdasarkan parameter penilaian kondisi (model sistem pemeriksaan baru)

Sementara parameter F menunjukkan hasil yang baik, meskipun tidak tersedia pedoman penilaian untuk parameter K.

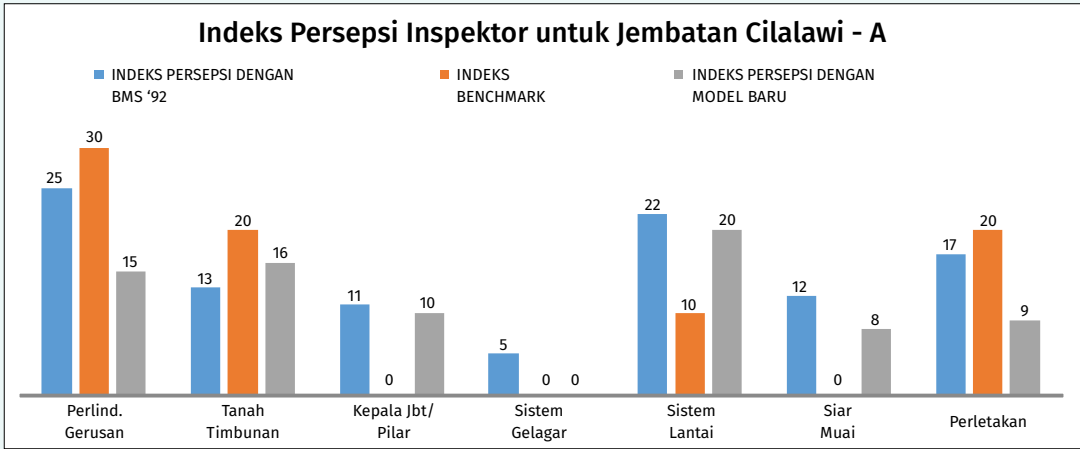
Gambar 3.6 dan **Gambar 3.7** meyajikan indeks penilaian untuk jembatan Cilalawi. Dasar yang digunakan untuk perhitungan indeks adalah nilai patokan. Nilai patokon didefinisikan oleh normalisasi dan membandingkan hasil dari pemeriksaan pertama pada jembatan Cilalawi yang menggunakan Pedoman Pemeriksaan Jembatan BMS’92.

Seperti terlihat pada **Gambar 3.7** indeks persepsi inspektur terhadap jembatan Cilalawi secara signifikan meningkat dengan menggunakan model pemeriksaan yang baru, dan hanya satu dari tujuh elemen jembatan menunjukkan ketidaksetujuan, yaitu perlindungan gerusan.

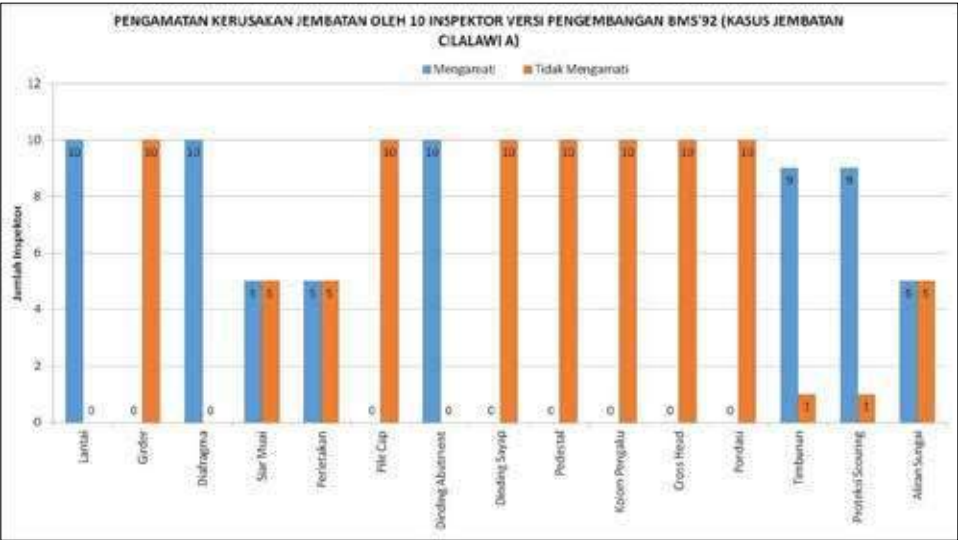
Indeks persepsi inspektur menunjukkan bahwa 5/7 (71 persen) dari inspektur setuju bahwa penilaian kondisi jembatan menggunakan model baru lebih dekat dengan nilai patokan, sedangkan dengan menggunakan metode yang ada, itu hanya 2/7 (29 persen) dari inspektur. Ini juga mengkonfirmasi bahwa model baru yang dihasilkan lebih fokus dan seragam hasil antara inspektur seperti yang ditunjukkan **Gambar 3.8**.



Gambar 3.6 Profil indeks hasil pemeriksaan kondisi Jembatan Cilalawi - A



Gambar 3.7 Indeks persepsi para inspektor untuk Jembatan Cilalawi - A



Gambar 3.8 Pengamatan kerusakan jembatan oleh CIA pada elemen level 3

Untuk model baru, nilai kondisi level 1 jembatan dapat dihitung menurut **formula 4.1** dan hasilnya ditampilkan pada **Tabel 4-9** sementara penilaian jembatan sesuai prosedur yang ada seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4 8**.

Tabel 3.8 Level-1 Nilai konsisi jembatan cilalawi A (prosedur lama)

CODE	Tipe Elemen (L3)	Nilai Kondisi
3.210	Aliran sungai	3
3.220	Perlindungan gerusan	3
3.230	Timbunan	0
3.320	Abutmen / Pilar	0
3.410	Sistem Gelagar	0
3.500	Sistem lantai	2
3.600	Sambungan lantai	1
3.610	Perletakan	2
3.620	Railing	2
3.700	Perlengkapan	0
ELEMENT (L2)		
2.200	Aliran sungai & Timbunan	3

CODE	Tipe Elemen (L3)	Nilai Kondisi
2.300	Bangunan bawah	0
2.400	Bangunan atas	2
ELEMENT (L1)		
1.000	Jembatan	2

Tabel 3.9 Level-1 Nilai kondisi jembatan cilalawi A
(Model sistem pemeriksaan baru)

No	Tipe elemen	Nilai kondisi	T _{Mark}	B _{Mark}
1	Aliran sungai	3	2.4	0.072
2	Perlindungan gerusan	2	2.4	0.048
3	Timbunan	2	4.8	0.096
4	Dinding abutmen	1	12	0.12
5	Dinding sayap	0	0	0
6	Pondasi	0	12	0
7	Pile cap	0	12	0
8	Pengaku kolom	0	0	0
9	Balok melintang	0	12	0
10	Gelagar	0	12	0
11	Diafragma	1	9.5	0.095
12	Lantai	2	12	0.24
13	Siar muai	0	0	0
14	Perletakan	2	12	0.24
15	Pedestal	0	0	0
				0.911

Nilai kondisi level 1 jembatan berdasarkan sistem yang lama menunjukkan nilai kondisi “2” (jembatan dengan kerusakan sedang memerlukan pemantauan) sedangkan nilai kondisi level 1 jembatan dengan menggunakan model baru menunjukkan nilai kondisi “1” (jembatan dengan kerusakan ringan dan memerlukan perawatan rutin).

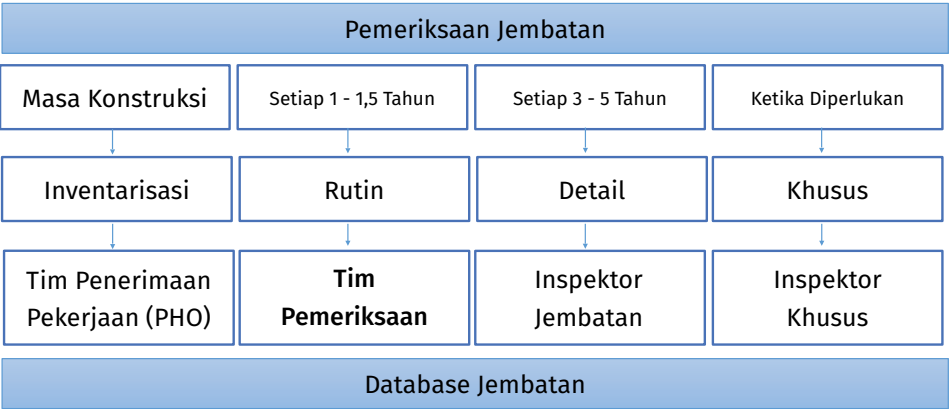
Fakta lapangan dari pemeriksaan jembatan berdasarkan pada laporan dan foto ditampilkan dalam lampiran-A, terdapat beberapa kerusakan pada lantai jembatan, namun menurut model pemeriksaan yang baru, elemen tersebut diklasifikasikan sebagai elemen non-struktural yang bisa diperbaiki oleh Program pemeliharaan rutin saja (lihat **Tabel 3.10**) sebagai kerusakan yang tidak berdampak langsung terhadap runtuhnya jembatan. Berdasarkan model pemeriksaan yang baru dengan menggunakan formula 3.1, nilai kondisi level 1 jembatan adalah 0,911.

Tabel 3.10 Deskripsi nilai kondisi jembatan

Sistem pemeriksaan baru		Eksisting		BMS'92
Nilai kondisi	Deskripsi	Nilai kondisi	Deskripsi	
4 – 5	Kerusakan komponen	5	Kerusakan komponen atau tidak dapat digunakan	
3– 4	Kondisi Kritis	4	Kondisi kritis	
2– 3	Rusak berat	3	Kerusakan memerlukan penanganan segera	
1– 2	Rusak sedang	2	Kerusakan memerlukan pengamatan dan pemeliharaan	
0– 1	Rusak ringan	1	Rusak ringan	
0	Kondisi baik	0	Jembatan baru	

PROSEDUR PEMERIKSAAN JEMBATAN BARU

Mekanisme pengumpulan data mengikuti prosedur yang tercantum dalam BMS '92. Namun, pengumpulan data kondisi jembatan setelah perbaikan / rehabilitasi atau perubahann geometrik disarankan diperbarui oleh Tim pelaksana serah terima pekerjaan awal/ serah terima pekerjaan akhir (PHO / FHO). Ketika pemeliharaan rutin dilakukan maka pemeriksaan rutin juga dilakukan. Pemeriksaan rutin ini akan mencatat perlunya pemeliharaan rutin



Gambar 3.9 Usulan pengembangan dalam kegiatan pemeriksaan jembatan

/ rehabilitasi untuk kegiatan berikutnya dan dilaporkan ke sistem pengendali. Tim inspeksi rutin juga dapat merekomendasikan hal penting yang perlu ditindaklanjuti oleh tim inspeksi detail jembatan, lihat **Gambar 3.9**. Dalam rangka untuk mendapatkan kondisi jembatan secara akurat, kerusakan yang ada pada saat pemeliharaan rutin menjadi prioritas oleh inspektur detail. Katalog kerusakan Elemen dan Material menjadi penting untuk mendukung tim pemeriksaan rutin.

PENGEMBANGAN LEBIH LANJUT

Pedoman pemeriksaan kondisi jembatan perlu dikembangkan karena terbatasnya sumber daya manusia, pengumpulan data di lapangan membutuhkan waktu yang cepat dan akurat, untuk menghindari kesalahan manusia, dan agar dapat mengoptimalkan alat-alat pemeriksaan kondisi jembatan.

Penilaian jembatan visual menggunakan manual pemeriksaan yang hasilnya baru sudah memadai dan pengaruh subjektivitas inspektur dapat dikendalikan, dan prosedur up-date Data sebagai upaya untuk memperoleh arus jembatan data dan kemudahan koleksi diusulkan oleh assign atau ke tim FHO dan minimum keahlian yang dibutuhkan oleh jembatan personil pemeliharaan termasuk rekaman temuan saat melakukan pemeriksaan rutin, akan membuat lebih mudah untuk mendapatkan atau menemukan kerusakan dan pada saat yang sama, dan memastikan database jembatan selalu up-to-date. ■

4

KAJIAN METODE UJI GETARAN JEMBATAN DALAM PENILAIAN KONDISI JEMBATAN

UMUM

Penilaian jembatan visual menggunakan manual pemeriksaan yang baru sudah memadai dan pengaruh subjektivitas inspektur dapat dikurangi, tetapi untuk lebih meningkatkan akurasi, kemudahan, kecepatan pengambilan data, dan mempertimbangkan keterbatasan kondisi sumber daya manusia di kabupaten dan provinsi khususnya di era desentralisasi di Indonesia, maka diperlukan model pemeriksaan dan penilaian kondisi jembatan menggunakan peralatan pengujian non-destruktif.

Dengan prosedur ini, penilaian jembatan lebih obyektif, dan pengaruh negatif dari inspektur dapat dikurangi. Kerusakan jembatan terus meningkat seiring dengan meningkatnya kegiatan ekonomi dimana volume angkutan berat yang bertambah, sehingga menyebabkan kerusakan jembatan. Kondisi tersebut menyebabkan kerusakan awal jembatan, sehingga masa layan

jembatan menjadi lebih pendek dari yang direncanakan. Kondisi ini jelas terlihat dalam hal kendaraan berat yang melewati jembatan melebihi jumlah kendaraan yang direncanakan dan ditentukan dalam kode jembatan (BMS *Bridge Desain Code*'92).

Selain kondisi di atas, kerusakan jembatan juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Oleh karena itu, keamanan jembatan menjadi perhatian utama dari pengelola jembatan. Seiring dengan perkembangan teknologi, saat ini instrumen untuk mendukung pemeriksaan sedang dikembangkan. Beberapa metode untuk mengevaluasi struktur jembatan dapat digunakan untuk menentukan kondisi dan tingkat kerusakan dengan cara yang lebih akurat. Pemilihan metode tergantung pada tingkat kompleksitas parameter akan dievaluasi (Sonnenberg, 2014).

Tingkat inspeksi dan nilai kondisi jembatan tergantung pada kompleksitas parameter yang dievaluasi dan dapat dibagi menjadi 3 tingkatan yaitu: 1) berdasarkan analisis teoritis; 2) berdasarkan analisis hasil dari investigasi lapangan; dan 3) berdasarkan analisis uji pembebanan baik di lapangan dan di laboratorium (AUSTROADS, 2004).

