



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT



PEMERIKSAAN KHUSUS DAN PENANGANAN JEMBATAN

PEMERIKSAAN KHUSUS DAN PENANGANAN JEMBATAN



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT

Pemeriksaan Khusus dan Penanganan Jembatan



Diterbitkan oleh:
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT

Dikeluarkan oleh:
BALAI GEOTEKNIK, TEROWONGAN DAN STRUKTUR
Jl. A.H. Nasution No. 264 Ujungberung – Bandung 40294

Email:
bgts@pu.go.id

*Hak cipta dilindungi Undang-Undang.
Dipersilahkan mengutip atau memperbanyak sebagian buku ini
dengan seizin tertulis dari penulis dan/atau penerbit.
© 2024 Direktorat Jenderal Bina Marga*

Desember 2024
Cetakan Ke-1 2024, viii + 86 halaman

PENULIS

Redrik Irawan
Septinurriandiani
Ogi Soeherman
Jaja

PENELAAH

Lanny Hidayat
Joko Purnomo
Imam Murtosidi

DESAIN DAN TATA LETAK

Musa Maulana Yusuf

Foto Cover : Koleksi BGTS

No. ISBN : 978-979-8230-96-7

Kata kunci : pemeriksaan khusus, penanganan jembatan,
kode kerusakan

Kata Pengantar

Sebagai bentuk konsistensi dalam melakukan koordinasi dan pembinaan pengembangan dan penerapan teknologi bidang jalan dan jembatan, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, berusaha secara berkesinambungan menghasilkan buku teks yang dapat mendukung kebutuhan perbaikan penerapan teknologi pemeriksaan khusus dan penanganan jembatan dalam penanganan jembatan.

Dengan mengedepankan format penjelasan ringkas yang mengkaitkan jenis kerusakan, jenis pemeriksaan khusus, dan berbagai alternatif penanganan jembatan disertai beberapa ilustrasi, diharapkan penggunaan buku teks ini dapat membantu meningkatkan wawasan para inspektur jembatan untuk dapat menyiapkan rekomendasi penerapan metode-metode pemeriksaan dengan menggunakan peralatan khusus. Hal tersebut diharapkan dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan penanganan jembatan yang berkelanjutan sebagaimana yang diuraikan dalam buku ini dengan berbagai alternatif agar penanganan yang ditetapkan agar penanganan yang ditetapkan dapat mengoptimalkan sumber daya dan dapat dipertanggung jawabkan hasilnya.

Berdasarkan hal di atas, buku teks ini dimaksudkan sebagai salah satu sumber belajar untuk para inspektur jembatan dan tim perencanaan dan pemrograman penanganan jembatan khususnya yang berada di seluruh BBPJN/BPJN di Direktorat Jenderal Bina Marga selain acuan utama berupa Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 05/SE/Db/2022 tentang Pedoman Pemeriksaan Jembatan dan ketentuan-ketentuan terkait teknik pemeriksaan, pemeliharaan, dan rehabilitasi jembatan di dalam dan luar negeri.

Untuk mengakomodasi perkembangan teknologi pemeriksaan khusus dan penanganan, buku ini tentu saja dapat diperbaiki dan disesuaikan. Oleh karena itu, saran dan kontribusi dari para praktisi, inspektur jembatan, verifikator dan validator pemeriksaan jembatan, serta tenaga perencanaan dan pemrograman sangat diperlukan untuk menyempurnakan buku ini. Penulis ingin menggunakan kesempatan ini untuk mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam produksi buku

ini, termasuk para pimpinan, penelaah, desainer buku, dan pihak-pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu. Secara khusus, kami berharap buku ini dapat bermanfaat dalam meningkatkan kualitas hasil pemeriksaan khusus jembatan dalam mendukung perencanaan dan pengelolaan penanganan jembatan yang berkelanjutan.

Bandung, Desember 2024

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar i

Daftar Isi iii

Daftar Tabel iv

Daftar Gambar vii

I. Pendahuluan 1

 A. Konsep umum penerapan Pemeriksaan Khusus untuk identifikasi kerusakan jembatan dan penyiapan penanganan jembatan 1

 1. Pengujian Non-Destruktif 2

 2. Pengujian Destruktif 5

 B. Konsep Penanganan Jembatan untuk mempertahankan dan memperpanjang umur layan jembatan 5

 1. Konsep Umum Pemeliharaan dalam Sistem Teknis 6

 2. Konsep Umum Penanganan Jembatan 10

 3. Jenis-jenis penanganan yang lebih detail 14

II. Substansi Kerusakan Bahan 23

 A. Bahan Pasangan Batu/Bata 23

 B. Bahan Beton (termasuk Baja Tulangan) 29

 C. Bahan Baja 38

 D. Bahan Kayu 48

III. Substansi Kerusakan Elemen 55

 A. Elemen-Elemen Jalan Pendekat 55

 B. Elemen-Elemen Aliran Sungai 60

 C. Elemen-Elemen Bangunan Bawah 69

 D. Elemen-Elemen Bangunan Atas 71

 E. Elemen-Elemen Sistem Lantai 73

 F. Elemen-Elemen Sistem Pengendali Pergerakan Jembatan (Siar Muai, Perletakan) 76

 G. Elemen-Elemen Perlengkapan 80

Daftar Pustaka 82

Daftar Tabel

Tabel 1	Jenis Program Penanganan dan Efek Penanganan	12
Tabel 2	Bentuk Penanganan Standar Jembatan dan Kegiatannya	14
Tabel 3	Kegiatan terkait Pembersihan (<i>Clean/Clear</i>)	16
Tabel 4	Kegiatan terkait dengan setting ulang (<i>Reset</i>)	17
Tabel 5	Kegiatan terkait dengan Pelapisan (<i>Coat</i>)	18
Tabel 6	Kegiatan terkait dengan Perbaikan (<i>Repair</i>)	19
Tabel 7	Kegiatan terkait dengan Penggantian (<i>Replace</i>)	20
Tabel 8	Kegiatan terkait dengan Modifikasi (<i>Modify</i>)	20
Tabel 9	Kegiatan terkait dengan Penanganan Darurat (<i>Emergency</i>)	21
Tabel 10	Hal-hal yang tidak termasuk dalam Pemeliharaan (<i>non-Maintenance</i>)	22
Tabel 11	Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Bahan Pasangan Batu/Bata	23
Tabel 12	Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity, Impact Echo, Ground Penetrating Radar, Ultrasonic Tomography, Electrical Resistivity, Core Drill</i> /Pengambilan Sampel Inti Beton atau Batu/Bata, dan <i>Infrared Thermography</i>	24
Tabel 12	(lanjutan)	25
Tabel 12	(lanjutan)	26
Tabel 13	Penanganan Kerusakan Bahan Pasangan Batu/Bata	28
Tabel 14	Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Bahan Beton (termasuk Baja Tulangan)	29
Tabel 15	Pengujian <i>Pull Out Test, Half-Cell Potential, Hammer Test, Magnetometer, Alkali Silica Reaction</i> , Uji Karbonasi, dan Uji Kadar Klorida	30
Tabel 15	(lanjutan)	31
Tabel 15	(lanjutan)	32
Tabel 15	(lanjutan)	33

Tabel 15	(lanjutan)	34
Tabel 16	Penanganan Kerusakan Bahan Beton (termasuk Baja Tulangan)	36
Tabel 16	(lanjutan)	37
Tabel 17	Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Bahan Baja	38
Tabel 18	Pengujian Kerusakan Bahan Baja	39
Tabel 18	(lanjutan)	40
Tabel 18	(lanjutan)	41
Tabel 18	(lanjutan)	42
Tabel 18	(lanjutan)	43
Tabel 18	(lanjutan)	44
Tabel 19	Penanganan Kerusakan Bahan Baja	46
Tabel 19	(lanjutan)	47
Tabel 20	Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Bahan Kayu	48
Tabel 21	Pengujian Kerusakan Bahan Kayu	49
Tabel 21	(lanjutan)	50
Tabel 21	(lanjutan)	51
Tabel 21	(lanjutan)	52
Tabel 22	Penanganan Kerusakan Bahan Kayu	54
Tabel 23	Pemeriksaan Khusus untuk Elemen Utama 3.120 Tanah Timbunan, 3.220 Bangunan Pengaman dan 3.310 Fondasi	56
Tabel 24	Penyelidikan Geoteknik	57
Tabel 25	Penanganan Kerusakan Elemen Utama 3.120 Tanah Timbunan, 3.220 Bangunan Pengaman dan 3.310 Fondasi	58
Tabel 25	(lanjutan)	59
Tabel 26	Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Elemen Utama 3.210 Aliran Sungai	60

Daftar Gambar

Tabel 27	Pengidentifikasian Karakteristik Sungai, Pengidentifikasian Karakteristik Struktur (Pengukuran Geometri Jembatan), Pengidentifikasian Karakteristik Struktur (Pelaksanaan Pengujian Pembebanan Jembatan), dan Pemeriksaan Bawah Air	61
Tabel 27	(lanjutan)	62
Tabel 27	(lanjutan)	63
Tabel 28	Penanganan Kerusakan Elemen Utama 3.210 Aliran Sungai	68
Tabel 29	Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Elemen Utama 3.320 Kepala Jembatan/Pilar	69
Tabel 30	Penanganan Kerusakan Elemen Utama 3.320 Kepala Jembatan/Pilar	70
Tabel 31	Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Klaster Elemen dan Perlengkapan Jembatan Kabel, Elemen Perkuatan, dan Penahan	71
Tabel 32	Penanganan Kerusakan Klaster Elemen dan Perlengkapan Jembatan Kabel, Elemen Perkuatan, dan Elemen Penahan	72
Tabel 33	Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Elemen Sistem Lantai	73
Tabel 34	Penanganan Kerusakan Elemen Sistem Lantai	74
Tabel 34	(lanjutan)	75
Tabel 35	Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Elemen Utama 3.610 Perletakan	76
Tabel 36	Penanganan Kerusakan Elemen Utama 3.610 Perletakan	77
Tabel 36	(lanjutan)	78
Tabel 37	Penanganan Kerusakan Klaster Elemen 4.607 Sistem Drainase Sambungan/Siar Muai	79
Tabel 38	Penanganan Kerusakan Elemen-Elemen Perlengkapan	81

Gambar 1	Faktor Utama Yang Mempengaruhi Pemilihan Kebijakan Perawatan Yang Optimal (Wojciechowska, 2019)	7
Gambar 2	Tipe-Tipe Pemeliharaan Sistem Teknik menurut Standar Eropa EN 13306:2017	8
Gambar 3	Bentuk kegiatan penanganan jembatan	10
Gambar 4	Model tipikal penurunan kondisi jembatan	13
Gambar 5	Penjelasan Gambar Kegiatan terkait Pembersihan (Clean/Clear)	16
Gambar 6	Penjelasan Gambar Kegiatan terkait dengan setting ulang (Reset)	17
Gambar 7	Penjelasan Gambar Kegiatan terkait dengan Pelapisan (Coat)	18
Gambar 8	Penjelasan Gambar Kegiatan terkait dengan Perbaikan (Repair)	19
Gambar 9	Penjelasan Gambar Kegiatan terkait dengan Penggantian (Replace)	20
Gambar 10	Penjelasan Gambar Kegiatan terkait dengan Modifikasi (Modify)	21
Gambar 11	Penjelasan Gambar Kegiatan terkait dengan Penanganan Darurat (Emergency)	22
Gambar 12	Penjelasan Hal-hal yang tidak termasuk dalam Pemeliharaan (non-Maintenance)	22
Gambar 13	Penjelasan Gambar Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity, Impact Echo, Ground Penetrating Radar, Ultrasonic Tomography, Electrical Resistivity, Core Drill</i> /Pengambilan Sampel Inti Beton, dan <i>Infrared Thermography</i>	27
Gambar 14	Penjelasan Gambar Pengujian <i>Pull Out Test, Half-Cell Potential, Hammer Test, Magnetometer, Alkali Silica Reaction</i> , Uji Karbonasi, dan Uji Kadar Klorida	35
Gambar 15	Penjelasan Gambar Pengujian Bahan Baja	45
Gambar 16	Penjelasan Gambar Pengujian Kerusakan Bahan Kayu	53

Gambar 17	Penjelasan Gambar Pengidentifikasian Karakteristik Sungai	64
Gambar 18	Penjelasan Gambar Pengidentifikasian Karakteristik Struktur (Pengukuran Geometri Jembatan) (<i>U.S. Army Corps of Engineers</i> , 2018)	65
Gambar 19	Penjelasan Gambar Pengidentifikasian Karakteristik Struktur (Pelaksanaan Pengujian Pembebanan Jembatan)	66
Gambar 20	Penjelasan Gambar Pemeriksaan Bawah Air (Browne,et. al, 2010)	67

I. Pendahuluan



I. Pendahuluan

A. Konsep umum penerapan Pemeriksaan Khusus untuk identifikasi kerusakan jembatan dan penyiapan penanganan jembatan

Pemeriksaan khusus dilakukan melakukan pengujian non-destruktif atau pengujian destruktif. Dua jenis pemeriksaan tadi dipilih sesuai dengan tujuannya dimana pengujian non-destruktif digunakan untuk tetap menjaga keutuhan elemen dan pengujian destruktif digunakan untuk memahami properti bahan yang lebih dalam dengan mengambil sebagian elemen untuk diuji di laboratorium. Lebih jauh mengenai masing-masing pengujian dijelaskan di bawah ini.

Dimana Pengujian Non-Destruktif/ *Nondestructive Testing Method* (NDT) dilakukan untuk memeriksa dan mengevaluasi properti dan integritas material atau struktur tanpa merusaknya. Hal itu yang menyebabkan elemen atau struktur tetap utuh setelah pengujian, memungkinkan penggunaan berkelanjutan.

Sedangkan Pengujian Destruktif/ *Destructive Testing Method* (DT) ditujukan untuk menilai kekuatan, ketahanan, dan properti material dengan melakukan pengujian yang menghancurkan atau merusak bahan. Hal itu dilakukan untuk memberikan informasi detail tentang titik batas material dan kinerja maksimum.

Selain itu dikenal juga pengujian semidestruktif, dimana dalam pengujian melibatkan kerusakan minor pada material atau struktur untuk mendapatkan informasi tentang sifat atau integritasnya.

Metode yang digunakan secara umum adalah pengambilan sampel inti, di mana sampel kecil diambil dari material untuk dianalisis. Ini sering digunakan dalam pengujian beton.