Dari perspektif populasi jembatan di Indonesia, jembatan dengan tipe Gelagar beton dengan konstruksi balok sederhana memiliki populasi yang tinggi dan digunakan sebagai objek eksperimen dalam penelitian ini. Jembatan yang dipilih akan diperiksa melalui inspeksi visual dengan menggunakan model pemeriksaan jembatan yang baru. Secara paralel, akan dilakukan pengujian instrumentasi, yaitu, pengujian statis dan dinamis, dan ditindaklanjuti dengan analisis struktural dengan pendekatan numerik, termasuk analisis kapasitas struktur jembatan serta analisis modal untuk menentukan sifat dinamis dari jembatan.

FREKUENSI NATURAL

Frekuensi melingkar alami getaran ω (rad / sec) dan frekuensi siklik alami dari getaran f (siklus / detik atau Hz) berhubungan dengan periode alami dari getaran T (detik) dari struktur seperti persamaan berikut ini :

$$T = 2\pi/\omega \quad (4.1)$$


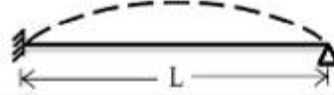
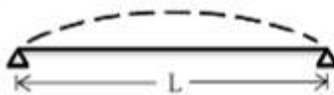
$$F = 1/T = \omega/2\pi \quad (4.2)$$

Periode alami dari getaran T (detik) dari struktur adalah waktu yang diperlukan untuk satu siklus getaran bebas. Istilah ‘alami’ digunakan untuk memenuhi syarat setiap dari jumlah di atas untuk menekankan fakta bahwa ini adalah sifat alami dari struktur ketika itu diperbolehkan untuk bergetar secara bebas tanpa eksitasi eksternal. Karena struktur linear, sifat ini adalah independen dari perpindahan awal dan kecepatan. Jika matematis memecahkan persamaan gerak yang mengatur getaran bebas dari struktur teredam telah menunjukkan bahwa: $\omega = \sqrt{(k / m)}$. Dengan demikian bebas sifat getaran ω , T, dan f hanya tergantung pada massa dan kekakuan struktur, (Chopra, 1981).

Frekuensi alami adalah salah satu karakteristik dinamik struktur jembatan beban eksitasi. Hal ini terkait dengan kekakuan struktur yang dipengaruhi oleh perubahan kondisi mekanik dan fisik dari struktur jembatan. Kekakuan jembatan akan menurun seiring dengan masa operasi jembatan atau memburuk. Frekuensi alami dapat ditentukan dengan beberapa metode seperti tersebut dalam sub-bab berikutnya.

Frekuensi alami dari formula umum

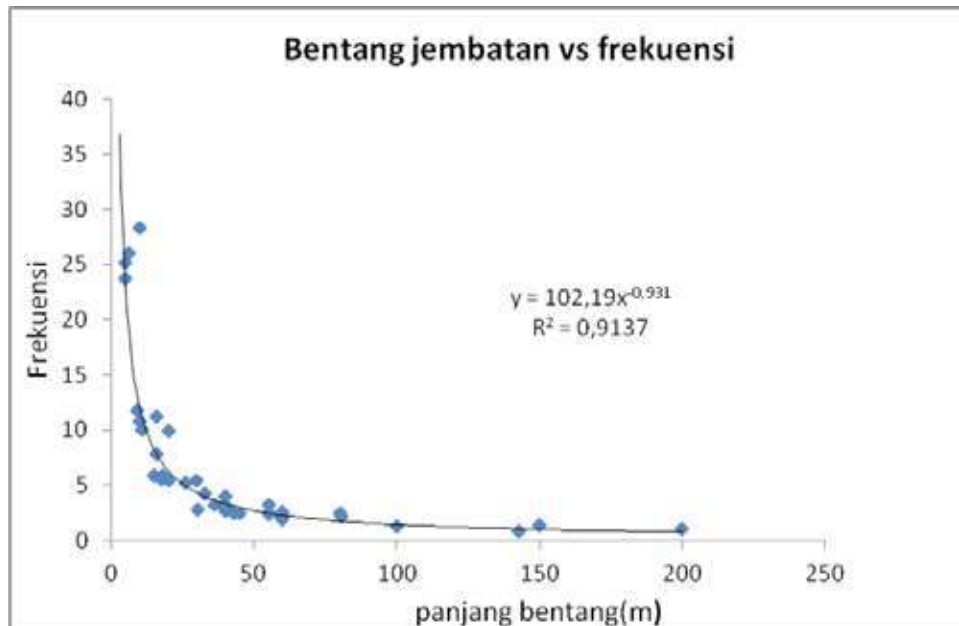
Formula umum diterapkan untuk jembatan sederhana. Formula ini menurut matematis dipecahkan dari getaran bebas dari struktur teredam yang ditampilkan sebagai: $\omega = \sqrt{(k / m)}$, hence $f = 1 / 2\pi\sqrt{(k / m)}$. Hal ini tergantung pada massa dan kekakuan struktur. Frekuensi alami untuk balok didukung sederhana ditunjukkan pada **Gambar 4.1**. Nilai tergantung pada tipe perletakan yang digunakan pada balok atau jembatan (Mario Paz, 1985).

Support Condition	Fundamental frequency, Hz	Mode shape
Fixed-Fixed	$f = 3.5608 \sqrt{\frac{EI}{mL^4}}$	
Fixed-Hinged	$f = 2.4529 \sqrt{\frac{EI}{mL^4}}$	
Simply Supported	$f = 1.5708 \sqrt{\frac{EI}{mL^4}}$	

Gambar 4.1 Fundamental frequency

Frekuensi alami dari formula empiris

Untuk penyederhanaan, frekuensi alami dapat dihitung dengan menggunakan formula empiris yang didasarkan pada parameter panjang jembatan, yang terlihat sebagai berikut: $f = 125 / L$ (**Gambar 4.2**). Formula ini merupakan hasil riset pusat penelitian dan pengembangan jalan dan jembatan.



Gambar 4.2 Grafis dari formula empiris frekuensi alami berdasarkan panjang jembatan

FREKUENSI NATURAL BERDASARKAN PERHITUNGAN NUMERIK

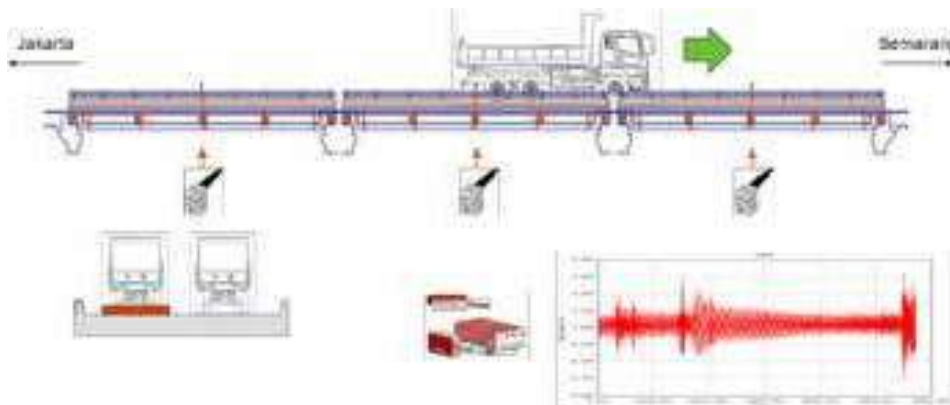
Analisis numerik dilakukan untuk menentukan frekuensi alami yang dikenal sebagai analisis modal, di mana pemodelan struktural dilakukan dengan menggunakan program analisis struktur. Model analitis dibuat sesuai dengan kondisi yang diinginkan, misalnya kondisi ideal ini didasarkan pada as-built drawing dokumen dan spesifikasi desain parameter atau dari kondisi aktual yang didasarkan pada hasil investigasi jembatan. Output dari analisis ini adalah frekuensi alami yang terjadi pada jembatan sesuai dengan hasil input data lapangan.

FREKUENSI ALAMI DARI UJI BEBAN DINAMIS

Tes beban dinamis dimaksudkan untuk mengidentifikasi parameter seperti frekuensi alami, rasio redaman, amplifikasi dinamis dan faktor amplifikasi beban dinamis. Untuk percobaan seperti yang diusulkan (Bien, 2007) dapat digunakan Ambient dari getaran, di mana lalu lintas diatas lantai jembatan berfungsi untuk memicu getaran jembatan yang dicatat dalam time series dengan hasil yang akurat. Keakuratan data terlihat signifikan untuk berbagai kecepatan bergerak truk antara 10 s/d 50km / jam (Vaza, 2015).

Pengujian dinamis merupakan salah satu prosedur untuk menentukan resonansi (alami) frekuensi dari struktur. Untuk mengidentifikasi modus getaran jembatan untuk setiap frekuensi alami, setiap mode getaran berhubungan dengan nilai redaman. Dari respon dinamis yang terukur dapat diperoleh parameter modal (frekuensi alami, bentuk mode dan modal nilai redaman) dan parameter sistem (kekakuan, massa dan matriks redaman). Parameter ini diidentifikasi kemudian dapat digunakan untuk mengkarakterisasi dan memantau kinerja struktur.

Prosedur pengujian getaran seperti terlihat pada **Gambar 4.3**. Pertama dilakukan perhitungan model struktur, frekuensi alami, dan bentuk mode shape yang sesuai dengan rencana. Lokasi titik pengukuran yang dipilih sesuai dengan geometri struktur, misalnya di tengah bentang jembatan. Accelerometer digunakan untuk pengukuran simultan untuk getaran vertikal, lateral dan / atau memanjang struktur jembatan.



Gambar 4.3 Kendaraan bergerak pada lantai jembatan (Jembatan Ciberes)

FREKUENSI ALAMI DARI PENGUKURAN DEFLEKSI STATIS

Uji pembebanan melibatkan proses mulai dari pembebanan sampai dengan pengamatan reaksi struktur yang ada. Beban uji pada dasarnya dirancang untuk mengetahui respon struktur akibat beban jangka pendek. Beban pengujian melibatkan penerapan beban uji fisik untuk struktur, pengukuran respon dari struktur, pengaruh beban, dan interpretasi hasil untuk uji membuat rekomendasi untuk tindak lanjut penanganan.

Beban dapat menggunakan beban mati atau dengan cara mekanis, dan perlu adanya pertimbangan terhadap pengaruh lain terhadap perilaku yang diamati. Bahan yang dapat digunakan sebagai beban diantaranya yaitu bahan bangunan, air, besi yang dimuat di truk, dengan kombinasi seperti yang terlihat pada **Gambar 4.4**.

Dalam hal ini, uji pembebanan dilakukan untuk mengukur defleksi struktur. Hubungan antara beban dan lendutan mewakili kekakuan struktur sebagai persamaan di bawah:

$$k = \frac{P}{\delta} \quad (4.3)$$

$$k = \frac{48 EI}{L^3} \quad (4.4)$$

Where:

k: Kekakuan, (kN/m)

E: Modulus elastisitas, (kN/m²)

P: Beban Mati, (kN)

I: Momen Inersia, (m⁴)

δ: Defleksi, (m)

L: Panjang, (m)

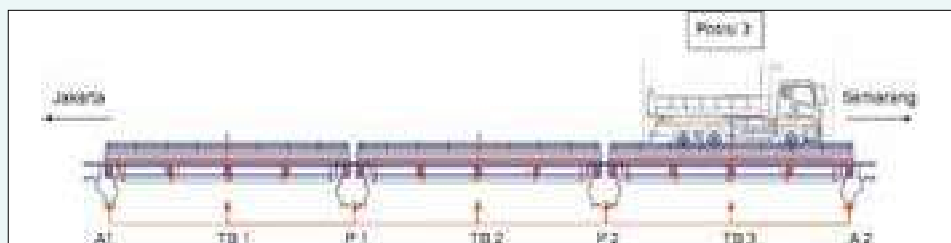
Ketika kekakuan jembatan diketahui maka frekuensi alami dapat dihitung dengan menggunakan formula seperti yang terlihat pada **Gambar 4.1** atau dapat ditentukan melalui analisis modal dengan menambahkan *artificial member* dengan sifat kekakuan jembatan sesuai dengan hasil uji lapangan.



Kombinasi 2



Kombinasi 3



Kombinasi 4

Gambar 4.4 Skema kombinasi pembebanan (Jembatan Ciberes)

PERCOBAAN LAPANGAN DAN HASIL

Umum

Jembatan Matani adalah jembatan bentang sederhana dengan gelagar beton yang dipilih untuk menggambarkan prosedur uji di dalam penelitian ini. **Gambar 4.5** (a) menunjukkan foto-foto tampak depan dan tampak memanjang dengan saluran bawah tanpa aliran air, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.5** (b). Bangunan atas terdiri dari Gelagar beton bertulang dan pelat lantai. Sementara bangunan bawah terdiri abutment beton pada setiap sisi jembatan. Jembatan Matani terdiri dari bentang tunggal dengan panjang 16,6 m. Lebar jalan jembatan kereta adalah 6.8 m.

Jembatan dibangun pada tahun 2011 dan terbuka untuk lalu lintas pada akhir September tahun 2014, oleh karena itu dapat diasumsikan dan diklasifikasikan sebagai jembatan yang baru dibangun. Uji lapangan dilakukan pada 19-24 November 2014. Foto udara dan informasi rinci tentang Jembatan Matani ini ditunjukkan pada **Gambar 4.6** dan **Tabel 4.1**.

Langkah pertama yang dilakukan adalah mengambil data kondisi jembatan dengan melakukan pemeriksaan visual menurut Pedoman Pemeriksaan Jembatan. Langkah kedua adalah melakukan homogenitas uji beton dengan menggunakan metode non-destruktif dan mengukur dimensi setiap elemen jembatan. Langkah ketiga adalah melakukan uji getaran jembatan dengan mengukur respon jembatan untuk beban lalu lintas. Langkah selanjutnya adalah dengan melakukan uji statik dengan mengukur lendutan jembatan menggunakan beban statis truk.