1. Pengujian Non-Destruktif

Secara umum pengujian non-destruktif (ASNT) adalah:

- a. Pengujian non-destruktif (NDT), juga dikenal sebagai evaluasi non-destruktif (NDE) dan pemeriksaan non-destruktif (NDI), adalah profesi multidisiplin yang memadukan jaminan kualitas dan ilmu pengetahuan material.
- b. NDT digunakan untuk memeriksa dan mengevaluasi bahan, komponen, atau rakitan tanpa merusak kemampuan servisnya.
- c. Melalui serangkaian metode pengujian, teknisi yang terampil mengidentifikasi retakan, lubang, inklusi, dan diskontinuitas pengelasan, serta mengidentifikasi subkomponen yang salah rakit.
- d. NDT digunakan untuk memastikan integritas dan keandalan produk, mengontrol proses produksi, menurunkan biaya produksi, dan mempertahankan tingkat kualitas yang seragam. Tanpanya, keamanan dan keandalan komponen dapat terancam. Hal ini membuat NDT sangat penting untuk membantu mencegah kegagalan katastropik seperti kecelakaan pesawat dan lokomotif, kebocoran dan ledakan pipa, kegagalan reaktor nuklir, dan bencana kapal.

Jenis-jenis pengujian non-destruktif (ASNT) adalah:

- a. Pengujian emisi akustik/ *Acoustic emission testing* (AE) dilakukan untuk memantau pelepasan energi dari material di bawah tekanan, mendeteksi pembentukan dan pertumbuhan retakan. Alat ini digunakan dalam pemantauan kesehatan struktural dan analisis kegagalan.
- b. Pengujian elektromagnetik/ *Electromagnetic testing* (ET) termasuk teknik seperti *eddy current testing*, menggunakan induksi elektromagnetik untuk mendeteksi cacat pada bahan konduktif. Hal ini biasanya digunakan dalam pemeliharaan pesawat dan pemeriksaan pipa dinding tipis.
- c. Radar penetrasi tanah/ *Ground penetrating radar* (GPR) - *Ground penetrating radar* (GPR) bekerja dengan mengirimkan pulsa energi elektromagnetik ke dalam bahan non-logam dan merekam kekuatan dan waktu yang diperlukan untuk kembalinya sinyal yang dipantulkan. Serangkaian pulsa pada satu area membentuk

apa yang disebut pemindaian, yang dapat ditampilkan sebagai profil dua dimensi atau kubus tiga dimensi.

- d. Pengujian gelombang terpandu/ *Guided wave testing* (GW) - Salah satu aplikasi umum pengujian gelombang terpandu pada perpipaan menggunakan eksitasi terkontrol dari satu atau beberapa bentuk gelombang ultrasonik yang berjalan di sepanjang pipa, yang merefleksikan perubahan kekakuan pipa atau luas penampang dari jarak jauh.
- e. Pengujian termal/inframerah/ *Thermal/infrared testing* (IR) - Pengujian termal/inframerah, atau termografi inframerah, digunakan untuk mengukur atau memetakan suhu permukaan yang tampak berdasarkan radiasi inframerah yang dilepaskan oleh suatu objek saat panas mengalir melalui, ke, atau dari objek tersebut. Alat ini banyak digunakan untuk inspeksi kelistrikan, diagnostik bangunan, dan sistem mekanis.
- f. Metode laser/ *Laser methods* (LM) - Metode laser (LM) mengacu pada holografi dan *shearography*, menggunakan sifat gelombang sinar laser, yang disebut interferometri, untuk membuat gambar cacat permukaan dan bawah permukaan pada material daktil mulai dari insulasi *foam* hingga baja. Dalam kedua metode tersebut, sinar laser tidak menembus permukaan, tetapi perubahan tegangan kecil diterapkan yang melewati volume bagian uji.
- g. Pengujian Kebocoran/ *Leak Testing* (LT) - Pengujian Kebocoran, sesuai dengan namanya, digunakan untuk mendeteksi kebocoran dalam sistem bertekanan dengan menggunakan teknik *pressure decay*, *bubble testing*, dan *tracer gas methods*.
- h. Pengujian kebocoran fluks magnetik/ *Magnetic flux leakage testing* (MFL) digunakan untuk mendeteksi korosi dan lubang pada struktur baja dengan cara memagnetisasi material dan mengukur bidang kebocoran yang disebabkan oleh diskontinuitas. Alat ini umumnya digunakan dalam inspeksi pipa dan tangki.
- i. Pengujian partikel magnetik/ *Magnetic particle testing* (MT) digunakan untuk menemukan diskontinuitas permukaan dan dekat permukaan pada material feromagnetik. Ini melibatkan pemagnetan bagian dan menerapkan partikel feromagnetik untuk mengungkapkan cacat.
- j. Pengujian gelombang mikro/ *Microwave testing* (MW) - Pengujian

gelombang mikro (MW) menggunakan prinsip yang sama dengan yang digunakan pada perangkat radar seperti alat pengukur kecepatan polisi dan kontrol jelajah adaptif pada kendaraan modern. Penggunaan gelombang mikro sebagai metode pengujian dijelaskan dalam literatur sejak tahun 1960-an, tetapi baru belakangan ini menjadi lebih umum di industri. Hal ini terutama disebabkan oleh keefektifannya dalam memeriksa material plastik dan komposit, khususnya material komposit yang kompleks.

- k. Pengujian radiografi neutron/ *Neutron radiographic testing* (NR) - Radiografi neutron, atau pengujian radiografi neutron (NR), berbeda dengan radiografi konvensional karena neutron merupakan radiasi penetris, bukan sinar-X. Neutron dapat dengan mudah menembus hampir semua logam namun mudah diserap oleh material yang mengandung hidrogen (air dan plastik), karbon, dan beberapa elemen tanah jarang.
- l. Pengujian penetran cair/ *Liquid penetrant testing* (PT) digunakan untuk mengungkapkan diskontinuitas permukaan pada material padat dan tidak berpori. Cairan penetran dioleskan ke permukaan, yang merembes ke dalam retakan dan rongga, sehingga terlihat di bawah sinar ultraviolet atau cahaya tampak.
- m. Pengujian radiografi/ *Radiographic testing* (RT) menggunakan sinar-X atau sinar gamma untuk membuat gambar struktur internal komponen. Hal ini terutama digunakan untuk memeriksa coran, pengelasan, dan rakitan mekanis untuk mengetahui adanya cacat internal.
- n. Pengujian ultrasonik/ *Ultrasonic testing* (UT) menggunakan gelombang suara frekuensi tinggi untuk mendeteksi diskontinuitas permukaan dan bawah permukaan. Alat ini banyak digunakan untuk memeriksa bejana bertekanan, mesin, dan jembatan.
- o. Analisis getaran/ *Vibration analysis* (VA) memantau karakteristik getaran mesin dan struktur untuk mendeteksi ketidakseimbangan, ketidaksejajaran, atau masalah mekanis lainnya. Biasanya digunakan dalam pemeliharaan prediktif.
- p. Pengujian visual/ *Visual testing* (VT) melibatkan pengamatan visual dari permukaan benda uji untuk mengevaluasi adanya diskontinuitas atau mungkin tidak adanya satu langkah selama pembuatan.

2. Pengujian Destruktif

Dalam konteks struktur jembatan, pengujian destruktif biasanya tidak dilakukan pada jembatan yang sudah dibangun dan berfungsi. Hal ini karena pengujian destruktif akan merusak struktur yang diuji, sehingga tidak mungkin atau sangat tidak praktis untuk dilakukan pada jembatan yang beroperasi.

Namun, pengujian destruktif dapat dilakukan pada bahan-bahan atau komponen jembatan di laboratorium sebelum digunakan dalam konstruksi. Contoh pengujian destruktif termasuk:

- a. Uji Tarik: Menentukan kekuatan tarik material seperti baja dan beton.
- b. Uji Tekan: Menilai seberapa besar beban tekan yang dapat ditahan material sebelum rusak.
- c. Uji Lentur: Mengukur kemampuan material menahan pembebanan lentur.
- d. Uji Dampak: Menilai ketahanan material terhadap benturan mendadak.

Pengujian ini membantu insinyur memahami batas-batas kekuatan dan karakteristik material, sehingga dapat memastikan bahwa material yang digunakan untuk membangun jembatan memenuhi standar dan spesifikasi yang diperlukan.

Sebaliknya, pengujian non-destruktif (ASNT) adalah bidang vital yang memungkinkan evaluasi bahan, komponen, dan sistem tanpa menyebabkan kerusakan atau gangguan. Teknik inovatif ini merupakan kunci untuk menjaga keamanan, keandalan, dan efisiensi dalam industri seperti kedirgantaraan, konstruksi, manufaktur, dan energi. Dengan menggunakan metode seperti pengujian radiografi, pengujian ultrasonik, dan pengujian elektromagnetik, para profesional NDT dapat mendeteksi kekurangan, mencegah kegagalan, dan memastikan umur panjang aset penting.

B. Konsep Penanganan Jembatan untuk mempertahankan dan memperpanjang umur layan jembatan

1. Konsep Umum Pemeliharaan dalam Sistem Teknis

Definisi Pemeliharaan sebagaimana yang dituliskan dalam Wojciechowska, 2019, menurut Standar Eropa EN 13306:2017, pemeliharaan adalah kombinasi dari semua tindakan teknis, administratif, dan manajerial selama siklus hidup item yang dimaksudkan untuk mempertahankannya, atau mengembalikannya ke keadaan yang dapat melakukan fungsi yang dibutuhkan. Tindakan pemeliharaan teknis meliputi pengamatan dan analisis kondisi item (misalnya inspeksi, pemantauan, pengujian, diagnosis, prognosis, dan lain sebagainya) dan tindakan pemeliharaan aktif (misalnya perbaikan, perbaikan).

Tujuan dari pemeliharaan adalah untuk memastikan bahwa peralatan, mesin, dan sistem berjalan dengan baik dan efisien. Berikut beberapa tujuan utama pemeliharaan:

- Meningkatkan Keandalan: Mengurangi kemungkinan kegagalan atau kerusakan pada peralatan atau sistem.
- Memperpanjang Umur Pakai: Memastikan bahwa peralatan dan sistem dapat digunakan lebih lama dengan performa optimal.
- Menjaga Kinerja: Memastikan bahwa peralatan dan sistem beroperasi pada kondisi terbaik untuk menghasilkan output yang diinginkan.
- Mengurangi Biaya Perbaikan: Mengidentifikasi dan memperbaiki masalah kecil sebelum menjadi besar dan mahal.
- Meningkatkan Keamanan: Memastikan bahwa peralatan dan sistem aman untuk digunakan, sehingga mengurangi risiko kecelakaan kerja.
- Mengurangi Waktu Henti: Meminimalkan waktu di mana peralatan atau sistem tidak beroperasi, sehingga meningkatkan produktivitas.
- Mematuhi Regulasi: Memastikan bahwa peralatan dan sistem memenuhi standar dan regulasi yang berlaku.

Faktor utama yang harus dipertimbangkan ketika memilih kebijakan pemeliharaan terbaik disajikan pada **Gambar 1**. Kebijakan pemeliharaan yang optimal harus benar-benar mempertimbangkan berbagai kebijakan

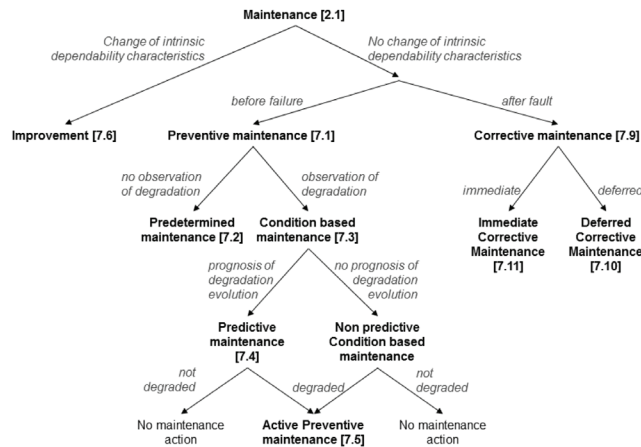
pemeliharaan, teknik pemodelan, arsitektur sistem, derajat pemulihan pemeliharaan, kegagalan dan perbaikan yang terkait, ketergantungan kegagalan, ketergantungan ekonomi, waktu pemeliharaan yang tidak dapat diabaikan, dan lain lain.



Gambar 1 Faktor Utama Yang Mempengaruhi Pemilihan Kebijakan Perawatan Yang Optimal (Wojciechowska, 2019)

Selanjutnya, menurut Standar Eropa EN 13306:2017, pemeliharaan dapat diklasifikasikan sebagai yang dijelaskan pada **Gambar 2** berupa:

- peningkatan keandalan/*improvement* yang merupakan kombinasi dari semua tindakan teknis, administratif dan manajerial, yang dimaksudkan untuk memperbaiki keandalan intrinsik dan/atau pemeliharaan dan/atau keamanan suatu barang, tanpa mengubah fungsi aslinya;
- pemeliharaan preventif/*preventive maintenance* yang dilakukan untuk menilai dan/atau mengurangi degradasi dan mengurangi kemungkinan kegagalan suatu item yang terdiri dari:
 - pemeliharaan yang telah ditentukan sebelumnya/ *pre-determined maintenance* berupa pemeliharaan preventif yang dilakukan sesuai dengan interval waktu atau jumlah unit penggunaan yang telah ditetapkan tetapi tanpa investigasi kondisi sebelumnya;



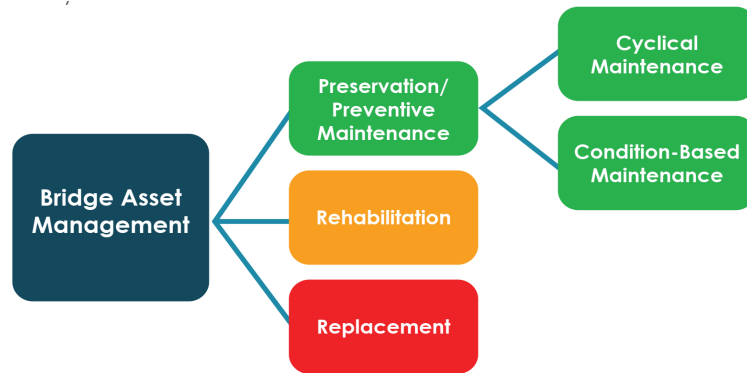
Gambar 2 Tipe-Tipe Pemeliharaan Sistem Teknik menurut Standar Eropa EN 13306:2017

- ii) pemeliharaan berbasis kondisi/ *condition-based maintenance* berupa pemeliharaan preventif yang mencakup penilaian kondisi fisik, analisis dan kemungkinan tindakan pemeliharaan berikutnya yang selanjutnya terdiri dari:
 - a) pemeliharaan prediktif/ *predictive maintenance* berupa pemeliharaan berbasis kondisi yang dilakukan mengikuti perkiraan yang berasal dari analisis berulang atau karakteristik yang diketahui dan evaluasi parameter signifikan dari degradasi item;
 - b) pemeliharaan aktif/ *active maintenance* berupa bagian dari pemeliharaan di mana tindakan secara langsung dilakukan pada suatu item untuk mempertahankannya, atau mengembalikannya ke kondisi di mana item tersebut dapat melakukan fungsi yang diperlukan;
- c. pemeliharaan korektif/ *corrective maintenance* dilakukan setelah pengenalan kesalahan dan dimaksudkan untuk memulihkan item ke dalam keadaan di mana item tersebut dapat melakukan fungsi yang diperlukan yang terdiri dari:
 - i) pemeliharaan korektif yang ditangguhkan/ *deferred corrective maintenance* berupa pemeliharaan korektif yang tidak segera dilakukan setelah deteksi kesalahan tetapi ditunda sesuai dengan aturan yang diberikan;

- ii) pemeliharaan korektif segera/ *immediate corrective maintenance* berupa pemeliharaan korektif yang dilakukan tanpa penundaan setelah kesalahan terdeteksi untuk menghindari konsekuensi yang tidak dapat diterima;

Sejalan dengan definisi di atas FHWA mendetailkan bentuk pemeliharaan sistem teknik menjadi bentuk kegiatan penanganan jembatan, sebagaimana yang dijelaskan pada **Gambar 3**, yang berupa:

- a. Manajemen Aset/ *Asset Management* yang didefinisikan sebagai “proses strategis dan sistematis dalam mengoperasikan, memelihara, dan meningkatkan aset fisik, dengan fokus pada analisis teknik dan ekonomi berdasarkan informasi yang berkualitas, untuk mengidentifikasi urutan terstruktur dari tindakan pemeliharaan, pelestarian, perbaikan, rehabilitasi, dan penggantian yang akan mencapai dan mempertahankan kondisi perbaikan yang baik selama siklus hidup aset dengan biaya minimum yang dapat dipraktikkan;
- b. Preservasi Jembatan/ *Bridge Preservation* yang didefinisikan sebagai tindakan atau strategi yang mencegah, menunda, atau mengurangi kerusakan jembatan atau elemen jembatan; mengembalikan fungsi jembatan yang sudah ada; menjaga jembatan dalam kondisi yang baik atau cukup baik; dan memperpanjang masa layan. Tindakan preservasi terdiri dari :
 - i) Aktivitas Pemeliharaan Siklus/ *Cyclical Maintenance Activities* yang didefinisikan sebagai kegiatan pemeliharaan yang dilakukan pada interval yang telah ditentukan sebelumnya yang bertujuan untuk menjaga dan menunda kerusakan elemen atau kondisi komponen jembatan; dan
 - ii) Aktivitas Pemeliharaan Berbasis Kondisi/ *Condition-Based Maintenance Activities* yang dilakukan pada komponen atau elemen jembatan sebagai respon terhadap kerusakan yang diketahui. Pemeliharaan berbasis kondisi meningkatkan kondisi bagian elemen tersebut, namun mungkin atau tidak mungkin menghasilkan peningkatan peringkat kondisi komponen.
- c. Rehabilitasi/ *Rehabilitation* yang didefinisikan sebagai pekerjaan besar yang diperlukan untuk mengembalikan integritas struktural jembatan, serta pekerjaan yang diperlukan untuk memperbaiki cacat keselamatan utama; dan



Gambar 3 Bentuk kegiatan penanganan jembatan

- d. Penggantian/ *Replacement* yang didefinisikan sebagai penggantian total jembatan yang sudah ada dengan fasilitas baru yang dibangun di koridor lalu lintas umum yang sama.

Penjelasan di atas memiliki kesamaan definisi dan fungsi pemeliharaan sebagaimana yang terdapat pada Pedoman Pemeliharaan dan Rehabilitasi tahun 2009 dan 2011 yang akan diuraikan lebih rinci di bawah ini.

2. Konsep Umum Penanganan Jembatan

Secara umum penanganan yang dilakukan di atas jembatan berupa :

- Pemeliharaan rutin jembatan berupa kegiatan merawat serta memperbaiki kerusakan- kerusakan kecil/ sederhana yang terjadi pada struktur jembatan agar didapat kondisi yang mantap sesuai dengan umur rencana yang dapat diperhitungkan serta mengikuti ketentuan yang berlaku, termasuk pemeliharaan rutin jembatan di jalan baru;
- Pemeliharaan berkala jembatan berupa kegiatan penanganan terhadap setiap kerusakan yang diperhitungkan dalam desain berdasarkan umur layan elemen atau kerusakan agar penurunan kondisi jembatan dapat dikembalikan pada kondisi kemantapan sesuai dengan rencana, termasuk penanganan fasilitas keselamatan;
- Rehabilitasi berupa kegiatan penanganan besar dan pengembalian kondisi sesuai umur rencana terhadap setiap kerusakan berat atau parah, akibat menurunnya kondisi pada suatu bagian

tertentu struktur jembatan yang terdiri dari perbaikan kerusakan lokal bagian struktur atau elemen pelengkap jembatan dibandingkan keseluruhan struktur dan peningkatan kapasitas dengan melakukan perkuatan jembatan termasuk penanganan oprit jembatan. Dimana ;

- Dimana gabungan antara butir a), butir b), dan butir c) dikenal dengan nama preservasi jembatan.
- Penggantian jembatan atau pembangunan untuk jembatan yang telah berada dalam kondisi kritis atau sudah mengalami keruntuhan;
- Selanjutnya terdapat kegiatan pelebaran dan duplikasi jembatan yang dibutuhkan ketika lebar lalu lintas di atas jembatan sudah tidak mampu melayani kelancaran pergerakan lalu lintas; dan
- Penanggulangan kondisi darurat dan penanganan sementara untuk menjaga jembatan tetap berada pada tingkat kemampuan yang diinginkan hingga diselesaikannya tindakan- tindakan perbaikan dan mungkin suatu bentuk pekerjaan sementara dibutuhkan untuk mempertahankan struktur tersebut tetap dapat dipakai walaupun kemampuannya pada tingkat yang lebih rendah.

Berdasarkan jenis program penanganan jembatan dalam bagan alir pengambilan keputusan/*decision tree* di Level 1 jembatan maka ditetapkan pada perubahan nilai kondisi setelah dilakukan penanganan, sebagaimana yang dijelaskan pada **Tabel 1**.

- Jika penanganan yang dilakukan sesuai dan sebagaimana yang ditetapkan dalam skrining teknis dalam, maka nilai kondisi jembatan akan membaik menjadi nilai kondisi 1 (satu);
- Jika dilakukan penggantian maka nilai kondisi jembatan akan menjadi bernilai 0 (nol);
- Namun bila penanganan tidak sesuai/ lebih rendah dari yang seharusnya, maka nilai kondisi jembatan tidak mengalami perubahan; dan
- Penggunaan model tipikal penurunan kondisi jembatan pada **Gambar 4** lebih banyak untuk memperkirakan kondisi jembatan tanpa penanganan efektif jembatan atau yang mendapat penanganan tidak tuntas atau yang mengalami penundaan penanganan.

Tabel 1 Jenis Program Penanganan dan Efek Penanganan

Jenis Program Penanganan	Level 1 Nilai Kondisi Jembatan (NK) ^a					
	0	1	2	3	4	5
Pemeliharaan Rutin	DetMod*	DetMod*	DetMod*	DetMod*	DetMod*	-
Pemeliharaan Berkala	-	-	DetMod*	DetMod*	-	-
Rehabilitasi	-	-	-	1	-	-
Penggantian	-	-	-	0	0	0
Pelebaran dan Pemeliharaan	0	1	1	-	-	-
Duplikasi dan Pemeliharaan						
Jembatan Lama	DetMod*	DetMod*	DetMod*	DetMod*	-	-
Jembatan Baru (catatan: Inventori Baru)	0	-	-	-	-	-
Perkuatan dan Pelebaran	0	1	1	-	-	-
Duplikasi dan Perkuatan						
Jembatan Lama	0	1	1	1	1	-
Jembatan Baru (catatan: Inventori Baru)	0	-	-	-	-	-
Penutupan Jembatan dan Detour	-	-	-	-	DetMod	5
Perkuatan Sementara	-	-	-	-	3	5
Penanganan Sementara (Pengalihan Beban)	-	-	-	-	DetMod	5

Catatan :

- DetMod* = Penggunaan model tipikal penurunan kondisi jembatan pada **Gambar 4**
- Pada analisa *Lower level* - level 2 efek penanganan bergantung pada jenis penanganan elemen masing-masing sesuai dengan nilai kondisinya

Untuk menyederhanakan analisa perencanaan dan pemrograman, saat ini digunakan model tipikal penurunan kondisi jembatan pada **Persamaan (1)** digambarkan pada **Gambar 4**. Namun untuk kedepannya, setelah data historis perubahan nilai kondisi telah terkumpul dengan cukup maka model tipikal dapat diganti dengan model yang lebih mendekati masing-masing jenis jembatan.

Model tipikal saat ini digunakan untuk memprediksi kebutuhan penanganan jembatan untuk setiap nilai kondisi. Misalnya, jembatan baru berada pada NK = 0 dan diperkirakan akan memberikan manfaat layanan dengan kondisi tersebut selama lebih dari 15 tahun tentunya dengan pemeliharaan rutin setiap tahunnya dan pemeliharaan berkala setiap 3 tahunnya. Sedangkan jika jembatan berada pada nilai NK = 4 (kondisi kritis) maka diperkirakan jembatan tersebut akan berada pada nilai

NK = 5 (kondisi runtuh) dalam perkiraan waktu kurang dari 3 tahun.

$$CM_y = 5 - \sqrt[1]{\left(\frac{100 - 100\left(\frac{Y}{N}\right)}{a}\right)^b} \quad \dots\dots\dots (1)$$

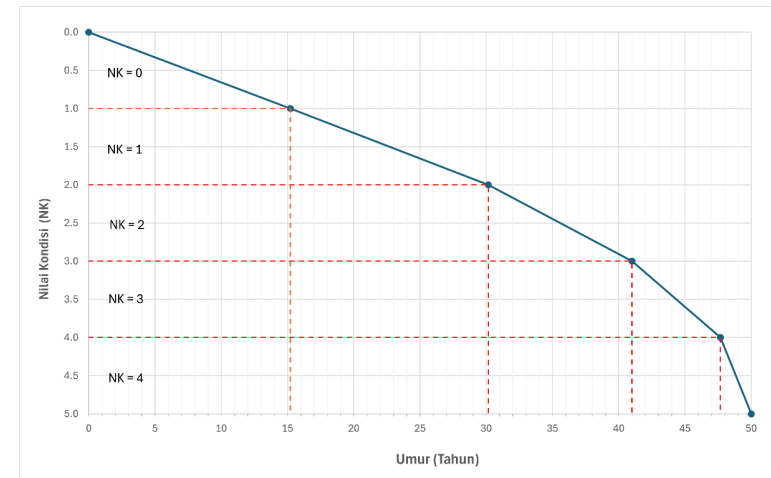
Dengan keterangan:

CM_y = Condition Mark/ Nilai kondisi pada tahun y

Y = Year/ Age/ Umur elemen

N = Umur rencana elemen

a, b = parameter persamaan dimana a = 4.66 dan b = 1.9051



Gambar 4 Model tipikal penurunan kondisi jembatan

Dimana model tipikal penurunan kondisi jembatan yang sebenarnya terjadi di lapangan perlu disesuaikan dengan faktor-faktor, sebagaimana yang dikemukakan oleh Radomski, 2002 berupa:

- Faktor karakter struktur jembatan termasuk kualitas proses pembangunan dan bahan yang digunakan dalam struktur jembatan;
- Faktor beban lalu lintas yang melewati jembatan;

- c. Faktor cuaca dan lingkungan di sekitar jembatan; dan
- d. Faktor penanganan yang dilakukan di jembatan.

3. Jenis-jenis penanganan yang lebih detail

Selain *decision tree* penanganan indikatif pada Level 1 dan Level 2 jembatan yang sudah dijelaskan di atas, maka untuk mendapatkan bentuk penanganan yang lebih detail dapat dilihat dari penanganan indikatif Level 4 elemen jembatan sebagaimana yang dijelaskan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Bentuk Penanganan Standar Jembatan dan Kegiatannya

Penanganan	Perkiraan Nilai Kondisi yang Sesuai	Deskripsi
Pembersihan (<i>Clean/Clear</i>)	0-1	Membersihkan permukaan jembatan dengan sapu atau alat bertekanan, membersihkan puing-puing, menutup grafiti, membersihkan drainase (lubang drainase di sisi bangunan untuk mengalirkan air), membersihkan saluran pembuangan.
Setting ulang (<i>Reset</i>)	1-2	Memperbarui/mengganti elemen habis pakai seperti lampu, sambungan yang dapat dilepas; Mengencangkan baut atau batang, melumasi landasan logam atau bagian bergerak lainnya; Penye-larasan kecil pagar, mereposisi landasan.
Pelapisan (<i>Coat</i>)	2-3	Semua aplikasi permukaan cat, anti air, lapisan galvanis, bahan kimia pengawet, bahan penutup retak.
Perbaikan (<i>Repair</i>)	2-3	Memulihkan/memperbaiki elemen yang rusak, seperti <i>patching</i> , las, retak dan lain-lain.
Penggantian (<i>Replace</i>)	3-4	Penggantian elemen yang rusak atau rusak parah.
Modifikasi (<i>Modify</i>)	3-4	Tindakan perbaikan, perkuatan atau penggantian yang menghasilkan perubahan pada elemen. Hal mungkin yang dilakukan adalah peningkatan fungsi seperti memperpanjang pipa saluran air, perubahan fungsi seperti saat sambungan relief yang dipasang di perkerasan kaku, perbaikan kerentanan seperti <i>retrofit</i> seismik, perubahan kekuatan paska-tarik, <i>jacketing</i> , pemasangan pelat sisip dalam sambungan, perubahan jarak bebas seperti dengan memposisikan ulang pengaku di portal rangka, atau pemasangan dari sistem untuk perlindungan korosi ketika tidak ada sebelumnya.
Darurat (<i>Emergency</i>)	4	Semua perbaikan, penggantian, dan modifikasi yang diselesaikan sebagai tanggapan langsung terhadap keadaan atau kejadian yang tiba-tiba.
Hal-hal yang bukan termasuk Pemeliharaan (<i>non Maintenance</i>)	2-3	Operasi, pemeriksaan.