(a)



(b)

Gambar 4.5 Jembatan matani: (a) tampak depan; (b) tampak memanjang



Gambar 4.6 Tampak udara Jembatan Matani

Tabel 4.1 Detail Informasi Jembatan Matani

Nama jembatan	:	Matani
Nomor jembatan	:	50.036 027 0
Tahun dibangun	:	2011, Dibuka untuk lalulintas September, 2014
Ruas jalan	:	Jalan Trans Sulawesi Tumpaan–Batas Kota Manado KM 47+600
Koordinat GPS		
Awal	:	01° 15' 15,93" LS 124° 36' 43,67" BT
Akhir	:	01° 15' 15,42" LS 124° 36' 44,02" BT
Tipe	:	Gelagar
Sistem lantai	:	Beton bertulang
Panjang	:	16,65 m
Lebar	:	7,0 m (1,0 m + 1,0 m)
Jumlah bentang	:	1
Abutmen	:	Beton bertulang
Perletakan	:	Perletakan karet
Penguji	:	Tim Pusjatan, Dipimpin oleh G. Sukmara & H.Vaza
Tipe pengujian	:	Uji beban statis dan dinamis
Tanggal pengujian	:	19-27 November 2014

Pemeriksaan Visual

Terdapat beberapa kerusakan pada elemen jembatan Matani yang dikarenakan proses konstruksi yang kurang baik dan juga akibat beban lalu lintas. Hal ini dapat dilihat dari hasil pemeriksaan visual kondisi jembatan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.7**.

Gambar 4.7 (a) menunjukkan Gelagar beton dan diafragma yang mengalami pengikisan beton, keropos dan berdeformasi. Kerusakan beton pada gelagar dan diafragma menyebabkan pengurangan kekakuan dan kekuatan jembatan, yang kemudian menyebabkan penurunan kapasitas struktur dan mengurangi kapasitas lantai untuk membawa beban kendaraan. Kepala jembatan masih dalam kondisi baik walaupun ditemukan beberapa pengikisan dan berdeformasi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.7 (b)**. Dari pedoman pemeriksaan jembatan yang baru, diperoleh nilai kondisi jembatan adalah 1 (kisaran: 0-5), yang berarti bahwa jembatan hanya membutuhkan pemeliharaan rutin.

Dimensi jembatan

a) Retak dan homogenitas beton

Alat Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) digunakan untuk mengukur kedalaman retak dan homogenitas beton. Dua transduser terpasang secara paralel di permukaan obyek dan kemudian diukur kecepatan rambatan pada beton



Gambar 4.7 Kondisi elemen Jembatan Matani:

(a) Kerusakan pada Gelagar dan diafragma; (b) Retak ada abutment



Gambar 4.8 Pemeriksaan beton

(a) Evaluasi kedalaman retak beton; dan (b) homogenitas beton

seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.8**. Uji menunjukkan homogenitas beton dapat diklasifikasikan sebagai kriteria menengah seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.2**

Tabel 4.2 Pemeriksaan Beton

Elemen jembatan	Titik	T1 (msec.)	T2 (msec.)	V (m/sec.)	Kriteria
Kepala Jembatan	1	32.1	56.4	4115	Sangat baik
	2	18.9	63.4	2247	Kurang baik
	3	22.9	62.9	2500	Kurang baik
	4	24.4	63.7	2545	Kurang baik
	5	31.6	60.4	3472	Cukup
Lantai Jembatan	1	31.7	71.9	2488	Kurang baik
	2	41.6	73.1	3115	Cukup
	3	41.4	86.4	2222	Kurang baik
	4	42.1	74.7	3096	Cukup
	5	38.2	74.7	2740	Kurang baik
Gelagar Y2	1	42.1	72.9	3247	Cukup
	2	36.7	70.4	2967	Kurang baik
	3	35.9	70.9	2857	Kurang baik
Gelagar Y5	1	40.9	65.4	4082	Sangat baik
	2	43.4	76.9	2985	Kurang baik
	3	41.9	67.6	3891	Baik

Note: Concrete velocity (m/sec.) $V > 4000$: Sangat baik; $3500 < V < 4000$: Baik; $3000 < V < 3500$: Cukup; and $V < 3000$: Kurang baik.

Penyelidikan lebih lanjut pada gelagar beton menemukan retak dengan lebar 0,15 mm dan kedalaman bervariasi dari 3 mm sampai 72 mm seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Kedalaman retak beton

Elemen jembatan	Titik	T1 (msec.)	T2 (msec.)	Kedalaman retak (mm)	Lebar retak (mm)
Sebelum pembebanan					
Gelagar Y2	1	56.2	112.2	3	0.15
	2	57.9	113.9	11	0.15
Gelagar Y5	1	59.7	92.6	53	0.15
	2	66.4	93.4	73	0.15
Setelah pembebanan					
Gelagar Y2	1	35.4	53.7	57	0.15
	2	57.9	66.4	58	0.15
Gelagar Y5	1	39.7	61.7	64	0.15
	2	66.1	86.9	63	0.15

b) Ketebalan selimut beton

Pada pengujian ketebalan selimut beton, digunakan perangkat khusus untuk memperoleh ketebalan selimut beton berupa Covermeter, **Gambar 4.9**. Dari hasil pengujian diketahui bahwa ketebalan selimut beton bervariasi dengan ketebalan 33mm sampai dengan 44 mm seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Ketebalan selimut beton

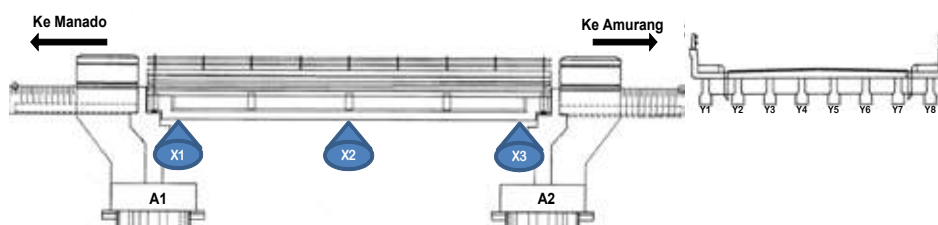
No.	Elements	Concrete cover (mm)
1	Deck bridge	44.00
2	Gelagar Y ₄	35.75
3	Gelagar Y ₅	33.00



Gambar 4.9 Pengukuran ketebalan selimut beton

c) Camber jembatan

Camber jembatan awal digunakan untuk mengevaluasi perpindahan inkremental jembatan pada saat dilakukan uji beban statis. Letak pengukuran camber seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.10** dan **Gambar 4.11**. Hasil pengukuran camber ditunjukkan pada **Tabel 4.5**. Angka ini menunjukkan jembatan memiliki camber negatif.



Gambar 4.10 Titik pengukuran camber

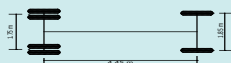
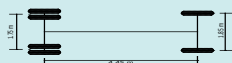


Gambar 4.11 Pengukuran camber

Tabel 4.5 Camber jembatan

Titik pengukuran	Data ukur Gelagar jembatan (mm)							
	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇	G ₈
X ₁	0.297	0.296	0.296	0.293	0.278	0.257	0.260	0.244
X ₂	0.222	0.227	0.226	0.229	0.218	0.223	0.237	0.233
X ₃	0.258	0.243	0.262	0.265	0.260	0.273	0.265	0.270
Maks Camber	-56	-43	-53	-50	-51	-42	-26	-24

Tabel 4.6 Berat truk

Truk #1: DB 8821 AC			Truk #2: DB 8821 AU		
Satuan dalam kN	Roda belakang	Roda depan	Satuan dalam kN	Roda belakang	Roda depan
Sisi Kiri	87.20	29.05	Sisi Kiri	85.55	23.90
Sisi kanan	87.20	29.05	Sisi kanan	85.55	23.90
Total	174.40	58.10	Total	171.10	47.80
Total truk	232.50		Total truk	218.90	
					

Gambar 4.12 peralatan utama percobaan



PERCOBAAN UJI BEBAN STATIS

Perangkat utama yang digunakan pada uji pembebanan statis atau dinamis adalah data logger Dewetron seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.12**.

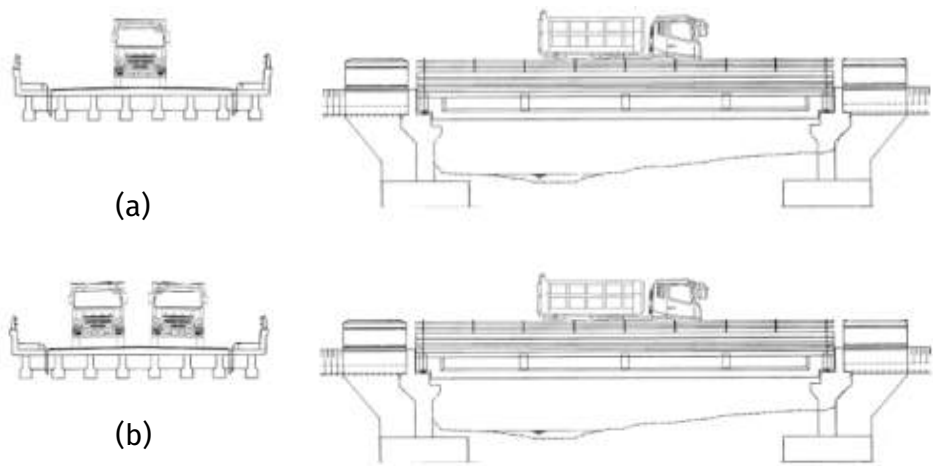
Konfigurasi beban

Uji pembebanan statis menggunakan truk sebagai beban eksternal. Truk as 2 roda digunakan untuk percobaan dan bobot masing-masing truk seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.6**.

Terdapat 5 kombinasi beban seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.7**. Skema langkah beban ditunjukkan pada **Gambar 4.13**.

Tabel 4.7 Konfigurasi beban

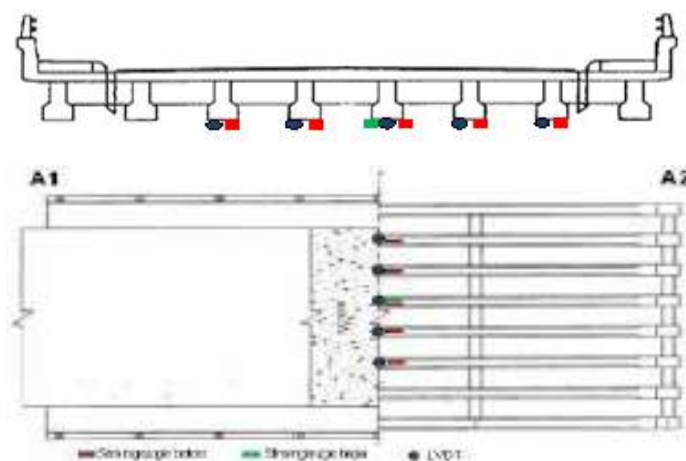
No.	Kombinasi	Penjelasan
1	Kombinasi 1	Inisial
2	Kombinasi 2	1 truk pada tengah bentang
3	Kombinasi 3	unload
4	Kombinasi 4	2 truk pada tengah bentang
5	Kombinasi 5	unload



Gambar 4.13 Skema pembebanan

Susunan instrumentasi

Terdapat dua jenis sensor yang digunakan untuk pengujian beban statis, yaitu: *Strain Gauge* yang digunakan dan melekat pada tulangan dan permukaan bawah beton; dan *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT) untuk mengukur perpindahan titik acuan pengamatan. Susunan instrumentasi yang ditampilkan pada **Gambar 4.14** di mana tanda merah dan hijau adalah strain gauge transduser untuk mengukur kekuatan, sedangkan tanda biru mewakili LVDT transduser untuk mengukur perpindahan Gelagar jembatan.



Gambar 4.14 Susunan instrumentasi

Pengukuran regangan pada uji beban statis

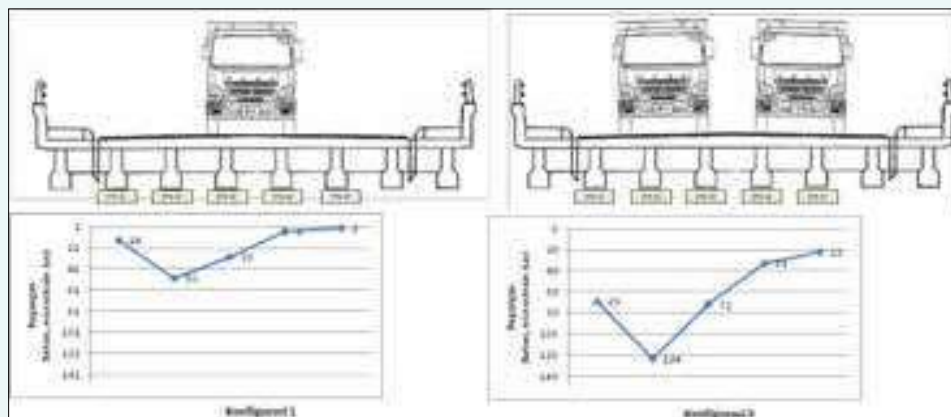
Hasil pengukuran regangan pada uji mengacu pada konfigurasi pembebanan ditunjukkan pada **Tabel 4.8**. Skema respon jembatan disajikan secara grafis dalam orientasi lokal seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.15**.