Bentuk penanganan standar jembatan dan kegiatannya dikelompokkan dalam 8 jenis kegiatan berdasarkan *NCHRP Report 688 Framework for a National Database System for Maintenance Actions on Highway Bridges, 2010* yaitu:

- a. Pembersihan (*Clean/Clear*) sebagaimana yang dijelaskan pada **Tabel 3** dan **Gambar 5**;
- b. Setting ulang (*Reset*) sebagaimana yang dijelaskan pada **Tabel 4** dan **Gambar 6**;
- c. Pelapisan (*Coat*) sebagaimana yang dijelaskan pada **Tabel 5** dan **Gambar 7**;
- d. Perbaikan (*Repair*) sebagaimana yang dijelaskan pada **Tabel 6** dan **Gambar 8**;
- e. Penggantian (*Replace*) sebagaimana yang dijelaskan pada **Tabel 7** dan **Gambar 9**;
- f. Modifikasi (*Modify*) sebagaimana yang dijelaskan pada **Tabel 8** dan **Gambar 10**;
- g. Darurat (*Emergency*) sebagaimana yang dijelaskan pada **Tabel 9** dan **Gambar 11**;
- h. Hal-hal yang tidak termasuk dalam Pemeliharaan (*non Maintenance*) sebagaimana yang dijelaskan pada **Tabel 10** dan **Gambar 12**.

Tabel 3 Kegiatan terkait Pembersihan (Clean/Clear)

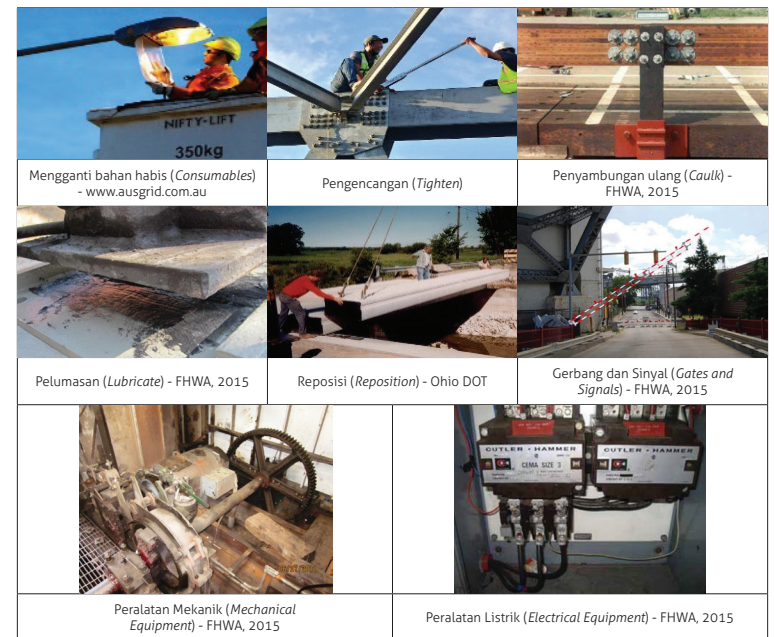
Aktivitas	Deskripsi
Pembersihan dengan air (Wash)	Penggunaan air dengan tekanan sedang untuk membersihkan komponen/elemen utama/elemen jembatan.
Zona Pencucian (Zone Wash)	Pencucian bagian tertentu dari komponen, biasanya bagian yang terkena air asin, atau genangan air termasuk tembok median pembatas yang menghadap lalu lintas, selokan di sistem lantai, dan area di bawah sambungan terbuka.
Sapu (Sweep)	Pembersihan dengan menyapu untuk pasir, pasir halus (<i>grit</i>), atau sisa-sisa kotoran kecil lainnya pada elemen jembatan.
Pembersihan dengan air tekanan tinggi (Flush)	Penggunaan air dengan laju aliran dan/atau tekanan yang lebih tinggi untuk membersihkan ukuran atau jumlah sisa-sisa kotoran kecil yang lebih besar pada komponen jembatan.
Pembukaan sumbatan dan pembersihan (Unclog and Cleanouts)	Pemeliharaan drainase (lubang drainase di sisi bangunan untuk mengalirkan air), bak penampung, pipa, dan elemen drainase lainnya. Metode mencakup pembukaan kisi-kisi dan pembersihan, pembuangan bahan limbah, pembilasan sesuai kebutuhan dan perakitan kembali pada sub elemen (suku cadang).
Grafiti (Graffiti)	Pembersihan atau menutup (<i>masking</i>) tanda yang tidak seharusnya pada jembatan.
Vegetasi (Vegetation)	Pemangkasan dan/atau pembersihan semak belukar, pohon, dan lain-lain., pada lereng, tanggul jalan pendekat, tepi saluran dan yang ada di dalam saluran. Penghilangan material (lepas) pada bangunan bawah, fondasi, tepi saluran dan di dalam saluran. Kegiatan ini tidak termasuk pengerukan saluran.



Gambar 5 Penjelasan Gambar Kegiatan terkait Pembersihan (Clean/Clear)

Tabel 4 Kegiatan terkait dengan setting ulang (Reset)

Aktivitas	Deskripsi
Mengganti bahan habis (Consumables)	Mengganti bola lampu, elemen sambungan karet, reflektor trotoar, dan lain-lain.
Pengencangan (Tighten)	Pengencangan dan pengencangan baut, angkur, batang dan bagian berulir lainnya. Pengencangan juga mencakup penggantian bagian pengencang yang hilang pada sambungan lengkap.
Penyambungan ulang (Caulk)	Pelepasan, penggantian dan pemasangan sambungan pada railing, sambungan tetap dan sambungan konstruksi.
Pelumasan (Lubricate)	Pemeriksaan dan pelumasan bantalan, sambungan siar-mual, sambungan pagar atau bagian yang bergeser lainnya.
Reposisi (Reposition)	Pemeriksaan dan pemasangan posisi di bagian tengah (<i>re-centering</i>) kembali atau penyetelan kembali landasan/bantalan, sambungan, dan bagian lain yang memerlukan reposisi penyesuaian berkala.
Gerbang dan Sinyal (Gates and Signals)	Pemeriksaan dan pemeliharaan sistem kendali lalu lintas, terutama untuk jembatan bergerak.
Peralatan Mekanik (Mechanical Equipment)	Pemeriksaan dan pemeliharaan bagian mekanis dari peralatan gerak untuk bentang bergerak. Peralatan mekanik termasuk bahan habis pakai (filter, sabuk, dan lain-lain), pelumasan, dan penyetelan mesin.
Peralatan Listrik (Electrical Equipment)	Pemeriksaan dan pemeliharaan bagian listrik dari peralatan gerak untuk bentang bergerak. Peralatan listrik termasuk bahan habis pakai (sekring, sakelar), dan penyetelan peralatan.



Gambar 6 Penjelasan Gambar Kegiatan terkait dengan setting ulang (Reset)

Tabel 5 Kegiatan terkait dengan Pelapisan (Coat)

Aktivitas	Deskripsi
Pengecatan (Paint)	Pengecatan pada komponen jembatan, biasanya pada seluruh komponen.
Pengecatan setempat (Spot Paint)	Aplikasi cat pada area tertentu dari komponen yang mungkin termasuk: area cat yang rusak, area terkena paparan khusus (zona percikan), area yang rusak (seperti karena benturan), dan lain-lain.
Pelapisan bahan kedap air (Seal Surface)	Penerapan bahan kedap air atau perawatan permukaan lainnya, untuk permukaan beton atau aspal.
Perbaikan retak (Seal Cracks)	Penggunaan bahan epoksi, <i>high-weight methyl-methacrylate</i> atau bahan lain yang dapat dituang untuk mengisi retakan yang ada Biasanya diaplikasikan pada permukaan beton, tetapi dapat berupa <i>crack sealing</i> pada permukaan aspal dan <i>crack sealing</i> pada elemen kayu.
Perawatan Kimia (Chemical Treatments)	Aplikasi permukaan bahan pengawet untuk komponen kayu Aplikasi permukaan herbisida atau pestisida sebagai bagian dari pemeliharaan jembatan.
Persiapan Permukaan untuk pekerjaan pengecatan (Surface Preparation)	Persiapan permukaan untuk pekerjaan sebelum pelapisan atau pengecatan dan merupakan bagian dari tindakan pelapisan atau pengecatan.



Gambar 7 Penjelasan Gambar Kegiatan terkait dengan Pelapisan (Coat)

Tabel 6 Kegiatan terkait dengan Perbaikan (Repair)

Aktivitas	Deskripsi
Penambalan (Patch)	Perbaikan pada komponen beton, permukaan beton, atau permukaan aspal dengan mengisi dengan bahan semen atau bitumen (<i>patching</i>)
Melengkapi dan pengangkutan kembali (Re-attach/ Re-anchor)	Pekerjaan untuk memperbaiki, memasang kembali angkur yang hilang atau lemah untuk sandaran, sambungan, perletakan, atau komponen lainnya.
Pelurusan (Straighten)	Pelurusan elemen logam, dengan menggunakan tekukan atau panas sesuai dengan persyaratan untuk mengembalikan bentuk yang tepat.
Pendongkrakan dan perbaikan elevasi (Jack/Align)	Pendongkrakan pada bagian ujung jalan pendekat dekat kepala jembatan untuk memperbaiki elevasi perkerasan atau bangunan bawah, penggunaan dongkrak dan mengisi rongga untuk mengurangi kemiringan atau penurunan.
Perkuatan (Reinforce/Strengthen)	Pengelasan, penyisipan pelat pengisi, perkuatan dengan bahan FRP, penambahan selimut beton, kabel eksternal untuk mengembalikan kapasitas elemen struktural yang melemah.
Kegiatan pengerukan / perataan (Dredge/Grade)	Aktivitas pemidahan tanah untuk memperbaiki lereng dan tebing yang tergeser atau tergerus, atau untuk membangun kembali kedalaman dan profil saluran.



Gambar 8 Penjelasan Gambar Kegiatan terkait dengan Perbaikan (Repair)

Tabel 7 Kegiatan terkait dengan Penggantian (Replace)

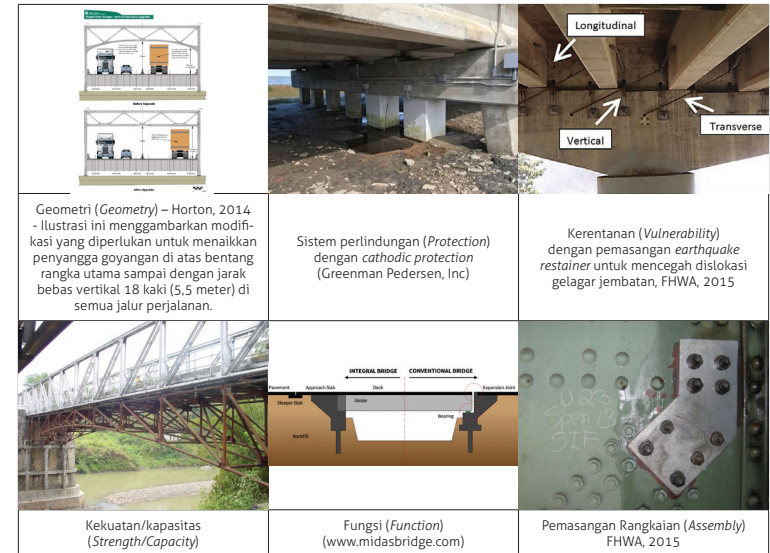
Aktivitas	Deskripsi
Penggantian elemen / sub elemen (Individual)	Penggantian unit elemen/sub elemen seperti penggantian elemen landasan, siar-muai, balok, pilar individual.
Penggantian seksi elemen (Section)	Penggantian elemen/sub elemen seperti lantai jembatan, namun bukan merupakan kumpulan dari unit yang serupa.
Penggantian elemen Lengkap (Complete)	Penggantian lengkap komponen jembatan yang lengkap
Penggantian Bentang Jembatan (Span)	Penggantian lengkap komponen dalam satu bentang jembatan yang mempunyai banyak bentang



Gambar 9 Penjelasan Gambar Kegiatan terkait dengan Penggantian (Replace)

Tabel 8 Kegiatan terkait dengan Modifikasi (Modify)

Aktivitas	Deskripsi
Geometri (Geometry)	Modifikasi geometri untuk membuat jarak bebas termasuk jarak bebas internal dari jembatan dengan pelat lantai di atas rangka dan balok pelengkung.
Sistem perlindungan (Protection)	Penambahan sistem perlindungan yang baru pada komponen, antara lain proteksi korosi, fender, modifikasi aliran sungai.
Kerentanan (Vulnerability)	Modifikasi yang mengurangi kerentanan terhadap kelelahan, beban seismik, fraktur, dan lain-lain.
Kekuatan/kapasitas (Strength/Capacity)	Modifikasi yang meningkatkan kapasitas beban jembatan, banjir/ kapasitas aliran sungai, kapasitas aliran saluran air, kapasitas gerak sambungan siar-muai atau perletakan, dan lain-lain.
Fungsi (Function)	Modifikasi yang mengubah jalur beban atau regim muai susut yang dapat berupa: portal penyokong, konversi ke kepala jembatan integral, sambungan relief pada jalan pendekat perkerasan, dan lain-lain.
Pemasangan Rangkaian (Assembly)	Modifikasi yang menyediakan perangkat yang baru, seperti sambungan, perletakan, atau sandaran di lokasi eksisting yang rusak



Gambar 10 Penjelasan Gambar Kegiatan terkait dengan Modifikasi (Modify)

Tabel 9 Kegiatan terkait dengan Penanganan Darurat (Emergency)

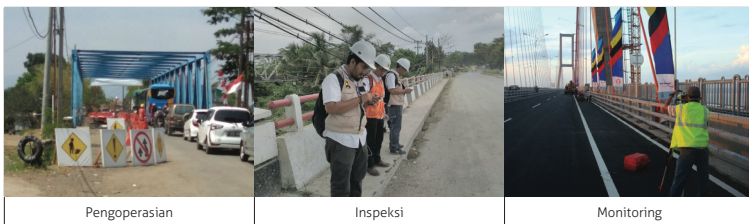
Aktivitas	Deskripsi
Pembatasan beban/ dimensi (Post)	Penyelidikan dan perbaikan yang mengarah pada pembatasan beban/dimensi pada struktur.
Penyokongan/penunangan (Shore)	Pemasangan penunjang sementara untuk lantai jembatan atau bangunan atas. Pembuatan struktur untuk menangkap material lepas.
Penutupan parsial/ Sebagian (Partial Closure)	Aktivitas untuk menutup sebagian lalu lintas pada beberapa bagian elemen struktur, seperti penutupan pada jalur/lajur lalu lintas di atas elemen yang lemah atau terhalang karena ada kegiatan perbaikan sementara.
Penutupan penuh (Full Closure)	Penutupan penuh lalu lintas jembatan.
Jalan Memutar (Detour)	Kegiatan yang diperlukan untuk menetapkan rute alternatif di sekitar struktur yang dibatasi bebannya atau tertutup.
Jembatan Sementara (Temporary Bridge)	Pemasangan dan pemeliharaan jembatan sementara.