Pengukuran lendutan

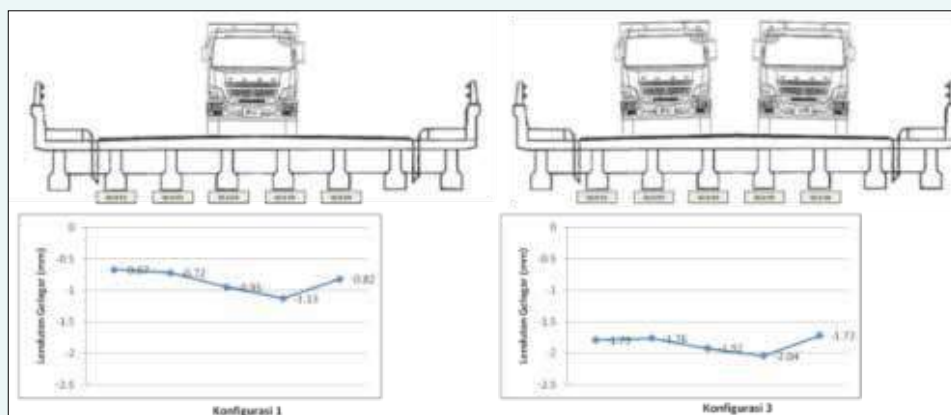
Tabel 4.9 menunjukkan defleksi gelagar jembatan pada konfigurasi beban sesuai **Tabel 4.7**. Diketahui nilai maksimum lendutan adalah -2.04 mm setara dengan 45% beban hidup yang sebenarnya atau 4.53 mm setara untuk beban hidup penuh. Nilai ini lebih rendah dari batas 20 mm ($L / 800$ untuk kondisi layan). Skema respon jembatan disajikan secara grafis dalam orientasi lokal seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.15**.

Tabel 4.8 Hasil pengukuran regangan statis

No.	Kombinasi	Regangan						
		Beton					Baja	
		Stg01	Stg02	Stg03	Stg06	Stg07	Stg04	Stg05
1	Kombinasi 1	0	0	0	0	0	0	0
2	Kombinasi 2	14	50	30	6	2	36	36
3	Kombinasi 3	0	5	0	2	1	0	2
4	Kombinasi 4	69	124	72	33	22	85	86
5	Kombinasi 5	2	-11	-12	-17	-20	-13	-14



Gambar 4.15 Skema pembebanan



Gambar 4.16 Posisi truk

Tabel 4.9 Lendutan pada tengah bentang

No.	Kombinasi	Lendutan Gelagar jembatan (mm)				
		Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆
1	Kombinasi 1	0	0	0	0	0
2	Kombinasi 2	-0.67	-0.72	-0.95	-1.13	-0.82
3	Kombinasi 3	-0.07	-0.17	0	-0.26	-0.05
4	Kombinasi 4	-1.79	-1.76	-1.92	-2.04	-1.72
5	Kombinasi 5	-0.13	-0.33	-0.21	-0.38	-0.06

PERCOBAAN UJI BEBAN DINAMIS

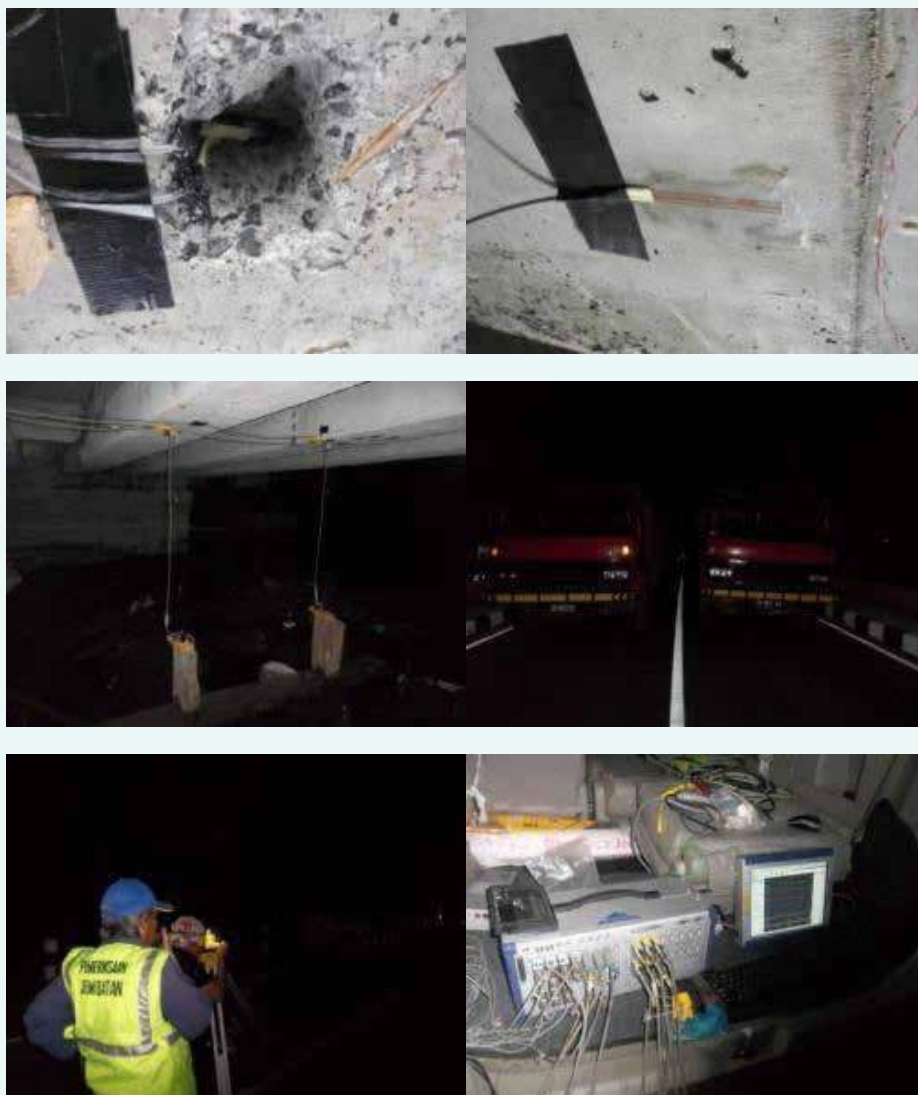
Uji beban dinamis adalah uji non-destruktif (NDT) yang lakukan untuk mengidentifikasi parameter dinamis seperti frekuensi alami, rasio redaman, faktor amplifikasi yang dinamis dan faktor amplifikasi beban dinamis. Truk bergerak pada lantai jembatan sehingga diperoleh getaran dan dicatat dalam time series sebagai fungsi kecepatan truk. Setup uji eksperimental ditunjukkan pada **Gambar 4.18**.

Frekuensi alami mendasar

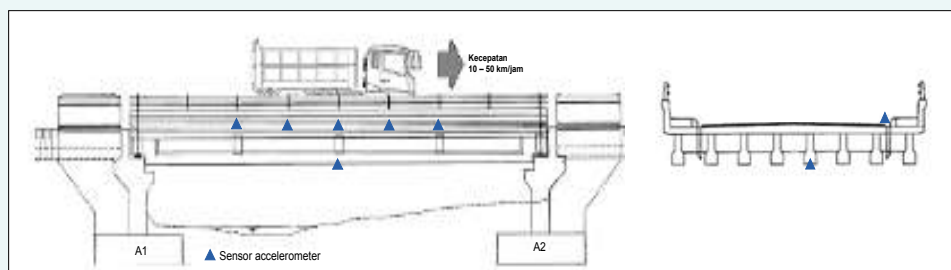
Hasil percobaan menunjukkan bahwa frekuensi alami dari modulus lentur pertama memiliki puncak 7,81 Hz. Angka ini tidak berubah untuk kecepatan truk yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.10** dan **Gambar 4.18**. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa prosedur uji dan hasilnya disetujui untuk parameter dasar penelitian.

Tabel 4.10 Frekuensi alami pada kombinasi 1

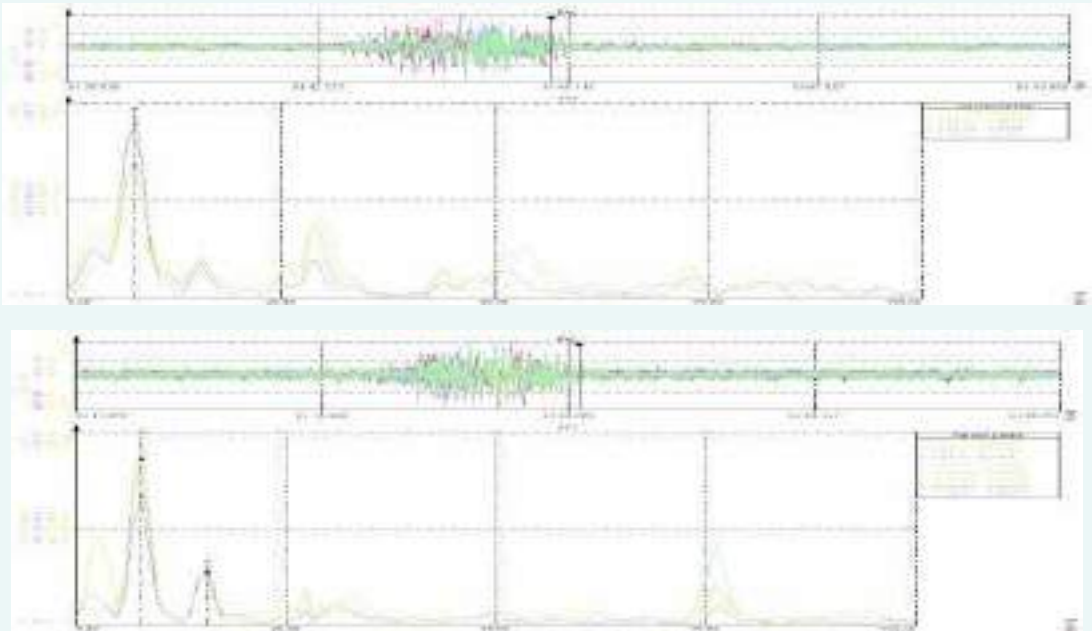
No.	Configuration	Frekuensi (Hz)	
		Peak 01	Peak 02
1	Truk #1 (V 10km/h)	7.81	46.88
2	Truk #2 (V 10km/h)	7.81	-
3	Truk #1 (V 25km/h)	7.81	-
4	Truk #2 (V 28km/h)	7.81	15.63
5	Truk #1 (V 35km/h)	7.81	15.63
6	Truk #2 (V 40km/h)	7.81	-
7	Truk #2 (V 50km/h)	7.81	-



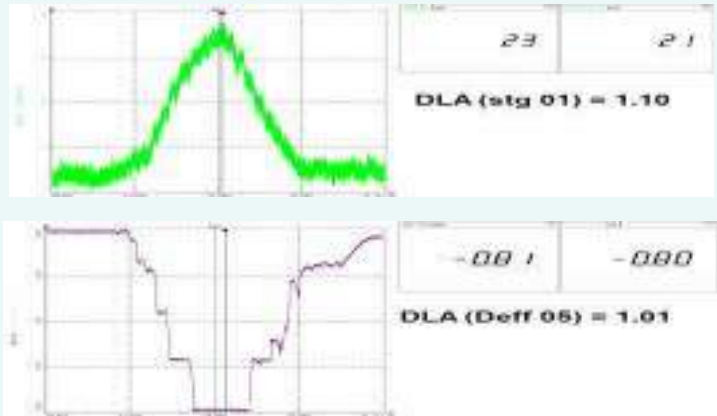
Gambar 4.17 Dokumentasi uji beban statis



Gambar 4.18 Sensor akselerometer pada saat truk bergerak



Gambar 4.19 Frequency spectrum



Gambar 4.20 Tegangan dan lendutan akibat beban dinamis

Sebagai referensi, jika formula empiris diterapkan untuk Jembatan Matani maka frekuensi alamnya adalah 7.508 Hz dimana panjang bentang adalah 16.65 m (diukur dari ujung ke ujung). Nilai tersebut mendekati nilai frekuensi alami yang langsung diukur untuk uji lapangan dengan getaran eksitasi yang diperoleh dengan memindahkan truk dengan kecepatan 10 km / jam ke 50 km / jam. Hasil penelitian menunjukkan dalam kesalahan yang wajar dengan kurang dari 3,879%.

Berdasarkan hasil uji beban statis dengan menggunakan hubungan nilai defleksi dengan beban, **Formula 4.3** maka kekakuan balok artificial yang setara dapat dengan mudah diperoleh. Dari percobaan beban statis jembatan dapat dihitung sebagai berikut:

$$P = 451 \text{ kN (Dua truk pembebanan simetris)}$$

$$\delta = 2.62 \text{ E-3 m (Lendutan akibat dua truk beban)}$$

$$M = 140 \text{ ton (Massa Jembatan)}$$

$$k = 4510.00262 = 172 \text{ 316 kN/m}$$

Dengan Formula 4.3 maka frekuensi alaminya dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$f = 0.159 \times (172 \text{ 316}/140)^{0.5} = 7.940 \text{ Hz.}$$

Ketika menghitung frekuensi alami berdasarkan formula yang mengacu pada Struktural Dinamis oleh Mario Paz, maka frekuensi balok pada perletakan sederhana seharusnya adalah, $f = 7.959 \text{ Hz}$. Hasil dari kedua frekuensi alami formula dekat dengan kesalahan kurang dari 1%.

Amplifikasi beban dinamis

Percobaan menggunakan beban truk sebesar $\pm 225 \text{ kN}$ yang bergerak di atas jembatan untuk memberikan respon regangan dan defleksi. Dari regangan dinamis diketahui bahwa faktor amplifikasi adalah 1,1 dan dari Pemindahan Dinamis adalah 1,01. Pengukuran respon dinamis ditunjukkan pada **Gambar 4.20 Tegangan dan lendutan akibat beban dinamis**, Regangan dinamis-defleksi dan kumpulkan pada **Tabel 4.11** untuk semua seri pengukuran yang memiliki rata-rata nilai 1,14 untuk regangan beton dan 1,03 untuk penguatan regangan.