Gambar 11 Penjelasan Gambar Kegiatan terkait dengan Penanganan Darurat (Emergency)

Tabel 10 Hal-hal yang tidak termasuk dalam Pemeliharaan (non-Maintenance)

Aktivitas	Deskripsi
Pengoperasian	Pengoperasian jembatan dengan menggunakan rambu-rambu pengarah
Inspeksi	Pemeriksaan Detail yang berupa pemeriksaan yang dilakukan untuk mengetahui nilai kondisi komponen dan elemen jembatan guna mempersiapkan strategi preservasi jembatan dan membuat urutan prioritas jembatan sesuai dengan jenis preservasinya. dan Pemeriksaan Khusus yang berupa pemeriksaan dengan menggunakan peralatan khusus setelah Inspektur Jembatan yang melakukan Pemeriksaan Detail untuk memastikan kondisi dalam analisis kerusakan secara tepat
Monitoring	Pengamatan yang dilakukan terus-menerus untuk melacak berbagai aspek kinerja dan integritas struktur dalam kaitannya dengan sistem keamanan dan layanan



Gambar 12 Penjelasan Hal-hal yang tidak termasuk dalam Pemeliharaan (non-Maintenance)

II. Substansi Kerusakan Bahan



II. Substansi Kerusakan Bahan

A. Bahan Pasangan Batu/Bata

Uraian dan penerapan pemeriksaan khusus untuk kerusakan bahan pasangan batu/bata dijelaskan pada **Tabel 11**, **Tabel 12**, **Gambar 13**, **Tabel 15**, dan **Gambar 14**.

Pemeriksaan khusus tersebut diperlukan ketika akan dilakukan penanaman bahan pasangan batu/bata yang dijelaskan pada **Tabel 13** terutama untuk elemen dan struktur yang berada dalam kondisi rusak berat.

Tabel 11 Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Bahan Pasangan Batu/Bata

Kode	Uraian Kerusakan Bahan	NDT 1	NDT 2	NDT 3	NDT 4	NDT 5	NDT 6	NDT 7
BAHAN PASANGAN BATU/BATA								
101	Penurunan mutu bata atau batu, atau keretakan	Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	Impact Echo (IE)	Ground Penetrating Radar (GPR)	Ultrasonic Tomography (UST)	Electrical Resistivity	Core Drill/ Pengambilan Sampel Inti Batu/ Bata	Hammer Test
102	Dinding pasangan yang menggebung	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur						
103	Bagian yang pecah atau hilang (mortar, batu)	Impact Echo (IE)	Ground Penetrating Radar (GPR)	Infrared Thermography (IT)	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Penyelidikan Geoteknik		

Tabel 12 Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity, Impact Echo, Ground Penetrating Radar, Ultrasonic Tomography, Electrical Resistivity, Core Drill/Pengambilan Sampel Inti Beton atau Batu/Bata, dan Infared Thermography

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
1	Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	1 Set UPV Pundit. - Crack meter. - Ultrasonic gel/grease. - Kertas atau alat tulis.	Jenis pengujian: <i>Ultrasonic testing (UT)</i> SNI ASTM C597:2012 "Metode uji kecepatan rambat gelombang melalui beton (ASTM C 597 -02, IDT). ASTM C597-22 Standard Test Method for Ultrasonic Pulse Velocity Through Concrete	- Pelaksanaan kalibrasi dengan cara menghubungkan kabel Transmitter (T) dan Receiver (R) pada silinder pengalibrasi yang berbentuk silinder. - Pengolesan ujung ujung silinder pengalibrasi dengan gemuk/vaselin. - Pemilihan metoda pengukuran yang diinginkan (langsung, tidak langsung, semi-langsung) dengan mengukur waktu tempuh pulang pergi (Δt) pulsa dan menggunakan kecepatan rambat gelombang (C) pada material yang diselidiki. - Pelaksanaan pengujian di tempat yang tidak ada retak sebagai bahan perbandingan dengan hasil yang didapat pada tempat yang ada retak beton. - Pembuatan pemetaan dan kontur untuk karakter beton yang hampir sama berdasarkan hasil identifikasi pengujian di beberapa titik.	- Pengujian dilakukan untuk menentukan kedalaman reflektor (cacat internal seperti retak, lubang, delaminasi, atau retak horizontal) - Pengendali dan evaluasi kualitas beton (modulus dan kekuatan, menggunakan korelasi dengan modulus). - Penilaian tidak langsung terhadap delaminasi pada dek jembatan. - Estimasi kedalaman retakan vertikal di dalam dek jembatan atau elemen lainnya.
2	Impact Echo (IE)	- Impactor dengan probe yang tunggal atau banyak - Sensor yang merekam respon struktur yang diuji	Jenis pengujian: <i>stress wave</i> ASTMC1383, Test Method for Measurement P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method	- Pembersihan permukaan - Metode kerja <i>Impact Echo</i> adalah dengan membuat suatu benturan mekanis dengan ketukan palu atau lainnya yang menghasilkan gelombang dengan frekuensi 1-60 kHz dengan panjang gelombang dari 50 mm sampai 2000 mm yang merambat dalam suatu media selama media - Impak mekanik pada permukaan struktur akan menghasilkan gelombang tekanan, gelombang geser dan gelombang permukaan. Ketika perambatan gelombang mencapai media yang berbeda (celah/ rongga/ media lain yang berbeda) maka gelombang tekanan dan gelombang geser akan dipantulkan. - Gelombang akan memantul dan kembali mencapai permukaan dimana impact diberikan, Pergerakan tersebut dibaca oleh transduser dan kemudian ditampilkan pada osiloskop digital. Hasil pembacaan berupa voltage-waktu selanjutnya secara digital ditransformasi menjadi hubungan amplitudo vs frekuensi. Frekuensi dominan muncul sebagai puncak pada spektrum frekuensi.	- Mendeteksi kerusakan seperti retak, delaminasi, rongga pada struktur beton, pasangan batu/bata yang direkatkan dengan mortar dan saluran tendon yang di-grouting - Metode pengujian ini dapat digunakan sebagai pengganti, atau bersamaan dengan, pengambilan sampel inti beton untuk menentukan ketebalan pelat, trotoar, sistem lantai, dinding, atau struktur pelat lainnya.

Tabel 12 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
3	Ground Penetrating Radar (GPR)	- GSSI SIR Control Unit. - GSSI (1-1000 MHZ) Shielded Antenna. - Tongkat Penarik. - Meteran. - Laptop	Jenis pengujian: <i>Ground penetrating radar (GPR)</i> ASTM D 4788-03 Standard Test Method for Detecting Delaminations in Bridge Decks Using Infared Thermography	- Pemasangan alat georadar dengan menggunakan frekuensi sesuai dengan kedalaman struktur yang akan diamati/ diukur. - Pembuatan lintasan berupa grid system. - Pengaturan parameter akuisisi/ pengambilan pada software. - Akuisisi/pengambilan data georadar dengan berjalan kaki dengan mendorong/menarik alat georadar tersebut. - Proses data dilakukan dengan penyaringan frekuensi agar diperoleh data yang sesuai dengan target frekuensi, penghilangan noise dilakukan untuk membersihkan data dari sinyal-sinyal yang tidak diharapkan dan penguatan sinyal untuk memperjelas sinyal agar mudah dibaca dan diinterpretasi.	Identifikasi lokasi dan pemetaan kondisi struktur beton
4	Ultrasonic Tomography (UST)	Dry contact transmitting and receiving ultrasonic transducers	Jenis pengujian : <i>Ultrasonic testing (UT)</i> American Concrete Institute Committee 228,Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures,ACI 228.2R-98, 1998.	Cara kerja alat ini mirip dengan alat UPV, perbedaannya adalah pada UST yang digunakan adalah gelombang ultrasonic frekuensi rendah berupa <i>shear waves</i> sehingga dapat merambat lebih jauh dibandingkan gelombang longitudinal. Sensor yang digunakan umumnya berjumlah 48 sensor, dimana tiap sensor dapat berfungsi sebagai transmitter dan juga receiver. Apabila gelombang menemui material dengan kerapatan yang jauh lebih rendah atau lebih tinggi, misalnya rongga atau besi tulangan, maka gelombang akan memantul, dan ditangkap oleh receiver. Waktu tempuh masing-masing gelombang inilah yang digunakan untuk melakukan <i>imaging material</i> yang diperiksa dengan menggunakan software khusus dan ditampilkan dalam bentuk secara 3D.	Mengetahui integritas beton, kerusakan keropos pada beton, area yang tidak tergrouting sempurna, retak dan mengukur ketebalan beton yang diperiksa hingga mencapai ketebalan 1 meter
5	Electrical Resistivity	Resistivity (Wenner) Probe with Four Electrodes	Jenis pengujian: <i>Electromagnetic testing (ET)</i> ASTM G57-06, Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method	- Kisi-kisi survei berukuran 2 kaki kali 2 kaki diletakkan di atas permukaan lantai beton. Setiap titik kisi digunakan sebagai titik pusat probe Wenner. - Spons pada keempat elektroda dibasahi dengan air sabun untuk memastikan sambungan listrik antara elektroda dan beton.	- Mengetahui tingkat korosi pada beton (dengan metode mengukur tahanan listrik). - Kerentanan beton bertulang terhadap korosi. - Daerah yang rentan terhadap kelembaban dan penetrasi klorida.

Tabel 12 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
5	Electrical Resistivity		FM 5-578 ; Florida Method of Test for Concrete Resistivity as an Electrical Indicator of its permeability.	• Titik-titik untuk elektroda yang berada di permukaan beton dibasahi dengan air sabun sebelum elektroda diletakkan di atasnya untuk memastikan kontak yang baik antara elektroda dan permukaan beton. Kuncinya adalah menjaga spons tetap basah sepanjang waktu. • Nilai resistivitas diukur dan disimpan dalam unit kontrol. • Pembuatan pemetaan dan kontur untuk karakter beton yang hampir sama berdasarkan hasil identifikasi pengujian di beberapa titik.	Pengukuran resistivitas dapat digunakan bersama dengan teknik penilaian korosi lainnya seperti potensial setengah sel, yang mengidentifikasi aktivitas korosi, untuk memberikan penilaian korosi yang lebih komprehensif.
6	Core Drill/ Pengambilan Sampel Inti Beton atau Batu/Bata	• Jangka sorong • Baji yang terbuat dari baja digunakan untuk mematahkan beton inti • Kawat baja atau alat penjepit untuk mengangkat beton inti	SNI 03-2492-2002 Metode pengambilan dan pengujian beton inti ASTM C42/C42M-20 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete	• Mesin bor beton silinder dengan diameter minimum 100 mm. • Contoh uji beton inti umurnya tidak boleh kurang dari 14 hari. • Contoh uji beton inti yang cacat atau rusak tidak boleh digunakan. • Ketelitian ukuran diameter dan panjang benda uji tidak boleh lebih dari 1 mm. • Metode pengambilan dan pengujian beton inti sesuai SNI 03-2492-2002. • Pengujian kuat tekan sesuai dengan SNI 1974 2011 mengenai metode kuat tekan beton dengan benda uji silinder	Mengetahui kuat tekan beton pada struktur yang sudah dilaksanakan
7	Infrared Thermography (IT)	• Infrared Scanner. • Video Recorders. • Video Camera. • Distance Measuring Device. • Test Vehicle. • Contact thermometer.	Jenis pengujian: Thermal/infrared testing (IR) ASTM D 4788-03 (2013), Standard Test Method for Detecting Delaminations in Bridge Decks Using Infrared Thermography ASTM D4788-03(2022) Standard Test Method for Detecting Delaminations in Bridge Decks Using Infrared Thermography	• Pembersihan area pengukuran dari berbagai macam halangan. • Permukaan uji harus dalam kondisi kering selama minimal 24 jam. • Pengumpulan data dari satu ujung area ke ujung lainnya secara terus menerus. • Pemindai inframerah, harus dilakukan pada daerah dengan perbedaan suhu antara daerah delaminasi dan beton padat minimal 0,5 derajat Celcius dan kecepatan angin melebihi 30 mph (50 kph). • Pengukuran dilakukan seluruh area dilakukan pada satu lintasan per lajur. • Pengumpulan data dilakukan dengan kecepatan tidak lebih dari 10 mph (16 kph).	• Deteksi delaminasi, pelepasan lapis permukaan, dan rongga pada lantai beton dan terowongan. • Deteksi delaminasi pada perkerasan beton dan kontrol kualitas selama pengaspalan aspal. • Deteksi rongga pada saluran tendon dangkal (penutup beton tipis). • Deteksi retakan di dekat permukaan dan segregasi/keropos pada elemen beton)



Gambar 13 Penjelasan Gambar Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity, Impact Echo, Ground Penetrating Radar, Ultrasonic Tomography, Electrical Resistivity, Core Drill/ Pengambilan Sampel Inti Beton, dan Infrared Thermography

Tabel 13 Penanganan Kerusakan Bahan Pasangan Batu/Bata

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	Jenis penanganan	0-1	1-2	Seting ulang (reset)	2-3	Pelapisan (coat)	2-3	Perbaikan (repair)	3-4	Penggantian (replace)	3-4	Modifikasi (modify)	4	Darurat (emergency)
BAHAN PASANGAN BATU/BATA															
101	Penurunan mutu bata atau batu		Pembersihan bagian-bagian yang lepas				1) Penggecatan 2) Persiapan permukaan untuk pekerjaan pengecatan	Perbaikan dimensi		Penggantian elemen-elemen					
101	Keretakan		Pembersihan bagian-bagian yang lepas				Perbaikan retak	Perbaikan dimensi		Penggantian elemen-elemen		1) Penggantian tanah 2) Modifikasi sistem struktur		1) Pembatasan beban/ dimensi 2) Penyokongan/penunjangan 3) Jembatan Sementara	
102	Dinding pasangan yang mengembung, deformasi		Pembersihan bagian-bagian yang lepas		Penyambungan ulang balk mortar atau elemen pasangan			Perkuatan dinding		Penggantian elemen-elemen		1) Penggantian tanah 2) Modifikasi sistem struktur		1) Pembatasan beban/ dimensi 2) Penyokongan/penunjangan 3) Jembatan Sementara	
103	Bagian yang pecah atau hilang (mortar, batu)		Pembersihan bagian-bagian yang lepas		Penyambungan ulang			Perbaikan dimensi		Penggantian elemen-elemen		1) Penggantian tanah 2) Modifikasi sistem struktur		1) Pembatasan beban/ dimensi 2) Penyokongan/penunjangan 3) Jembatan Sementara	

B. Bahan Beton (termasuk Baja Tulangan)

Uraian dan penerapan pemeriksaan khusus untuk kerusakan bahan beton (termasuk baja tulangan) dijelaskan pada **Tabel 12**, **Gambar 13**, **Tabel 14**, **Tabel 15**, dan **Gambar 14**.

Pemeriksaan khusus tersebut diperlukan ketika akan dilakukan penanganan bahan beton (termasuk baja tulangan) yang dijelaskan pada **Tabel 16** terutama untuk elemen dan struktur yang berada dalam kondisi rusak berat.

Tabel 14 Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Bahan Beton (termasuk Baja Tulangan)

Kode	Uraian Kerusakan Bahan	NDT 1	NDT 2	NDT 3	NDT 4	NDT 5	NDT 6	NDT 7
BAHAN BETON (TERMASUK BAJA TULANGAN)								
201	Cacat pada beton termasuk beton rontok/ spalling, keros, berongga, dan kualitas beton yang rendah	Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	Hammer Test	Ultrasonic Tomography (UST)	Ground Penetrating Radar (GPR)	Pull Out Test	Core Drill/ Pengambilan Sampel Inti Beton	Impact Echo (IE)
202	Retak (elemen beton)	Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	Alkali Silica Reaction/ ASR	Magneto-meter (MM)/ Covermeter	Half-Cell Potential (HCP)	Hammer Test	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Penyelidikan Geoteknik
203	Karat baja tulangan	Half-Cell Potential (HCP)	Electrical Resistivity (ER)	Penetrasi Ion Klorida	Magneto-meter (MM)/ Covermeter	Ground Penetrating Radar (GPR)	Pemeriksaan Bawah Air	
204	Kotor, berlumut, penuaan atau pelapukan beton, rembesan	Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	Hammer Test	Uji Karbonasi	Pemeriksaan Bawah Air			
205	Pecah atau hilangnya bahan (delaminasi, abrasi, aus)	Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	Hammer Test	Infrared Thermography (IT)	Pemeriksaan Bawah Air			
206	Defleksi	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Hammer Test	Magneto-meter (MM)/ Covermeter	Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Penyelidikan Geoteknik	

Tabel 15 Pengujian Pull Out Test, Half-Cell Potential, Hammer Test, Magnetometer, Alkali Silica Reaction, Uji Karbonasi, dan Uji Kadar Klorida

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
1	Pull Out Test	- Unit dongkrak hidrolik kapasitas 100 kN dengan pompa. - Manometer presisi 0-100 kN. - Ring bantalan. 10 cakram baja berdiameter 25 mm. - Mesin <i>core drill</i>.	ASTM C900-23 Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete	- Perataan Lapisan permukaan uji dengan batu penggosok atau gerinda dan permukaan tekstur yang kasar. - Pelubangan lokasi uji dengan mesin bor/ <i>core drill</i> sesuai dengan diameter yang digunakan tegak lurus permukaan. - Pemasukan mandrel angker dan cincin/cakram yang dapat berkembang di dalam lubang dengan diameter 25 mm dan pada kedalaman 25 mm. - Pemasangan sistem bantalan dan sistem <i>loading</i> serta peralatan alat <i>pull out</i>. - Penerikan mandrel angker ditarik keluar menggunakan mesin penarik yang bereaksi terhadap cincin tekanan balik berdiameter 55 mm. - Pemutaran komponen <i>handwheel</i> sampai beban maksimum yang ditunjukkan oleh jarum petunjuk (<i>indicator</i>) hingga terjadi gaya tarik maksimum ketika permukaan beton pertama kali retak. - Perbaikan beton yang rusak akibat pengujian.	Pemeriksaan kekuatan tarik beton yang diberikan dengan mengukur gaya yang diperlukan untuk menarik sisipan logam yang tertanam dan fragmen beton yang terpasang dari benda uji atau struktur beton.
2	Half-Cell Potential (HCP)	1 Set alat <i>half-cell potential</i>. - Palu atau mesin bor untuk membobok beton sampai terlihat tulangnya. - Kapur/ spidol untuk penentuan lokasi uji.	ASTM C876-22b Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete	- Pembobokan sedikit pada permukaan beton sampai dengan terlihat tulangnya. - Hubungkan salah satu label (<i>positive</i>) ke dalam tulangan. - Pembuatan grid dengan jarak tertentu. - Pembacaan pada tiap titik grid. - Pembacaan beda potensial yang terbaca dari alat dengan satuan (mV).	Mengidentifikasi aktivitas korosi pada tulangan baja dalam struktur beton bertulang. Namun metode ini tidak dapat secara langsung mengukur tingkat korosi dengan menghitung perbedaan potensial, atau tegangan, melintasi antarmuka baja-beton.
3	Hammer Test	1 Set Schmidt Hammer Test. - Batu penggosok/ gerinda. - Anvil penguji. - Kapur untuk menandai lokasi uji.	RSNI 4803:20xx "Metode uji angka pantul beton keras (ASTM C 805-02, IDT)	- Kalibrasi alat hammer dengan menggunakan anvil. - Pelaksanaan posisi hulu palu tegak lurus dengan permukaan beton yang diuji. - Pemeriksaan alat secara perlahan ke arah permukaan uji sampai palu pantul menumbuk hulu palu. Setelah tumbukan tahan tekanan pada alat dan apabila perlu tekan tombol pada sisi alat untuk mengunci hulu palu pada posisinya.	- Menilai keseragaman beton. - Memeriksa kekuatan beton.

Tabel 15 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
3	Hammer Test	- Probe mekanik - Mesin pengolah data dengan layar tampilan - Kain untuk membersihkan permukaan beton. - Kapur/ spidol untuk penentuan lokasi uji.	Jenis Pengujian : <i>Electromagnetic testing (ET)</i> Surat Edaran Nomor : 21/SE/MI/2015 tentang Pedoman pengukuran ketebalan selimut beton dengan covermeter elektromagnetik.	- Pembacaan dan pencatatan angka pantul pada skala untuk angka yang terdekati yang dilakukan pada 10 titik bacaan pada setiap daerah pengujian dengan jarak masing-masing titik bacaan tidak boleh lebih kecil dari 25 mm. - Pemeriksaan permukaan beton setelah tumbukan, batalan pembacaan jika tumbukan memecahkan atau menghancurkan permukaan beton karena terdapat rongga udara, dan ambil titik bacaan yang lain.	- Mengetahui tebal selimut beton. - Mengetahui lokasi tulangan. - Estimasi diameter baja tulangan. - Mengetahui jarak/posisi tulangan.
4	Magnetometer (MM)/Covermeter	- Air terdestilasi - Pipet pengeluan. - Sarung tangan - Kaca mata pelindung - Mesin <i>coredrill</i>/ Pengambilan Sampel Inti Beton	ASTM D7046-11 Standard Guide for Use of the Metal Detection Method for Subsurface Exploration (Withdrawn 2020)	- Perataan dan pembersihan permukaan beton yang akan diperiksa konfigurasi tulangnya. - Kalibrasi alat <i>covermeter</i> terlebih dahulu. - Penempatan unit pemindai pada permukaan beton yang akan diperiksa - Menggerakkan transduser secara horizontal dan vertikal dapat dicari tebal selimut beton dan posisi tulangan yang ditunjukkan dalam nilai tertentu pada alat <i>covermeter</i> tersebut, pada daerah yang diuji. - Evaluasi dilakukan dengan cara membandingkan parameter hasil pengujian <i>covermeter</i> berupa ketebalan selimut beton, jarak antar tulangan, estimasi diameter tulangan dan posisi tulangan dengan parameter perencanaan/ <i>as build drawing</i>	- Mengetahui tebal selimut beton. - Mengetahui lokasi tulangan. - Estimasi diameter baja tulangan. - Mengetahui jarak/posisi tulangan.
5	Alkali Silica Reaction/ASR	- Reagen (dengan warna kuning dan merah muda) - Air terdestilasi - Pipet pengeluan. - Sarung tangan - Kaca mata pelindung - Mesin <i>coredrill</i>/ Pengambilan Sampel Inti Beton	James Instruments, Non Destructive Test Equipment, ASR Detect "A Simple colored dye field test to detect Alkali Silica Reaction (ASR)".	- Pengambilan sampel beton inti di lokasi yang terindikasi mengalami ASR. Pengukuran ASR juga dapat juga dilakukan pada lubang bekas pengambilan beton inti atau pada beton inti yang baru diambil pada saat itu. - Penuangan dua reagen diterapkan secara bergantian ke permukaan beton yang baru dan dibilas dengan air yang akan menentukan tahap awal dan lanjutan ASR dengan indikasi warna.	Mengidentifikasi Reaksi alkali silika (ASR) dalam beton reaksi antar kandungan silika dalam agregat dan alkali dalam semen yang selanjutnya akan beton akan mengalami retak, permukaan mengelami <i>spalling</i>/ pecah.

Tabel 15 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
5	Alkali Silica Reaction/ASR		ASTM C1203 – 20 Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction ASTM C1260 – 21 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method) ASTM C 295 – 08 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete ASTM C 289 – 07 Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method) ASTM C 227 – 03 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar Bar Method)	• Pada beton yang terkontaminasi, warna yang dihasilkan menunjukkan adanya ASR. Warna juga mengungkapkan tingkat ASR dalam beton dan menunjukkan tahap kemajuan ASR. Warna kuning menunjukkan bahwa degradasi telah dimulai dan warna merah muda mengindikasikan bahwa degradasi sedang berlangsung.	Reaksi alkali silika umumnya terjadi pada konstruksi dekat pantai yang mengalami kontak langsung dengan air laut maupun yang terkena dampak dari banjir rob.
6	Uji Karbonasi	Peralatan: • Mesin bor dengan kemampuan melubangi beton.	Guidebook on non-destructive testing of concrete structures, International atomic energy agency, Vienna 2002.	• Penentuan lokasi yang akan diukur, sekurang-kurangnya 3 buah per elemen. • Pengeboran pada lokasi pengukuran sampai kedalaman ± 10 mm	Mengetahui kedalaman rata-rata beton yang terkarbonasi.

Tabel 15 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
6	Uji Karbonasi	• Mata bor dengan diameter disesuaikan dengan kebutuhan (umumnya diameter 10 mm). • Jangka sorong dengan ketelitian minimum 0,1 mm. • Botol penyempit dengan ukuran yang disesuaikan dengan kebutuhan dari lubang bor. Bahan: • Tisu/ kain. • Etanol. • Air suling. • Larutan phenolftalein dengan konsentrasi 1%. Larutan ini dibuat dengan cara melarutkan 1 gram phenolftalein ke dalam 90 mL etanol kemudian ditambahkan air suling sehingga volumenya mencapai 100 mL.	ASTM C 856 - 14 Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete. ASTM C856/C856M-20 Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete	• Pembersihan lubang yang telah dibor dengan cara menyempitkan udara bertekanan, kemudian menyempitkan air bersih secukupnya dan keringkan dengan kain. • Penyempitan larutan phenolftalein pada lubang. • Pengamatan perubahan warna yang terjadi. • Pengukuran kedalaman jika terjadi perubahan warna beton menjadi merah muda, yang diukur dari permukaan beton sampai dengan batas perubahan warna tersebut. • Lakukan pengukuran pada 4 posisi kemudian ambil rata-ratanya. Hasil pengukuran dinyatakan hingga ketelitian 0,1 mm. • Jika dalam waktu 10 detik beton belum berubah, ulangi langkah-langkah di atas pada lubang yang sama dengan memperdalam lubang. • Penutupan lubang bekas pengukuran tersebut dengan adukan mortar tidak menyusut dengan mutu beton minimal sama dengan mutu beton yang telah dilubangi.	Lapisan beton yang sudah terkarbonasi terlihat tidak berubah warna ketika ditetesi larutan phenolftalein. Hal ini menunjukkan karbondioksida dan udara sudah bereaksi dengan senyawa semen yang terhidrasi yang artinya tulangan beton rawan terkena korosi.