Tabel 4.11 Dynamic load amplification (DLA)

No. Test	DLA Tegangan							DLA Lendutan				
	Beton					Baja		Defl01	Defl02	Defl03	Defl 04	Defl 05
	Stg 01	Stg 02	Stg 03	Stg 06	Stg 07	Stg 04	Stg 05					
#1: Truk 23ton V 10 km/h	1.05	1.03	1.03	1.07	1.00	1.00	1.00	1.03	1.00	1.01	1.00	1.01
	1.04					1.00		1.01				
#2: Truk 22ton, V 10 km/h	1.00	1.00	1.00	1.06	1.20	1.02	1.00	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01
	1.05					1.01		1.01				
#3: Truk 23ton, V 25 km/h	1.05	1.04	1.05	1.00	1.00	1.04	1.02	1.04	1.01	1.01	1.02	1.02
	1.03					1.03		1.02				
#4: Truk 22ton, V 28 km/h	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.02	1.02	1.00	1.00	1.01	1.01	1.00
	1.00					1.02		1.00				
#5: Truk 23ton, V 35 km/h	1.00	1.03	1.03	1.00	1.200	1.08	1.08	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01
	1.05					1.08		1.01				
#6: Truk 22ton, V 40 km/h	1.06	1.02	1.03	1.08	1.20	1.07	1.02	1.03	1.03	1.01	1.01	1.05
	1.08					1.05		1.03				
#7: Truk 23ton, V 50 km/h	1.00	1.05	1.00	1.00	1.00	1.02	1.07	1.02	1.02	1.00	1.04	1.01
	1.01					1.05		1.02				
#8: Truk 22ton, V 50 km/h	1.06	1.04	1.05	1.20	1.33	1.03	1.03	1.00	1.02	1.02	1.03	1.06
	1.14					1.03		1.03				
	1.04							1.02				

Faktor amplifikasi beban dinamis adalah perbandingan antara dari kendaraan bergerak kecepatan tinggi (> 15 km / jam) dan kendaraan bergerak kecepatan lebih rendah dari 15 km / jam (AASTHO). Nilai ditetapkan menjadi 1,33. Hasil percobaan menunjukkan bahwa DLFA di kisaran rasio 1,68-2,14.

Damping

Redaman kritis dapat dihitung berdasarkan hasil uji data time series yang ditampilkan pada **Gambar 4.21**.

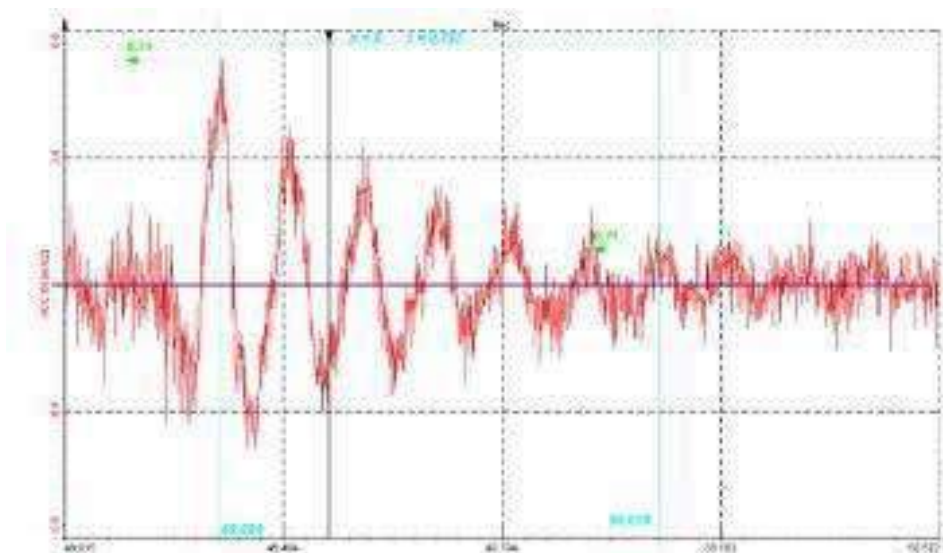
Redaman kritis dihitung menurut **Formula 4.6**:

$$h = \frac{\delta}{2\pi} = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{0.71}{0.11}\right) \times 100\%$$

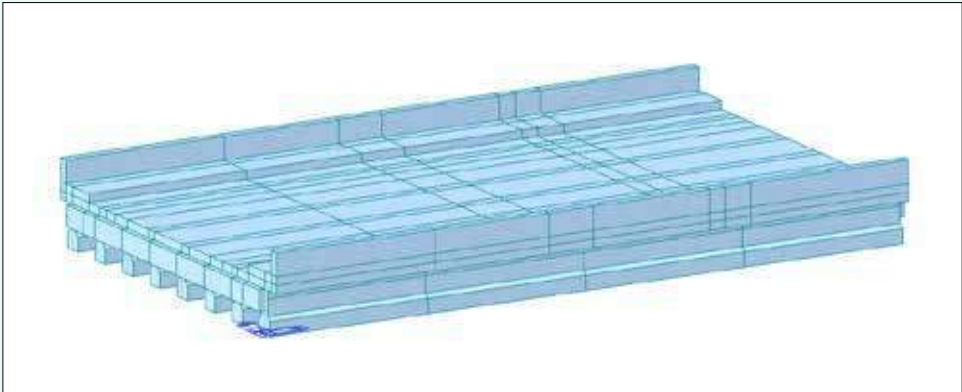
$$h = \frac{\delta}{2\pi} = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{0.71}{0.11}\right) \times 100\% \quad (4.6)$$

$$h = 4.496h = 4.496$$

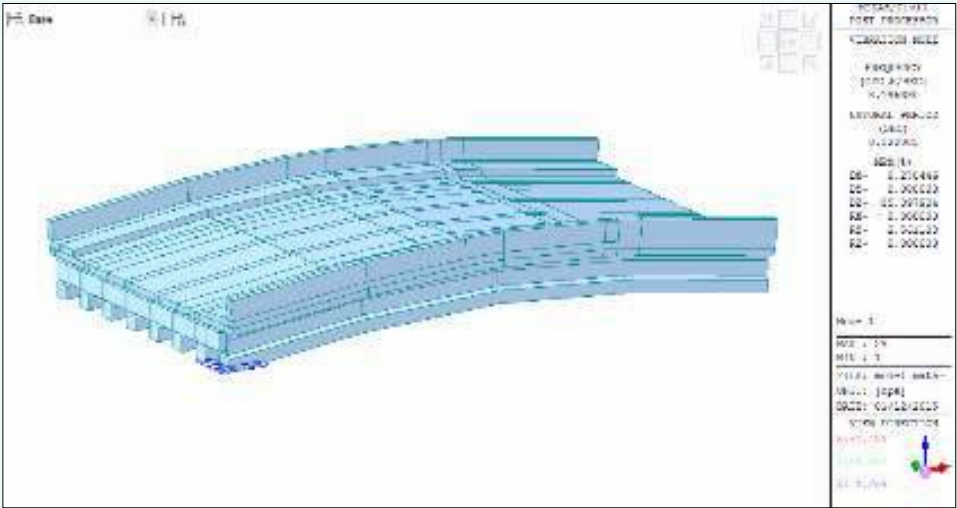
Nilai perkiraan untuk referensi dari redaman kritis.



Gambar 4.21 Time series getaran jembatan



Gambar 4.22 Model geometri



Gambar 4.23 Frekuensi alami pada analisis modal

Model analisis penuh Jembatan Matani

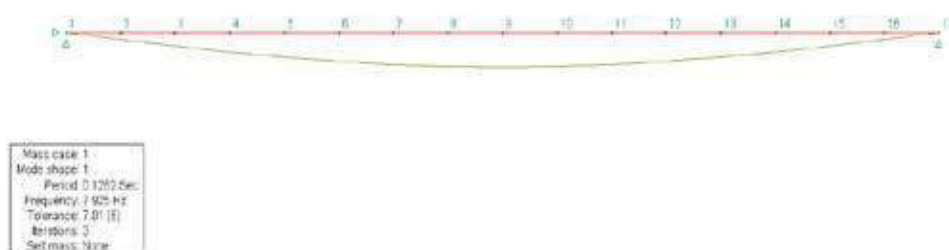
Berdasarkan geometri dan dimensi jembatan Matani, kemudian model numerik dapat dibuat seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.22**.

Sifat struktur jembatan diinput kedalam model (lihat spesifikasi) seperti: Kekuatan Beton K-350 dan Mass Density jembatan dan modulus Young dari beton yang memiliki korelasi sesuai kekuatan beton sebesar $E_c = 4700\sqrt{f_c}$.

Frekuensi alami dari jembatan Matani diperoleh dengan menggunakan analisis modal, yaitu, 8,196 Hz pada modus lentur pertama. Frekuensi ini berdekatan dengan hasil uji lapangan yaitu sebesar 7,810 Hz, dengan tingkat kesalahan sebesar 4,709%. **Gambar 4.23** menunjukkan bentuk pertama modus lentur dan asosiasi untuk frekuensi alami.

Model analisis artifisial jembatan Matani

Frekuensi alami dari Jembatan dapat juga diperoleh dengan menggunakan hasil uji kombinasi pembebanan statis dengan analisis modal. Dari pembebanan statis sebuah kekakuan balok dapat diperoleh dengan menggunakan **Formula 4.6**. Berdasarkan nilai kekakuan tersebut dengan menggunakan analisis modal dari bentang sederhana hanya didukung balok seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.24** frekuensi alami dari balok artifisial dapat ditentukan.



Gambar 4.24 Geometri balok artifisial

Ringkasan frekuensi alami

Tabel 4.12 menyajikan perbandingan nilai frekuensi alami dari berbagai sumber baik dari uji lapangan yang langsung diukur dari respon jembatan dinamis serta berdasarkan formula dan analisis numerik.

Tabel 4.12 Ringkasan frekuensi jembatan Matani

Metode kalkulasi	Simbol	Nilai (Hz)	Deviasi (%)
Frekuensi alami – Formula Empiris Pusjatan	f_{empiris}	7.508	Sesuai dengan
Uji beban dinamis lapangan	f_{dinamis}	7.810	Benchmarks/ Kondisi saat uji
UJI BEBAN STATIS:			
Formula 5.3	f_{statik}	7.940	Kondisi saat uji
Mario Paz	f_{statik}	7.959	Kondisi saat uji
MODAL ANALYSIS:			
Full bridge model	f_{model}	7.986	Kondisi saat uji
Artificial beam model (drive from static load test)	f_{beam}	7.925	Kondisi saat uji

NILAI KONDISI JEMBATAN BERDASARKAN RASIO FREKUENSI

Informasi tentang kondisi jembatan bisa diketahui dengan menggunakan frekuensi alami. Dalam sub-bab sebelumnya sudah dijelaskan metode untuk menentukan frekuensi alami, yaitu dengan menggunakan Formula Umum, Formula Empiris, dan Analisis Modal, untuk menentukan nilai kondisi jembatan baru. Sementara itu, pengukuran langsung di lapangan dengan *accelerometer* (percobaan dinamis) dan beban modulus statis dapat digunakan untuk menentukan kondisi jembatan yang ada.

$$K = \frac{|f_{\text{aktual}} - f_{\text{teoritis}}|}{f_{\text{teoritis}}} \tag{4.7}$$

Dimana:

K – Rasio frekuensi [%]

f_{aktual} – Frekuensi aktual [Hz]

f_{teoritis} – Frekuensi teoritis [Hz]

Dari **Tabel 4.12** di atas, nilai frekuensi alami yang diperoleh dari analisis modal model jembatan, diasumsikan sebagai jembatan yang baru dibangun, karena jembatan dihitung sesuai standar spesifikasi, dan hasil uji dinamis merupakan gambaran kondisi jembatan saat ini (hasil ini juga terlihat dari frekuensi alami yang dihitung berdasarkan formula, dan hasil pemodelan balok artifisial dengan rentang error 1,5%), kemudian dilakukan perhitungan berdasarkan **Formula 4.8**, $K = |7.810 - 7.896| / 7.896 = 2.20\%$.

Pemeriksaan juga dilakukan terhadap beberapa jembatan yang ada sebagai data pendukung penelitian yang dapat dilihat pada **Tabel 4.13**.




Tabel 4.13 Rasio frekuensi alami (K%)





No	Jembatan/Lokasi/ Bentang	Jembatan baru (Hz)	Kondisi saat diuji (Hz)	Formula empiris Pusjatan (Hz)	K(%)
1	Jembatan Matani/ Sulawesi Utara/ 16.35 meter	7.986	7.810	-	2.200
2	Jembatan Ciberes A/ Jawa Barat/10 meter	12.500	10.250	-	18.000
3	Jembatan Ciberes-B/ Jawa Barat/10 meter	12.50	9.760	-	21.920
4	Jembatan Ciberes-C / Jawa Barat/ 8 meter	16.000	11.720	-	26.750

Tabel 4.13 Rasio frekuensi alami (K%) - lanjutan





No	Jembatan/Lokasi/ Bentang	Jembatan baru (Hz)	Kondisi saat diuji (Hz)	Formula empiris Pusjatan (Hz)	K(%)
5	Jembatan Cilalawi-A/ Jawa Barat/36 meter	3.145	3.173	-	0.890
6	Jembatan Sario / Sulawesi Utara/ 20.8 meter	5.419	5.370	-	0.904
7	Jembatan Ciherang / Jawa Barat/70 meter	-	1.950	1.786	9.183
8	Jembatan Ciasem / Jawa Barat/70 meter	-	1.560	1.786	12.650
9	Jembatan Cimanuk / Jawa Barat/90 meter	-	1.170	1.389	3.539
10	Jembatan Cimuja/ Jawa Barat	7.763	7.200	-	7.250
11	Jembatan Cibereum / Jawa Barat /	11.831	11.110	-	6.090
12	Jembatan Cipeles/Jawa Barat/	3.421	3.360	-	1.780
13	Underpass KM.15+408 A/ Jawa Barat/12.5 m (Tol- Jagorawi)	-	7.810	8.000	2.375
14	Underpass KM.15+408 A/ Jawa Barat/15 m (TolJagorawi)	-	5.860	6.667	12.104
15	Underpass KM.23+225 A/ Jawa Barat /12 m (Tol- Jagorawi)	-	7.810	8.333	6.276
16	Underpass KM.23+225 A/ Jawa Barat /15 m (Tol- Jagorawi)	-	5.860	6.777	12.104
17	Jembatan Tinalun / Jawa Tengah/40.6 meter (Tol Semarang Bawean)	-	3.300	3.079	7.177



Tabel 4.14 Hubungan antara hasil pemeriksaan visual dengan rasio (K) hasil uji getaran jembatan