Tabel 15 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
7	Uji Kadar Klorida	• <i>Electronic meter, impedance</i> tinggi dengan kompensasi suhu dan mikroprosesor untuk mengkonversi langsung ke persentase klorida. • Elektroda kombinasi klorida dengan sensor suhu. • Cairan ekstraksi. • Cairan kalibrasi. • Timbangan. • Mesin bor tangan. • Pompa peniup angin.	Pengujian ini berkorelasi dengan : • ASTM C114 Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement. • AASHTO T260 Standard Method of Test for Sampling and Testing for Chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials.	• Penentuan lokasi yang akan diukur, sekurang-kurangnya 3 buah per elemen. • Pengeboran pada lokasi pengukuran pada kedalaman yang akan diuji kemudian ambil serbuk betonnya. Sampel beton berupa serbuk dapat diambil pada kedalaman 2 cm, 4 cm dan 6 cm pada lokasi yang sama tergantung dari kebutuhan analisis kedalaman penetrasi yang hendak diketahui (usakan pengambilan serbuk beton lebih dari selimut betonnya). • Cairan kalibrasi digunakan untuk menetapkan kurva kalibrasi, dan untuk memeriksa apakah sistem berfungsi dengan benar. Kalibrasi tidak diperlukan untuk setiap penggunaan. • Sampel bubuk diperoleh dengan pengeboran dan quartering yang hati-hati. Kemudian ditimbang akurat 3 gr. Sampel dilarutkan dalam 20 ml cairan ekstraksi yang terdiri dari konsentrasi asam yang terukur dan tepat. • Ion klorida bereaksi dengan asam dari cairan ekstraksi dalam reaksi elektrokimia. Elektroda, dengan sensor suhu integral, dimasukkan ke dalam cairan dan reaksi elektrokimia diukur. • Instrumen mengubah tegangan yang dihasilkan oleh konsentrasi klorida dan sensor menjadi pembacaan. Instrumen secara otomatis menerapkan koreksi suhu dan menunjukkan konsentrasi klorida (persentase berat) pada layar LCD.	Mengetahui tingkat konsentrasi ion klorida dalam beton. Adanya ion klorida yang bersifat agresif akan membentuk senyawa asam pasif yang bersifat basa sehingga selaput pasif akan rusak dan baja tulangan akan terkorosi. Korosi akibat penetrasi klorida umumnya terjadi secara setempat (<i>pitting corrosion</i>).



Gambar 14 Penjelasan Gambar Pengujian Pull Out Test, Half-Cell Potential, Hammer Test, Magnetometer, Alkali Silica Reaction, Uji Karbonasi, dan Uji Kadar Klorida

Tabel 16 Penanganan Kerusakan Bahan Beton (termasuk Baja Tulangan)

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	4
	Jenis penanganan	Pembersihan (clean/clear)	Setting ulang (reset)	Pelapisan (coat)	Perbaikan (repair)	Penggantian (replace)	Modifikasi (modify)	Darurat (emergency)	
BAHAN BETON (TERMASUK TULANGAN)									
201	Cacat pada beton termasuk beton rontok/ spalling, keropos, berongga dan kualitas beton yang rendah	Pembersihan bagian-bagian yang lepas		Pengisian celah	1) Perbaikan dimensi 2) Penggantian elemen	Penggantian komponen	Modifikasi sistem pelapisan Modifikasi sistem struktur	1) Penyokongan/ penunjangan 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara	
202	Retak (elemen beton)	Pembersihan bagian-bagian yang lepas		Perbaikan retak	1) Perbaikan dimensi 2) Perkuatan termasuk retrofit setelah gempa	Penggantian elemen-elemen	Modifikasi sistem struktur Modifikasi ikatan penahan gempa antar bangunan atas	1) Pembatasan beban/ dimensi 2) Penyokongan/ penunjangan 3) Jembatan Sementara	
203	Karat baja tulangan	Pembersihan bagian-bagian yang lepas		1) Pengecatan setempat 2) Persiapan permukaan untuk pekerjaan pengecatan	1) Perbaikan dimensi 2) Perkuatan	Penggantian elemen-elemen	Modifikasi sistem struktur Modifikasi sistem perlindungan korosi	1) Pembatasan beban/ dimensi 2) Penyokongan/ penunjangan 3) Jembatan Sementara	

Tabel 16 (lanjutan)

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	4
	Jenis penanganan	Pembersihan (clean/clear)	Setting ulang (reset)	Pelapisan (coat)	Perbaikan (repair)	Penggantian (replace)	Modifikasi (modify)	Darurat (emergency)	
204	Kotor, berlumut, pnuan atau pelapukan beton, rembesan	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Perbaikan saluran drainase	1) Pengecatan beton 2) Persiapan permukaan untuk pekerjaan pengecatan beton		Penggantian elemen-elemen	Modifikasi sistem pelapisan		
205	Pecah atau hilangrgya bahan (delaminasi, abrasi, aus)	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penyambungan ulang elemen sambungan		1) Perbaikan dimensi 2) Pendongkrakan dan perbaikan elevasi	Penggantian komponen	1) Modifikasi sistem pelapisan 2) Modifikasi sistem struktur	1) Penyokongan/ penunjangan 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara	
206	Defleksi	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	1) Reposisi 2) Penyambungan ulang		1) Pendongkrakan struktur	Penggantian komponen	Modifikasi sistem struktur	1) Penyokongan/ penunjangan 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara	

C. Bahan Baja

Uraian dan penerapan Pemeriksaan khusus untuk kerusakan bahan baja dijelaskan pada **Tabel 17**, **Tabel 18**, dan **Gambar 15**.

Pemeriksaan khusus tersebut diperlukan ketika akan dilakukan penanganan bahan baja yang dijelaskan pada **Tabel 19** terutama untuk elemen dan struktur yang berada dalam kondisi rusak berat.

Tabel 17 Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Bahan Baja

Kode	Uraian Kerusakan Bahan	NDT 1	NDT 2	NDT 3	NDT 4
BAHAN BAJA					
301	Penurunan mutu dan atau kinerja proteksi korosi (lapisan pelindung/cat)	Ketebalan Cat	Ultrasonic Testing (Thickness Measurement)	Pull off test	Pemeriksaan Bawah Air
302	Karat	Ultrasonic Testing (Thickness Measurement)	Kekerasan Logam	Ketebalan Cat	Pemeriksaan Bawah Air
303	Perubahan bentuk pada komponen	Ultrasonic Testing	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Kekerasan Logam	Penyelidikan Geoteknik
304	Retak (elemen baja dan las)	Ultrasonic Testing	Dye Penetrant Testing (DPT)	Crack Propagation Cage (CPG)	Pemeriksaan Bawah Air
305	Komponen yang rusak/ hilang (sobek, abrasi)	Ultrasonic Testing	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Kekerasan Logam	Pemeriksaan Bawah Air
306	Elemen yang salah pemasangan	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur			
307	Kabel jembatan rusak	Pengujian Tegangan Kabel			
308	Sambungan yang longgar dan karat	Kekencangan Baut/Kunci Torsi Momen			

Tabel 18 Pengujian Kerusakan Bahan Baja

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
1	Coating thickness gauge/ alat pengukur ketebalan cat	1 (satu) set alat coating thickness gauge dengan kumparan probe berenergi. - Tisu atau kain untuk membersihkan permukaan yang akan diuji. - Alat tulis untuk menandai lokasi uji.	Jenis pengujian: Electromagnetic testing (ET) ASTM D7091-22 Standard Practice for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to Ferrous Metals and Nonmagnetic, Nonconductive Coatings Applied to Non-Ferrous Metals	- Kalibrasi alat terlebih dahulu sesuai dengan angka kalibrasi yang ada di alat uji. Jauhkan barang-barang dari besi setidaknya 10 cm dari alat coating thickness gauge. - Pembersihan area permukaan uji dengan kain atau tisu sehingga bersih dari debu atau kotoran. - Penempatan alat pada objek yang diperiksa sampai dengan terlihat nilai ketebalan cat yang stabil.	Mengukur ketebalan cat
2	Ultrasonic Testing (Thickness Measurement)	- Sirkuit pendeteksi dan penerima ultrasonik dikemas dalam satu perangkat genggam yang diooperasikan dengan baterai. - Tampilan digital pada perangkat yang diukur - Ampelas untuk membersihkan lapisan cat pada area yang akan diuji. - Tisu atau kain untuk membersihkan permukaan yang akan diuji - Alat tulis untuk menandai lokasi uji	Jenis pengujian: Ultrasonic testing (UT) ISO 16809:2017(E) Non destructive testing – Ultrasonic thickness measurement	- Kalibrasi alat sesuai dengan angka kalibrasi yang terdapat pada alat. - Pembersihan sedikit permukaan cat pada area yang akan diuji ketebalan bajanya dengan ampelas. - Pembersihan area yang sudah tidak terdapat lapisan permukaan cat dengan kain atau tisu. - Penempatan alat pada objek yang diperiksa sampai dengan terlihat nilai ketebalan baja yang stabil. - Lakukan pengujian minimal 3 kali di lokasi yang sama untuk memperoleh data yang lebih akurat.	Pengukuran ketebalan ultrasonik digunakan untuk menentukan kehilangan bagian akibat korosi. Ketebalan material diukur berdasarkan waktu tempuh gelombang ultrasonik yang merambat melalui material
3	Pull Off test	- Adhesion Tester - Loading Fixtures - Detaching Assembly (adhesion tester) - Tahanan untuk menahan permukaan - Pengukur waktu	ASTM D4541-22 Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers	Protokol 1 (uji patah) menentukan gaya tegak lurus terbesar (dalam tegangan) yang dapat ditanggung oleh area permukaan sebelum sumbat material terlepas.	Pengujian dilakukan untuk mengetahui keawetan dari pelapis/coating pada elemen. Pengujian pull-off merupakan metode untuk mengukur ketahanan pelapis/coating terhadap pemisahan dari substrat ketika gaya tarik tegak lurus diterapkan.

Tabel 18 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
3	Pull off test	• Force Indicator and Calibration Information • Solvent • Amplas • Lem • Klem • Kipas, atau cara lain untuk menghilangkan lem yang berlebih dan menentukan area yang menempel • Alat Scoring, pemotong, lubang melingkar, atau alat serupa untuk membuat lubang pada substrat di sekitar perlengkapan pemuatan.		• Protokol 2 (lulus/gagal) menentukan apakah permukaan yang dilapisi tetap utuh pada kriteria beban yang ditentukan. • Fraktur akan terjadi di sepanjang bidang tertengah dalam sistem yang terdiri dari perlengkapan uji, lem, sistem pelapisan, dan substrat, dan akan terpapar oleh permukaan fraktur. • Metode pengujian ini memaksimalkan tegangan tarik dibandingkan dengan tegangan geser yang diterapkan oleh metode lain, seperti gosoran atau adhesi pisau, dan hasilnya mungkin tidak sebanding.	• Metode Uji B - Penguji Adhesi Penyeragaman Tetap Tipe II; • Metode Pengujian C - Penguji Adhesi Penyeragaman Sendiri Tipe II; • Metode Uji D - Penguji Adhesi Penyeragaman Diri Tipe IV; • Metode Uji E - Penguji Adhesi Penyeragaman Diri Tipe V; • Metode Uji F - Penguji Adhesi Penyeragaman Diri Tipe VI.
4	Kekerasan Logam/ Hardness Testing	• 1 (satu) set alat <i>portable hardness test</i>. • Ampelas untuk membersihkan lapisan cat pada area yang akan diuji. • Tissue atau kain untuk membersihkan permukaan yang akan diuji • Alat tulis untuk menandai lokasi uji	SNi 8461:2017 : Metode uji kekerasan leeb untuk besi dan baja ASTM A956/A956M-22 Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products	• Pengkalibrasian alat sesuai dengan angka kalibrasi yang terdapat di alat uji. • Pembersihan sedikit permukaan cat pada area yang akan diuji ketebalan bajanya dengan ampelas. • Pembersihan area yang sudah tidak terdapat lapisan permukaan cat dengan kain atau tissue. • Penempelan nozzle pada bagian permukaan, diamlkan sebenar dan nilai kekerasan akan terlihat pada display monitor. • Penerapan uji minimal 3 kali dilokasi yang sama untuk memperoleh data yang lebih akurat.	Uji kekerasan Leeb adalah tipe dinamis atau pantulan, yang terutama bergantung pada plastik dan sifat elastis material yang diuji. Hasil yang diperoleh merupakan indikasi kekuatan dan tergantung pada perlakuan panas dari bahan yang diuji. Uji kekerasan Leeb adalah penentuan dangkal yang hanya mengukur kondisi permukaan yang dihubungi. Hasil yang dihasilkan di lokasi tersebut tidak mewakili bagian di lokasi permukaan lainnya dan tidak memberikan informasi tentang material di lokasi bawah permukaan.

Tabel 18 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
5	Ultrasonic Testing	• Detektor cacat ultrasonik yang dapat digenggam dan dioperasikan dengan baterai. Detektor cacat terdiri dari penerima pulsa ultrasonik yang menghasilkan dan mendeteksi gelombang akustik, layar tempat bentuk gelombang ditampilkan, dan panel kontrol tempat penyesuaian parameter instrumen dapat dilakukan. • Beam sebagai transducer diterapkan di lapangan untuk mendeteksi cacat pada pin, poros runtuhan, baut, langkar, dan komponen jembatan baja lainnya. • Untuk menghasilkan kerusakan dalam bentuk gambar digunakan multi sensor pada beam yang disebut <i>Phased Array Ultrasonic Testing</i> (PAUT)	Jenis pengujian: <i>Ultrasonic testing</i> (UT) AWS, Bridge Welding Code, AWS D1.5 Advances in Phased Array Ultrasonic Technology Applications - 1. Olympus NDT, Inc.	• Kalibrasi alat sesuai dengan angka kalibrasi yang terdapat pada alat. • Pembersihan sedikit permukaan cat pada area yang akan diuji ketebalan bajanya dengan ampelas. • Pembersihan area yang sudah tidak terdapat lapisan permukaan cat dengan kain atau tissue. • Penempelan alat pada objek yang diperiksa sampai dengan terlihat perubahan grafik pulsa yang stabil, penempelan dapat dilakukan dalam arah vertikal, dan bersudut. • Lakukan pengujian perbandingan antara elemen yang terdapat kerusakan dengan elemen yang utuh	• Teknologi UT juga dapat diterapkan pada jembatan yang sedang beroperasi untuk mendeteksi dan/atau memantau hal-hal berikut ini. • Retak pada member jembatan baja. • Cacat las seperti retakan, inklusi terak, porositas las, atau kurangnya fusi pada member jembatan baja. • Retak pada komponen jembatan baja seperti pin, gantungan, dan eyebor. • Baut langkar yang retak. • Ketebalan pelat baja. • Panjang pin, jembatan atau baut langkar.
6	Dye Penetrant Testing (DPT)	• Liquid Cleaner • Liquid Penetrant • Liquid Developer • Paint remover	Jenis pengujian : <i>Liquid penetrant testing</i> ASTM E1417: Standard Practice for Liquid Penetrant Examination. ASTM E165 : Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry	• Pengecekan temperatur permukaan benda uji menggunakan termograf. Suhu benda uji yang boleh dilakukan pengujian antara 100°C sampai dengan 500°C • Pembersihan kotoran maupun sisa cat. Cuciunalan <i>paint remover</i> untuk membersihkan permukaan dari cat. • Penyemprotan permukaan benda uji dengan <i>liquid developer</i>, lalu bersihkan permukaan uji menggunakan kain tissue. Pastikan permukaan benda telah kering dan bersih. • Penyempurnaan cairan <i>penetrant</i> ke permukaan benda uji.	• Mendeteksi dan memantau kerusakan pada elemen jembatan baja, sambungan pelat buhul, dan detail pengelasan di lapangan, namun retakan di bawah permukaan atau cacat las volumetrik (porositas, kurangnya fusi, inklusi terak, dll.) tidak dapat dideteksi dengan menggunakan metode ini.