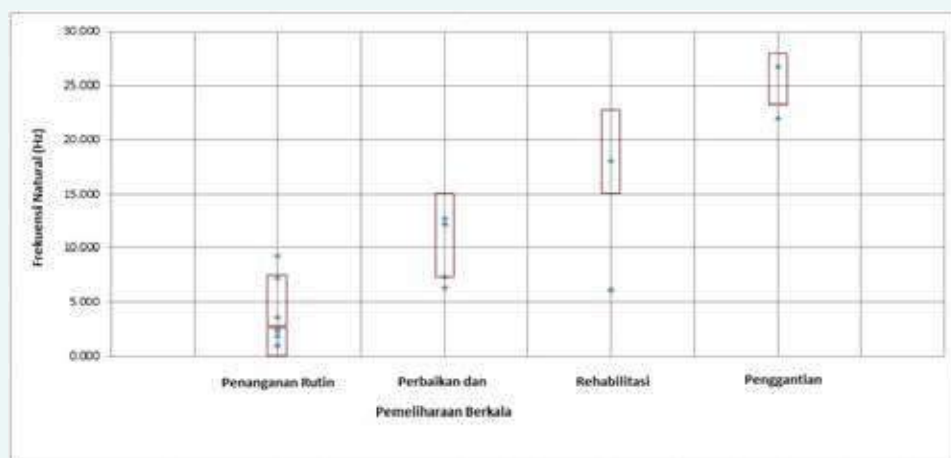
No	Jembatan/Lokasi/Bentang	K (%)	Foto	Nilai kondisi pemeriksaan visual
1	Jembatan Matani/Sulawesi Utara/16.35 meter	2.20		Elemen yang mengalami kerusakan perlu dilakukan pemeliharaan rutin. Berdasarkan pemeriksaan jembatan dengan metode baru Jembatan matani dalam kondisi baik (Nilai kondisi = 0-1). Jembatan dibuka untuk lalu lintas pada 2014 September
2	Jembatan Ciberes A/ Jawa Barat/10 meter	18.0		Gelagar terkikis dan tulangan terlihat. Telah dilakukan grouting pada program pemeliharaan di masa lalu. Sekarang, jembatan baru dibangun di dekatnya. (Nilai kondisi = 3)
3	Jembatan Ciberes-B/ Jawa Barat/10 meter	21.92		Gelagar terkikis dan sudah diperkuat pelat baja. Selama pemeriksaan beberapa pelat sudah lepas. Sekarang, jembatan baru dibangun di dekatnya (Nilai kondisi > 4)

No	Jembatan/Lokasi/ Bentang	K (%)	Foto	Nilai kondisi pemeriksaan visual
4	Jembatan Ciberes-C /Jawa Barat/ 8 meter	26.75		Lantai jembatan memiliki retak struktural berat, tulangan terlihat beton Gelagar terkikis. Telah di-routing yang merupakan program pemeliharaan di masa lalu. Jembatan baru dibangun di dekatnya. (Nilai Kondisi > 4)
5	Jembatan Cilalawi-A/Jawa Barat/ 36 meter	0.89		Jembatan dalam kondisi baik (Nilai kondisi = 0-1)
6	Jembatan Sario / Sulawesi Utara/ 20.8 meter	0.904		jembatan baru, terbuka untuk lalu lintas pada Desember 2014 (Penilaian = 0, diperlukan perawatan rutin)
7	Jembatan Ciherang / Jawa Barat/70 meter	9.183		Jembatan gelagar komposit baja, dengan bentuk trapesium dan diperkuat pelat beton di atasnya (Penilaian = 0, diperlukan perawatan rutin)

No	Jembatan/Lokasi/ Bentang	K (%)	Foto	Nilai kondisi pemeriksaan visual
8	Jembatan Ciasem / Jawa Barat/70 meter	12.65		Jembatan Gelagar komposit baja dengan bentuk I- dengan diperkuat pelat beton di atasnya (Penilaian = 0, diperlukan perawatan rutin)
9	Jembatan Cimanuk / Jawa Barat/90 meter	3.54		Jembatan Gelagar komposit baja dengan bentuk I- dengan diperkuat pelat beton di atasnya (Penilaian = 0, diperlukan perawatan rutin)
10	Jembatan Cimuja/Jawa Barat	7.25		Jembatan gelagar beton, memerlukan perawatan rutin (Peringkat = 2, pemeliharaan rutin)
11	Jembatan Cibereum /Jawa Barat/	6.09		Korosi pada baja Gelagar yang memerlukan perawatan rutin (Peringkat = 2, pemeliharaan rutin)

No	Jembatan/Lokasi/ Bentang	K (%)	Foto	Nilai kondisi pemeriksaan visual
12	Jembatan Cipeles/Jawa Barat/	1.78		Korosi pada baja Gelagar yang memerlukan perawatan rutin (Nilai kondisi = 2, pemeliharaan rutin)
13	Underpass KM.15+408 A/Jawa Barat/ 12.5 m (TolJagorawi)	2.375		Jembatan tipe voided slab pra-cetak beton Indonesia (VPI). Pre-cetak beton mengalami retak (Nilai kondisi = 2, pemeliharaan rutin)
14	Underpass KM.15+408 A/Jawa Barat/ 15 m (TolJagorawi)	12.10		Jembatan tipe voided slab pra-cetak beton Indonesia (VPI). Pre-cetak beton mengalami retak (Nilai kondisi = 2, pemeliharaan rutin)
15	Underpass KM.23+225 A/ Jawa Barat / 12 m (TolJagorawi)	6.276		Jembatan tipe voided slab pra-cetak beton Indonesia (VPI). Pre-cetak beton mengalami retak (Nilai kondisi = 2, pemeliharaan rutin)

No	Jembatan/Lokasi/ Bentang	K (%)	Foto	Nilai kondisi pemeriksaan visual
16	Underpass KM.23+225 A/ Jawa Barat / 15 m (TolJagorawi)	12.10		Jembatan tipe voided slab pra-cetak beton Indonesia (VPI). Pre-cetak beton mengalami retak (Nilai kondisi = 2, pemeliharaan rutin)
17	Jembatan Tinalun / Jawa Tengah/ 40.6 meter (Tol Se- marang Bawean)	7.18		Jembatan Gelagar pra-cetak I (GPI). Terdapat keropos di diafragma karena pemadatan yang tidak sempurna dan tulangan tampak terlihat (Nilai kondisi = 1, perawatan rutin)



Gambar 4.25 Program pemeliharaan vs Rasio K

Tabel 4.15 Rasio nilai K vs Nilai kondisi pemeriksaan visual dan program pemeliharaan

No.	Nama Jembatan	Nilai Kondisi Pemeriksaan Visual	K (%)	Tindakan perbaikan
1	Matani	0	2.2	Belum diperlukan Perbaikan
2	Ciberes-A	3	18.0	Rehabilitasi
3	Ciberas-B	4	21.92	Penggantian
4	Ciberas-C	4	26.75	Penggantian
5	Cilalawi-A	1	0.89	Pemeliharaan rutin
6	Sario	0	0.904	Pemeliharaan rutin
7	Ciherang	1	9.18	Pemeliharaan rutin
8	Ciasem	2	12.65	Perbaikan
9	Cimanuk	1	3.539	Pemeliharaan rutin
10	Cimuja	2	7.25	Perbaikan
11	Cibereum	3	6.09	Pemeliharaan rutin
12	Cipeles	0	1.78	Pemeliharaan rutin
13	Underpass KM.15+408 A	1	2.375	Pemeliharaan rutin
14	Underpass KM.15+408 A	2	12.104	Perbaikan
15	Underpass KM.23+225 A	2	6.276	Pemeliharaan rutin
16	Underpass KM.23+225 A	2	12.104	Perbaikan
17	Tinalun	1	7.18	Pemeliharaan rutin

Tabel 4.16 Nilai kondisi berdasarkan rasio frekuensi

No.	Penjelasan Hasil Pemeriksaan Visual	Rating Visual	Usulan Program Penanganan	Rasio Frekuensi K(%)
1	Elemen jembatan dalam kondisi Baik dan tanpa kerusakan.	0	Pemeliharaan rutin	$0 < K \leq 2.5$
2	Elemen jembatan mengalami rusak ringan dan memerlukan Pemeliharaan rutin.	1	Pemeliharaan rutin	$2.5 < K \leq 7.5$
3	Elemen jembatan mengalami kerusakan dan memerlukan pemantauan dan pemeliharaan berkala di masa mendatang. Pemeliharaan dalam waktu 12 bulan.	2	Perbaikan dan Pemeliharaan berkala	$7.5 < K \leq 15.0$
4	Elemen jembatan mengalami kerusakan yang memerlukan perhatian segera atau perawatan khusus secepatnya	3	Rehabilitasi	$15.0 < K \leq 22.5$
5	Elemen jembatan dalam kondisi kritis, yang membutuhkan perhatian segera, perlu Penggantian atau Rehabilitasi	4	Penggantian	$22.5 < K \leq 27.5$
6	Elemen jembatan tidak berfungsi, rusak, atau runtuh.	5	Penggantian	NA

PEMERIKSAAN JEMBATAN DENGAN INSTRUMENTASI DAN PENILAIAN BERDASARKAN FEKUENSI

Pemeriksaan dengan metode instrumentasi dilakukan untuk memperoleh data frekuensi jembatan, kemudian dibandingkan dengan frekuensi awal jembatan (empiris). Dari kedua frekuensi akan ada perbedaan yang ditandai dengan K dalam %.

Untuk jembatan yang akan diperiksa, pengawas lapangan harus mencari data historis. Hal ini penting untuk dilakukan untuk melihat perbedaan frekuensi jembatan. Jika ditemukan perbedaan frekuensi (K dalam %), nilai dapat dikorelasikan dengan cacat seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.16**.

Menurut Tristanto 2002, rasio frekuensi alami dapat dikoreksi dengan nilai kondisi yang diperoleh dari inspeksi visual. Dalam penelitian ini korelasi dibuat berdasarkan penanganan untuk kerusakan pada elemen atau komponen jembatan sepenuhnya seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.16**. ■

5

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang meliputi kajian pustaka, survey, dan analisis, dapat diambil beberapa kesimpulan dan rekomendasi sebagai berikut:

KESIMPULAN

1. Sistem BMS'92 Indonesia dikembangkan pada tahun 1990, dan perlu diperbarui seiring dengan kemajuan teknologi informasi dan kemajuan pengetahuan struktural jembatan saat ini, termasuk desentralisasi pemerintah. Indikator yang digunakan dalam pemeriksaan jembatan sesuai BMS'92 sudah cukup untuk memberikan gambaran yang akurat dari kondisi jembatan secara mendetail. Oleh karena itu, pengembangan sistem inspeksi dilakukan dengan mengamati elemen-elemen tertentu yang biasanya terjadi sering mengalami kerusakan.
2. Inspektur dari pemerintah daerah belum memiliki kompetensi yang cukup untuk memberikan hasil luaran data inspeksi jembatan yang baik. Hal ini terjadi karena kurangnya

pembinaan oleh pemerintah pusat terkait dengan kegiatan pemeriksaan kondisi jembatan.

3. Tingkat kompleksitas dan faktor-faktor yang mempengaruhi subjektivitas inspektor berkurang dengan adanya model pemeriksaan jembatan yang baru. Hal ini dilakukan dengan cara menentukan daerah fokus pemeriksaan seperti memisahkan elemen struktural dan elemen non-struktural, sehingga dapat memberikan data yang lebih objektif. Matriks validasi dan katalog kerusakan digunakan untuk mengontrol konsistensi pemeriksaan.
4. Pemeriksaan jembatan dengan cara pengukuran getaran (instrumentasi) menghasilkan Peringkat/rating yang sama dengan rating yang dihasilkan menggunakan metode baru untuk pemeriksaan visual. Pengujian getaran jembatan memberikan keuntungan dari segi biaya dan kemudahan dalam pelaksanaan dilapangan, antara lain seperti:
 - Pengujian getaran tidak memerlukan peralatan khusus atau kendaraan khusus, melainkan menggunakan kendaraan lalu lintas biasa yang melewati diatas jembatan lantai.
 - Pengukuran getaran dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan yang umum beredar dipasaran, dengan hasil yang tetap akurat.
 - Lokasi penempatan sensor getaran tidak selalu diperlukan di tengah bentang. Pengukuran pada titik-titik lain dari lokasi masih menghasilkan hasil yang konsisten.
 - Uji getaran mengurangi biaya pemeriksaan hingga 50%, dibandingkan dengan metode inspeksi visual mendetail. Terutama, ketika populasi jembatan dengan rating kondisi “0” ke “1” mendominasi dengan sekitar 68% di Indonesia.
5. Untuk jembatan dengan nilai kondisi “2” untuk “4”, masih memerlukan inspeksi visual mendetail, karena akan ditentukan tingkat dan lokasi kerusakan, di mana tindakan rehabilitasi akan dilakukan.
6. Beberapa perbedaan (manfaat) antara BMS’92 dan model baru pemeriksaan jembatan ditampilkan dalam **Tabel 5.1**.

Tabel 5.1 Perbandingan BMS'92 dan Model Baru

Parameter	BMS'92	Model Baru
Hirarki elemen jembatan	Kompleks, elemen struktur bercampur dengan elemen-elemen non-struktural	Sederhana, hanya elemen prioritas yang dianggap menyebabkan kegagalan jembatan
Elemen yang diperiksa	Tidak tercantum pada formulir inspeksi	Elemen prioritas yang tercantum dalam formulir inspeksi
Metode inspeksi	Metode standar berdasarkan alokasi anggaran inspeksi	Pemeriksaan berkelanjutan, dengan tahap hasil proses serah terima (PHO) sebagai <i>backup</i> data Untuk nilai kondisi "0" dan "1", metode inspeksi cukup dilakukan dengan metode uji getaran jembatan, lebih cepat, dan murah
Metode penilaian	Penilaian berhirarki, dari level 5 (elemen terkecil) ke level 1 (jembatan secara keseluruhan)	Kelompok elemen dengan nilai presentasi kontribusi (bobot) untuk penilaian kondisi jembatan secara langsung
Keandalan dari hasil	Tidak ada ukuran kuantitatif, Subjektivitas tinggi	Korelasi dengan tujuan hasil uji getaran, mengurangi subjektivitas dan lebih objektif

SARAN

1. Pengembangan penelitian ini diharapkan dapat menyelesaikan masalah lain yang lebih spesifik dan dilakukan dengan pemerintah-pemerintah daerah.
2. Sertifikasi dan standar kompetensi inspektor jembatan perlu segera ditetapkan dan didukung oleh peraturan pemerintah.
3. Tingkat kepentingan untuk masing-masing elemen jembatan berdasarkan S, R, K, F, dan P harus dikembangkan lebih lanjut dengan penjelasan yang lebih detail diantaranya dengan gambar-gambar kerusakan untuk setiap elemen.
4. Untuk pemeriksaan optimal, katalog kerusakan untuk setiap elemen jembatan harus dikembangkan.

5. Perlu melibatkan inspektur jembatan di Tim PHO, yang merekam kondisi jembatan yang baru dibangun. Data jembatan di input ke database jembatan dan pemeriksaan rutin harus dilakukan oleh kru pemeliharaan sebagai masukan untuk pemeriksaan detail visual yang akan dilakukan setiap 3 sampai 5 tahun.
6. Manual pemeriksaan jembatan perlu didukung oleh kebijakan, diantaranya yaitu kebijakan pemerintah untuk melibatkan administrator jembatan yang bertanggung jawab untuk memastikan bahwa kegiatan pengelolaan jembatan dilakukan sesuai dengan peraturan yang ada.
7. Pemeriksaan jembatan dengan alat yang dikembangkan dalam penelitian ini, hanya untuk jembatan bentang tunggal (single-span) Gelagar tipe I. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk tipe jembatan rangka baja, bentang jembatan menerus, dan tipe jembatan lainnya.
8. Analisis getaran yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan data frekuensi alami jembatan, di mana nilai kondisi jembatan sangat berkaitan dengan mode lentur. Perlu adanya pengembangan lebih lanjut terkait penggunaan data frekuensi alami dalam melakukan pencarian dan penilaian kerusakan pada elemen-elemen jembatan. ■

DAFTAR PUSTAKA

- Chopra, K. Anil, 2012, Dynamics of Structure, Theory and Application to Earthquake Engineering, 4th Edition, Prentice Hall, Boston, 2012.
- Communities and Local Government Publications, 2009. Multi-criteria analysis: a manual. Department for Communities and Local Government: London. ISBN: 978-1-4098-1023-0.
- Dewetron, 2011, Dewetron Module. Programmers Reference Manual. DEWETRON elektronische Messgeraete Ges.m.b.H.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1993), "Panduan Pemeriksaan Jembatan (*Bridge Management System*): Petunjuk Untuk Menilai Struktur dan Tingkat Kerusakannya", Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Direktorat Bina Teknik (Bintek), 2014, Database Jembatan Indonesia, Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Goepel, K. D. (2014), "Business Performace Management – AHP Calculator Excel Template", (<http://bpmsg.com>, diakses 12 Desember 2014)
- Hadi, B. (2003), "Pengembangan Metode Penilaian Kondisi Jembatan Kereta Api Dengan Menggunakan Model Indeks Kondisi", Tesis Magister Bidang Manajemen dan Rekayasa Konstruksi, Program Magister Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.
- Hearn, G., et.al. (2000) "Bridge Maintenance and Management: A look to the future. The Proceeding of the TRB 81st Annual Meeting: A3C06: Structures Maintenance and Management. 2000.
- Henriksen, A. (1999). "Bridge Management – Routine Maintenance: Recent Experience with the Routine Management Module in the DANBRO Bridge Management System" in "Proceedings of the 8th International Bridge Management Conference", Transportation Research Board, Denver, Colorado, I-15/1-13.
- Kostawan, E. (2006), "Pengembangan Penilaian Kondisi Jembatan Rangka Baja Dengan Metode Pendekatan Proses Hierarki Analisis (PHA)", Tesis Magister, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.

- Main Road Western Australia. (2013), "Detailed Visual Bridge Inspection Guide Lines for Concrete and Steel Bridges (Level 2 Inspection)", The Government of Western Australia, Document No: 6706-02-2233.
- Marsuki M., Triwiyono A., Christady H. (2009), "Penilaian Kondisi Jembatan Dengan Metode NYSDOT.", Forum Teknik Sipil, No.XIX/1-Januari-2009.
- Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan, 2014. Hasil Penelitian Lapangan Jembatan Matani
- Sanford, K.L., Herabat P., dan McNeil S. (1999), "Bridge Management and Inspection Data : Leveraging The Data and Identifying The Gaps", International Bridge Management Conference (8th : 1999 : Denver, Colo.).
- Suksuwan, N., dan Hadikusumo, B. H. W. (2010), "Condition *Rating* System for Thailand's Concrete Bridges", Journal of Construction in Developing Countries, Vol. 15(1), 1-27, Universiti Sang Malaysia.
- Syamsudin, N. (2003), "Kajian Sistem Manajemen Pengelolaan Jembatan Dalam Rangka Pelaksanaan Otonomi Daerah", Tesis Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana, Universitas Katolik Parahyangan Bandung.
- Tawi, M. (2013), "Pengukuran Sikap Skala Likert", (<http://Syehaceh.Wordpress.com>, diakses 25 Agustus 2014)
- Tonias, D.E, and Zhao, Jim J., (2007), Bridge Engineering: Design, Rehabilitation, and Maintenance of Modern Highway Bridges, Second Edition, McGraw-Hill.
- Tristanto, Lanneke (2002). Panduan Pemeriksaan Bangunan Bawah dengan Metode Getaran. Kimpraswil. Pt-06-2002-B.
- Vaza, H., et.al, 2015, Bridge Condition Rating: Correlation result From Updated Indonesian Bridge Inspection Guideline to Instrumented Field Test, Proceedings of the 8th International Symposium on Steel Structures, ISBN.978-89-8225-462-8 November 5-7, 2015, Jeju, Korea.
- Yokoyama, Kazuaki, et al. "Development of Bridge Management System for Expressway Bridges in Japan." Proceedings of the 3rd International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management-Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost. 2006.

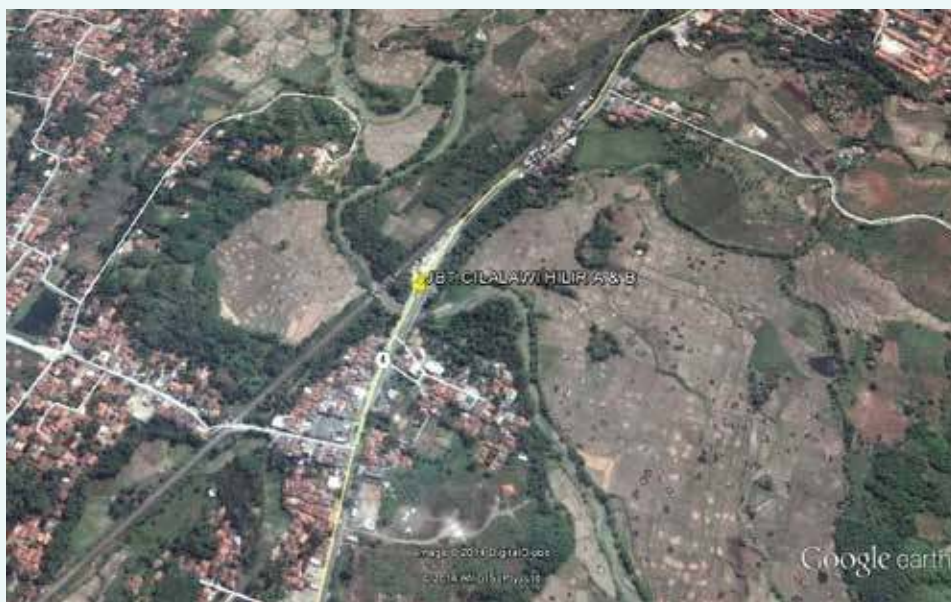
LAMPIRAN A: GAMBAR KONDISI JEMBATAN CILALAWI

Gambar Jembatan Cilalawi-A dan Cilalawi-B

Lokasi Jembatan berdasarkan GPS:

06° 37' 08,9" SL

107°24' 16.6"EL



Gambar A.1 Tampak Citra Satelit (map.google.com)



Gambar A.2 Tampak depan Jembatan Cilalawi-A



Gambar A.3 Tampak Samping Jembatan Cilalawi-A



Gambar A.4 *Tampak depan Jembatan Cilalawi-B*



Gambar A.5 *Tampak samping Jembatan Cilalawi-B*

Gambar Kerusakan Pada Elemen Jembatan

JEMBATAN CILALAWI- A



Gambar A.6 *Aliran Air Sungai*



Gambar A.7 Bangunan Pelindung Gerusan



Gambar A.8 Drainase Tanah Timbunan



Gambar A.9 Kepala Jembatan



Gambar A.10 Sistem Lantai



Gambar A.11 Sambungan Siar Muai



Gambar A.12 Perletakan



Gambar A.13 Sandaran/Railing

JEMBATAN CILALAWI- B

Gambar A.14 Aliran Air Sungai



Gambar A.15 Bangunan
Pelindung Gerusan



Gambar A.16 Kepala Jembatan dan Pilar



Gambar A.17 Sistem Gelagar



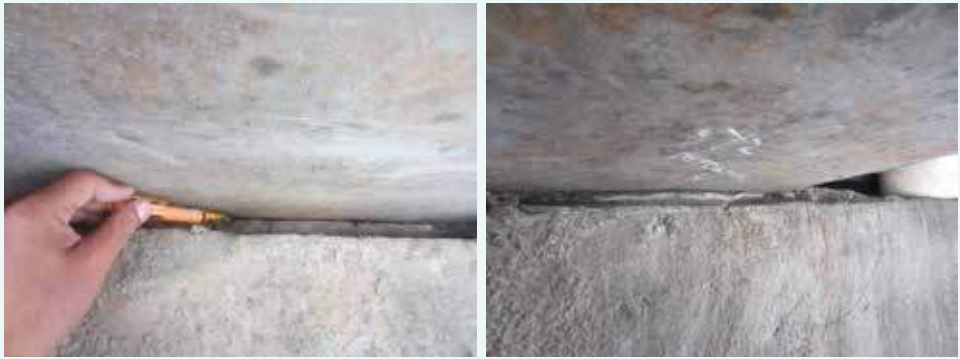
Gambar A.18 Sistem Lantai



Gambar A.18 Sistem Lantai



Gambar A.19 Sambungan Siar Muai



Gambar A.20 Perletakan Karet



Gambar A.21 Parapet

LAMPIRAN B: CONTOH KUESIONER

Nama*	:	
Instansi	:	
Pendidikan/Jabatan	:	
Pengalaman di bidang Jembatan	:	<input type="checkbox"/> < 5 Tahun, <input type="checkbox"/> 5 s/d 10 Tahun, <input type="checkbox"/> 10 Tahun >

KUESIONER

(*) Boleh Dikosongkan

Penjelasan Kuesioner

Kuesioner ini disusun untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan terkait dengan pengembangan metode penilaian rating kondisi jembatan, dimana penggunaan panduan pemeriksaan visual dan penentuan nilai kondisi struktur jembatan dimana saat ini masih menggunakan *Bridge Management System* (BMS) 1992.

Kuesioner ini ditujukan untuk mengetahui tingkat kepentingan dari masing-masing elemen JEMBATAN, berdasarkan kriteria penting yang diperlukan dalam perencanaan jembatan yang dapat dikorelasikan menjadi seberapa penting masing-masing elemen jembatan terhadap jembatan itu sendiri. Kriteria tersebut diantaranya adalah kekuatan, kenyamanan, ketahanan, tingkat kesulitan dalam melakukan perbaikan dan dampak yang diakibatkan bila elemen tersebut rusak atau mengalami kegagalan. Lingkup dari penelitian ini dikhususkan untuk jembatan dengan sistem gelagar. Kemudian dilakukan analisis untuk menentukan bobot dari masing-masing elemen dan jenis kerusakan yang ada.

Petunjuk Pengisian

Elemen Jembatan	Desain Kekuatan		
	Cukup Kuat	Kuat	Sangat Kuat
Lantai			

Isilah pada salah satu kolom yang kosong dengan (√) atau (X)

Kriteria Kekuatan (Ultimate/Strength)

Yang dimaksud dengan **KRITERIA KEKUATAN** adalah bahwa elemen tersebut dirancang sedemikian rupa sehingga biasanya memenuhi “persyaratan kekuatan” dalam menahan beban rencana (provision to strength design). Sebuah elemen harus memiliki kriteria ini apabila dianggap memiliki fungsi penting terhadap jembatan atau apabila elemen itu gagal dalam kriteria kekuatan ini maka jembatan tidak bisa digunakan.

No.	Elemen Jembatan	Persyaratan Kekuatan (Strength provision)		
		Jarang	Tidak Tahu	Selalu
1	Lantai			
2	Gelagar			
3	Diafragma			
4	Siar Muai			
5	Perletakan			
6	Pile-cap			
7	Dinding Abutment, Pilar, dan Kolom			
8	Dinding Sayap			
9	Pedestal			
10	Pengaku Pada Kolom			
11	Kepala Pilar			
12	Pondasi			
13	Tanah Timbunan			
14	Bangunan Pelindung (Scouring)			
15	Aliran Sungai			

Kriteria Kemampuan Layan (Serviceability/Kenyamanan)

Yang dimaksud dengan **KRITERIA KEMAMPUAN LAYAN** adalah bahwa elemen tersebut dirancang sedemikian rupa sehingga biasanya memenuhi fungsi struktur yang disyaratkan, berhubungan dengan tampilan, stabilitas dan kemampuan layan mengatasi pembebanan rencana seperti defleksi, vibrasi, deformasi permanen, dan persyaratan-persyaratan kemampuan layan lainnya.

No.	Elemen Jembatan	Persyaratan Kemampuan Layan (serviceability provision)		
		Jarang	Tidak Tahu	Selalu
1	Lantai			
2	Gelagar			
3	Diafragma			
4	Siar Muai			
5	Perletakan			
6	Pile-cap			
7	Dinding Abutment, Pilar, dan Kolom			
8	Dinding Sayap			
9	Pedestal			
10	Pengaku Pada Kolom			
11	Kepala Pilar			
12	Pondasi			
13	Tanah Timbunan			

No.	Elemen Jembatan	Persyaratan Kemampuan Layan (serviceability provision)		
14	Bangunan Pelindung (Scouring)			
15	Aliran Sungai			

Kriteria Durabilitas (Durability/Detoriration)

Yang dimaksud dengan **KRITERIA DURABILITAS** adalah bahwa elemen tersebut harus mampu atau tahan terhadap kondisi lalu-lintas dan pengaruh lingkungan dalam jangka waktu tertentu. Sama halnya dengan kriteria kekuatan, kriteria durabilitas harus dimiliki oleh elemen jembatan dimana apabila terjadi kegagalan terhadap elemen tersebut maka jembatan tidak dapat digunakan.

No.	Elemen Jembatan	Persyaratan Durabilitas		
		Jarang	Tidak Tahu	Selalu
1	Lantai			
2	Gelagar			
3	Diafragma			
4	Siar Muai			
5	Perletakan			
6	Pile-cap			
7	Dinding Abutment, Pilar, dan Kolom			
8	Dinding Sayap			
9	Pedestal			
10	Pengaku Pada Kolom			
11	Kepala Pilar			

No.	Elemen Jembatan	Persyaratan Durabilitas		
12	Pondasi			
13	Tanah Timbunan			
14	Bangunan Pelindung (Scouring)			
15	Aliran Sungai			

Kriteria Kemudahan Perbaikan/Penggantian Elemen Jembatan (Remedial Action)

Kriteria selanjutnya adalah tingkat kesulitan dalam melakukan perbaikan apabila elemen mengalami kerusakan. Kriteria ini menjadi penting karena apabila dalam proses perbaikan elemen yang rusak tersebut dinilai sulit maka berpengaruh terhadap biaya, waktu dan akses alternatif yang harus ditempuh oleh pengguna jalan.

No.	Elemen Jembatan	Kemudahan Perbaikan/Penggantian Elemen				
		Sangat Mudah	Mudah	Cukup Mudah	Sulit	Sangat Sulit
1	Lantai					
2	Gelagar					
3	Diafragma					
4	Siar Muai					
5	Perletakan					
6	Pile-cap					
7	Dinding Abutment, Pilar, dan Kolom					
8	Dinding Sayap					
9	Pedestal					

No.	Elemen Jembatan	Kemudahan Perbaikan/Penggantian Elemen				
10	Pengaku Pada Kolom					
11	Kepala Pilar					
12	Pondasi					
13	Tanah Timbunan					
14	Bangunan Pelindung (Scouring)					
15	Aliran Sungai					

Pengaruh Kerusakan Elemen Terhadap Fungsi Jembatan

Kriteria yang terakhir adalah mengenai dampak negatif atau fatalitas yang diakibatkan terhadap struktur jembatan apabila elemen mengalami kerusakan. Elemen yang memiliki kriteria fatalitas adalah elemen yang apabila mengalami kerusakan maka pengguna jalan tidak dapat menggunakan jembatan.

No.	Elemen Jembatan	Pengaruh Kerusakan Elemen Terhadap Fungsi Jembatan		
		Tidak Berpengaruh	Berpengaruh	Sangat Berpengaruh
1	Lantai			
2	Gelagar			
3	Diafragma			
4	Siar Muai			
5	Perletakan			
6	Pile-cap			
7	Dinding Abutment, Pilar, dan Kolom			
8	Dinding Sayap			

No.	Elemen Jembatan	Pengaruh Kerusakan Elemen Terhadap Fungsi Jembatan		
9	Pedestal			
10	Pengaku Pada Kolom			
11	Kepala Pilar			
12	Pondasi			
13	Tanah Timbunan			
14	Bangunan Pelindung (Scouring)			
15	Aliran Sungai			

LAMPIRAN C



BALAI JEMBATAN DAN BANGUNAN PELENGKAP JALAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT REPUBLIK INDONESIA

Ver. 1.0

RESUME LAPORAN PEMERIKSAAN MENDETAIL JEMBATAN

No. Jembatan												

LINK SUFFIX

Nama Jembatan		Cabang
Lokasi Jembatan	dari	Km jarak dari kota asal tersebut
Tanggal Pemeriksaan	Nama Pemeriksa	NIP

DATA INVENTARISASI

Apakah Data Inventarisasi Betul ?	(lingkari jawaban)	Ya	Tidak
Apabila data tidak betul, perbaikan dapat dibuat pada cetakan database dengan tinta merah dan lampirkan pada halaman ini			

PEMERIKSAAN KHUSUS

Apakah Pemeriksaan Khusus Disarankan ?			(lingkari jawaban)	Ya	Tidak
Elemen-elemen yang memerlukan Pemeriksaan Khusus					
Kode Elemen	Lokasi	Alasan untuk melakukan Pemeriksaan Khusus			

TINDAKAN DARURAT

Apakah Tindakan Darurat Disarankan ?			(lingkari jawaban)	Ya	Tidak
Elemen-elemen yang memerlukan Pemeriksaan Darurat					
Kode Elemen	Lokasi	Alasan untuk melakukan Pemeriksaan Darurat			

Diperiksa Oleh Atasan Langsung (Nama Jelas)	Tanda Tangan

Form Pemeriksaan Detail Jbt.



BALAI JEMBATAN DAN BANGUNAN PELENGKAP JALAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT REPUBLIK INDONESIA

Ver. 1.0

LAPORAN PEMERIKSAAN MENDETAIL JEMBATAN

Nama Jembatan :		Cabang :	
Lokasi Jembatan :	Dari :	Km :	
Tanggal Pemeriksaan :	Nama Pemeriksa :	NIP :	

No. Jembatan

LINK SUFFIX

Elemen		Kerusakan		Level 4								Level 3								Bobot Elemen (%)	NK x Bobot			
Kode	Uraian (pilihan)	Kode	Uraian (pilihan)	Lokasi				Volume		Nilai Kondisi				Nilai Kondisi										
				A/P/B	X	Y	Z	Qty	Satuan	S	R	K	F	P	NK	S	R	K	F	P	NK			
	Pondasi																							
	Pile Cap																							
	Kepala Jembatan/Pilar																							
	Kepala Pilar																							
	Flat Slab/Girder/Arch/Sistem Rangka																							
	Diaphragm																							
	Lantai Jembatan																							
	Perletakan																							
	Dinding Kepala Jembatan																							
	Dinding Sayap																							
	Bangunan Pelindung Jembatan																							
	Sambungan Sir Muai																							
Nilai Kondisi Jembatan																								

PEMELIHARAAN RUTIN





1. Apakah ada penumpukan puing atau rintangan di sungai ?	Ya	Tidak	8. Apakah sandaran perlu di cat ?	Ya	Tidak
2. Apakah ada potensi gerusan pada daerah disekitar jembatan ?	Ya	Tidak	9. Apakah plat namu salah atau hilang ?	Ya	Tidak
3. Apakah ada tumbuhan liar ?	Ya	Tidak	10. Apakah plat nomor salah atau hilang ?	Ya	Tidak
4. Apakah pipa cucuran air di lantai ada yang tersumbat ?	Ya	Tidak	11. Apakah ada penumpukan kotoran pada gleren jembatan ?	Ya	Tidak
5. Apakah pipa cucuran air di lantai ada yang rusak/hilang ?	Ya	Tidak	12. Apakah sambungan sir muai mengalami kerusakan ?	Ya	Tidak
6. Apakah drainage air di daerah timbunan tidak cukup ?	Ya	Tidak			
7. Apakah ada lubang dan permukaan yang bergelombang ?	Ya	Tidak			

Form Pemeriksaan Detail Jembatan.




LAMPIRAN





KATALOG KERUSAKAN





1





Elemen Pelat Lantai					Elemen Pelat Lantai					Elemen Pelat Lantai					Elemen Pelat Lantai				
Retak, LebarRetak < 0,2 mm, Kuantitas< 50%, Fungsi Baik, Pengaruh Tidak Ada					Retak, LebarRetak > 0,2 mm, Kuantitas < 50%, Fungsi Baik, Pengaruh Tidak Ada					Retak, LebarRetak > 0,2 mm, Kuantitas > 50%, Fungsi Baik, Pengaruh Tidak Ada					lendutan yangnng belebih, elemen struktural, tulangan terlihat, mempunyai pengaruh				
																			
S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
NK	1				NK	2				NK	3				NK	5			





2





Elemen Diafragma					Elemen Diafragma					Elemen Diafragma					Elemen Diafragma				
beton keropos, tulangan tidak terlihat, kuantitas < 50%, tidak ada pengaruh					Retak, LebarRetak > 0,2 mm, Kuantitas < 50%, Fungsi Baik, Pengaruh Tidak Ada					Beton spalling, elemen struktural, kuantitas < 50%, Pengaruh tidak ada									
																			
S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0					
NK	1				NK	2				NK	3				NK				





3	Elemen Gelagar					Elemen Gelagar					Elemen Gelagar					Elemen Gelagar				
	Retak, Lebar Retak > 0,2 mm, Kuantitas < 50%, Pengaruh Tidak Ada					beton terkelupas, elemen struktural, Tulangan terlihat, kuantitas <50%, Pengaruh Tidak Ada					beton pecah, elemen struktural, tulangan terlihat, kuantias > 50%, tidak ada pengaruh ke elemen lain					beton pecah, elemen struktural, tulangan terlihat, kuantias > 50%, memiliki pengaruh				
																				
	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P
	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1
	NK	2				NK	2				NK	3				NK	4			





4	Elemen Kolom					Elemen Kolom					Elemen Kolom					Elemen Kolom				
	retak > 0.2 mm, kuantitas < 50 %, fungsi baik, tidak ada pengaruh					beton pecah, tulangan telihat, elemen struktural, kuantitas <50%, Pengaruh Tidak Ada					Beton pecah, elemen struktural, tulangan terlihat, kuantitas < 50%, Pengaruh tidak ada					Beton pecah, elemen struktural, kuantitas, > 50%, mempunyai pengaruh				
																				
	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P
	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1
	NK	2				NK	2				NK	2				NK	4			





5	Elemen Siar Muai					Elemen Siar Muai					Elemen Siar Muai					Elemen Siar Muai				
	Retak aspal < 15 mm, beda tinggi < 30 mm, kuantitas > 50%, masih berfungsi, tidak ada pengaruh					Retak aspal > 15 mm, kuantitas > 50%, masih berfungsi, memiliki pengaruh (rembesan)					bagian yang rusak, kuantitas >50 %, memiliki pengaruh					bagian yang rusak, kuantitas >50 %, memiliki pengaruh				
																				
	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P
	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1		1
	NK	1				NK	3				NK	4				NK	4			

6	Elemen perletakan					Elemen perletakan					Elemen perletakan					Elemen perletakan				
	sobek, kuantitas dilihat dari jumlah bearing, masih ada fungsi, tidak ada pengaruh ke elemen lain					deformasi > 20% tebal, kuantitas dilihat dari jumlah bearing, masih ada fungsi, tidak ada pengaruh ke elemen lain					deformasi > 20% tebal, kuantitas dilihat dari jumlah bearing, masih ada fungsi, tidak ada pengaruh ke elemen lain					deformasi > 20% tebal, pecah, kuantitas dilihat dari jumlah bearing, masih ada fungsi, tidak ada pengaruh ke elemen lain				
																				
	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P
	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0
	NK	1				NK	2				NK	3				NK	2			

7	Element Abutment					Element Abutment					Element Abutment					Element Abutment				
	retak > 0.2 mm, kuantitas <50%, masih berfungsi, tidak ada pengaruh					keropos, tulangan terlihat, kuantitas < 50%, masih berfungsi, tidak ada pengaruh					kerontokan beton, tulangan terlihat, kuantitas > 50%, masih berfungsi, tidak ada pengaruh ke elemen lain					Rotasi pada abutment, kuantitas > 50%, memiliki pengaruh pada elemen lain, masih berfungsi.				
																				
	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P
	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1
	NK	2				NK	2				NK	3				NK	4			

8	Elemen Pier Head					Elemen Pier Head					Elemen Pier Head					Elemen Pier Head				
	kerontokan dan retak beton, lebar retak > 0.2 mm, kuantitas < 50%, berfungsi, tidak ada pengaruh					beton pecah, elemen struktural, kuantitas < 50%, masih berfungsi, tidak ada pengaruh.					pekerjaan yang buruk, tulangan terlihat, kuantitas < 50%, masih berfungsi, tidak ada pengaruh					Beton pecah, elemen struktural, kuantitas > 50%, masih berfungsi, ada pengaruh terhadap elemen lain.				
																				
	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P	S	R	K	F	P
	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1
	NK	2				NK	2				NK	2				NK	4			

9	Elemen DPT / Bangunan Pengaman					Elemen DPT / Bangunan Pengaman					Elemen DPT / Bangunan Pengaman					Elemen DPT / Bangunan Pengaman							
retak, kuantitas < 50%, masih berfungsi, tidak ada pengaruh						penurunan, perbedaan ketinggian, kuantitas < 50%, tidak ada pengaruh						bagian yang hilang, kuantitas > 10%, masih berfungsi, tidak ada pengaruh						bagian yang hilang, kuantitas > 10%, tidak berfungsi, ada pengaruh					
																							
S	R	K	F	P		S	R	K	F	P		S	R	K	F	P	S	R	K	F	P		
0	0	0	0	0		1	1	0	0	0		1	1	0	0	0	1	1	1	1	1		
NK	0					NK	2					NK	2					NK	5				

10	Elemen Pile Cap					Elemen Pile Cap					Elemen Pile Cap					Elemen Pile Cap							
kerontokan beton, tulangan terlihat, kuantitas < 50%, tidak ada pengaruh						beton gompal, tulangan terlihat, kuantitas < 50%, tidak ada pengaruh						retak akibat tumbukan, lebar retak > 0.4 mm, kuantitas > 50%, masih berfungsi, tidak ada pengaruh						pecah akibat tumbukan, tulangan terlihat, elemen struktural, kuantitas < 50 %, masih berfungsi, ada pengaruh pondasi rusak					
																							
S	R	K	F	P		S	R	K	F	P		S	R	K	F	P	S	R	K	F	P		
1	1	0	0	0		1	1	0	0	0		1	1	1	0	0	1	1	0	0	1		
NK						NK	2					NK	3					NK	3				



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
www.pusjatan.pu.go.id