Tabel 18 (lanjutan)

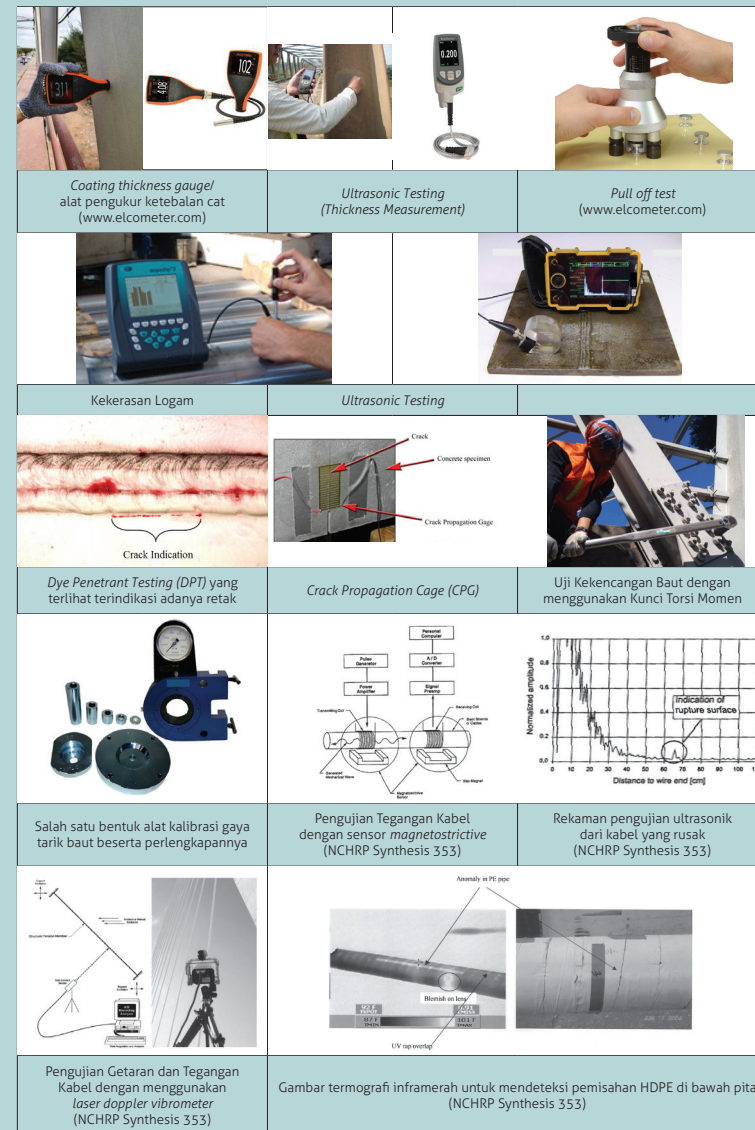
No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
6	Dye Penetrant Testing (DPT)			- Penyempitan dapat menggunakan kuas untuk membantu proses penetrant, agar chemical yang digunakan tidak tertaklir banyak dan sulit untuk di bersihkan. Caranya semprotkan penetrant ke wa- dan plastik, kemudian gunakan kuas untuk meng- aplikasi penetrant di benda uji. Tunggu hingga 10 – 15 menit hingga cairan penetrant meresap ke pori pori crack. - Setelah permukaan kering, semprotkan liquid developer ke permukaan benda uji, dan Tunggu selama 10 – 15 menit. - Cairan developer akan menarik cacat permukaan keluar, yang memadatkan adanya cacat permukaan pada benda uji. Catat dan dokumentasikan sebagai langkah dalam pembuatan laporan. - Setelah selesai gunakan liquid cleaner untuk membersihkan permukaan benda yang telah di uji. Sisa chemical di tetel uji dapat menyebabkan timbulnya korosi. Pasihkan material uji telah bersih kembali.	Memonitor perluasan retakan pada gelagar baja, eyebars, dan member rangka batang. Retak yang terdeteksi dengan metode lain, seperti inspeksi visual, dapat dipantau dengan pengukur untuk mengeva- luasi apakah retak tersebut berkembang.
7	Crack Propagation Gage (CPG)	Gage atau alat pengukur regangan	ASTM E647-13ae1 Standard Test Meth- od for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates	Pengukur dilikat ke permukaan spesimen di area ujung retakan sehingga pertumbuhan retakan akan mengakibatkan setiap lintasan dalam pengukur retak, yang mempengaruhi ketahanan pengukur.	

Tabel 18 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
8	Pengujian Tegangan kabel	Pengujian jangka pendek berupa: • Sarana akses untuk Pemeriksaan visual • Akselerometer atau <i>laser-based noncontact method/ laser doppler vibrometer</i> • Sepasang <i>ultrasonic transducer</i> • Angkur dengan tipe yang sama atau serupa • Sensor yang dapat mendeteksi perubahan medan magnet dan menghasilkan output listrik sebagai hasilnya. • Kamera video dengan aktivasi data sensor dan perangkat lunak pelacakan target • Mesin tegangan tinggi khusus (tabung sinar-X) menghasilkan sinar-X, dan sinar gamma • Mock-ups dari kabel • <i>Magnetostrictive Sensors</i>	Pengujian jangka pendek berupa: • Pemeriksaan visual • <i>Vibration-Based Cable Force Measurements</i> • <i>Ultrasonic Assessments of MTEs (main tension elements) in Anchorage Zones</i> • <i>Magnetic Methods</i> • <i>Video Monitoring (Photogrammetry)</i> • <i>Radiography</i> • Gelombang elastis (gelombang terpendu) • <i>Laser Ultrasound</i> • <i>Impulse response</i> • <i>Impulse radar</i> • <i>Infrared thermography</i> • <i>Low energy X-ray</i> • Pengiriman sinyal frekuensi tinggi melalui kabel penginderaan dan memantau pantulannya	Pengujian jangka pendek berupa: • Ketelitian untuk melihat dengan sarana akses yang memadai • Penempatan posisi akselerometer dalam kondisi yang stabil • Sangatlah penting bahwa angkur dengan tipe yang sama atau serupa harus tersedia (atau dibuat lainnya) sebelum pengujian lapangan untuk mengkalibrasi hasil untuk cacat yang diketahui dan lokasinya • Magnet dan sensor harus dapat menjangkau secara fisik di sekitar angkur dalam jarak yang wajar • Kemampuan yang terbatas untuk dapat gambar tiga dimensi dari seluruh kabel • Kelelahan dalam penggunaan peralatan yang menghasilkan radiasi • Di zona jangkar, cacat kecil (beberapa kabel yang putus) kemungkinan besar tidak akan terdeteksi dengan menggunakan gelombang yang dipandu ini. • <i>Laser Ultrasound</i> dapat diterapkan sebagai beban titik di mana saja di ujung untai atau kawat. Hal ini juga dapat diterapkan secara eksentrik untuk menghasilkan mode longitudinal dan lentur • <i>Impulse radar</i> bagus untuk mendeteksi rongga atau kerusakan <i>grout</i>	Pengujian jangka pendek dengan tujuan : • Mengidentifikasi kerusakan pada sistem kabel pergerakan sistem lama termasuk selubung, angkur dan sadel. • Mendapatkan gaya kabel melalui pengidentifikasi cacat frekuensi kabel • Mempelajari perambatan gelombang pulsa yang tidak wajar di sepanjang kabel untuk mengidentifikasi cacat pada kabel; • Mengidentifikasi adanya adanya korosi atau fraktur di sepanjang kabel baja melalui perubahan medan magnet • Mengidentifikasi lokasi dan tingkat kerusakan berdasarkan gangguan magnetik, kebocoran fluks magnetik, atau induksi magnetik yang bervariasi. • Mengukur amplitudo getaran kabel stay melalui urutan gambar yang diambil oleh kamera video • Radiografi unum menghasilkan gambar dua dimensi, sedangkan <i>computed tomography</i> dapat menghasilkan gambar penampang melintang dari objek tiga dimensi dari kabel

Tabel 18 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
8	Pengujian Tegangan Kabel	- Pengujian jangka panjang berupa: - Acoustic Monitoring System berdasarkan sensor piezoelektrik dan perangkat lunak berpemilik - Uniaxial or biaxial - Accelerometers - Sistem akuisisi data berkecepatan tinggi	Pengujian jangka panjang berupa: - Acoustic Monitoring - Long-Term Sensor-Based Monitoring	- Infrared thermography dan Low energy X-ray terbalik digunakan untuk pemisahan pada selubung PE (di bawah pita pembungkusan), namun tidak dapat untuk membedakan rongga yang terisi atau rongga di tempat tertutup pada bagian bawah spesimen. - Time Domain Reflectometry (TDR) - Pengujian jangka panjang berupa: - Jangkauan akurasi untuk Acoustic Monitoring sekitar 8 mcd sedangkan perkiraan putusannya kabel di dekat ujung kabel cenderung dalam jarak 18 inci. - Posisi sensor dipilih untuk memaksimalkan respons sensor untuk mode getaran yang diinginkan, dan mempertimbangkan keterbatasan akses. - Pembukaan dan pembongkaran selongsong kabel secara manual untuk evaluasi akan dapat meningkatkan keefektifan penilaian kondisi kabel.	- Memantau tegangan pada kol penerima berdasarkan perubahan medan magnet di sepanjang kabel peng-gantung melalui gelombang elastis (gelombang terpandu) yang bergerak ke dua arah - Mengidentifikasi kekurangan pada selubung PE (retak dan retakan yang sebelumnya telah diperbaiki dengan epoksi), kerusakan pada pembungkusan tahan ultraviolet (UV) pada selubung, dan cacat grout, dan korosi. - Pengujian jangka panjang dengan tujuan: - Metode untuk memantau putusnya kabel karena kerusakan akibat kelelahan pada kabel penahan yang di-grout - Long-Term Sensor-Based Monitoring
9	Kekelancangan Baut/Kunci Torsi Momen	- Alat pengencang baut (alat torsi meter) - Kalibrator tegangan Skidmore Wilhem	SE Menteri PUPR No. 14/SE/M/2015 Pedoman Pemasangan Baut Jembatan Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts, Research Council On Structural Connections, 2020	- Pengkalibrasian gaya tarik yang dibutuhkan dengan momen torsi yang seharusnya dilakukan untuk berbagai kondisi baut - Pemilihan titik buhul dimana terdapat baut yang akan dilakukan pengujian - Pengujian kekencangan baut dengan berbagai nilai torsi meter sampai didapatkan suatu nilai kekencangan yang sebenarnya terdapat pada sistem sambungan baut yang diuji - Nilai kekencangan yang terukur di lapangan dibandingkan dengan nilai kekencangan hasil uji di lapangan	Mendapat gaya tarik baut sebagai dasar penentuan kekencangan baut



Gambar 15 Penjelasan Gambar Pengujian Bahan Baja

Tabel 19 Penanganan Kerusakan Bahan Baja

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	4
Jenis penanganan	Pembersihan (<i>clean/clear</i>)	Setting ulang (<i>reset</i>)	Pelapisan (<i>coat</i>)	Perbaikan (<i>repair</i>)	Penggantian (<i>replace</i>)	Modifikasi (<i>modify</i>)	Darurat (<i>emergency</i>)		
BAHAN BAJA									
301	Penurunan mutu dan atau kinerja proteksi korosi (lapisan pelindung / cat)	Pembersihan bagian-bagian yang lepas		1) Pengcatan 2) Persiapan permukaan untuk pekerjaan pengecatan	Perkuatan struktur	Penggantian elemen-elemen	1) Modifikasi sistem pelapisan 2) Modifikasi sistem pelindungan dengan korosi	1) Penyokongan/ penunangan 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara	
302	Karat	Pembersihan bagian-bagian yang lepas		1) Pengcatan 2) Persiapan permukaan untuk pekerjaan pengecatan	Perkuatan struktur	Penggantian elemen-elemen	1) Modifikasi sistem pelapisan 2) Modifikasi sistem perlindungan korosi	1) Penyokongan/ penunangan 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara	
303	Perubahan bentuk pada komponen	Pembersihan bahan-bahan yang lepas	1) Reposisi 2) Penyambungan ulang		1) Pelurusan 2) Perkuatan struktur 3) Pendongkrakan dan perbaikan elevasi	Penggantian komponen	Modifikasi sistem struktur	1) Penyokongan/ penunangan 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara	
304	Retak (elemen baja dan las)	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penyambungan ulang		1) Pengelasan 2) Perkuatan elemen	Penggantian elemen-elemen	1) Modifikasi sistem struktur 2) Pembuatan lubang pelepas tegangan	1) Pembatasan beban/ dimensi 2) Penyokongan/ penunangan 3) Jembatan Sementara	

Tabel 19 (lanjutan)

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	3-4	3-4	4
	Jenis penanganan	Pembersihan (clean/clear)	Setting ulang (reset)	Pelapisan (coat)	Perbaikan (repair)	Penggantian (replace)	Modifikasi (modify)	Darurat (emergency)
305	Komponen yang rusak (sobek, abrasi)	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penyambungan ulang		1) Pengelasan 2) Pelurusan 3) Perkuatan elemen	Penggantian elemen-elemen	1) Modifikasi sistem struktur 2) Retrofit setelah terjadi gempa	1) Pembatasan beban/ dimensi 2) Penyokongan/ penunjang 3) Jembatan Sementara
306	Elemen yang salah pemasangan atau hilang atau tidak terpasang	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian elemen-elemen kecil/ barang habis	1) Pengcatan 2) Persiapan permukaan untuk pekerjaan pengecatan	Pengukuran kembali	Penggantian bagian yang hilang	Modifikasi sistem sambungan	1) Penyokongan/ penunjang 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara
307	Kabel jembatan rusak	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	1) Penggantian elemen-elemen kecil/ barang habis 2) Penyambungan ulang	1) Pengcatan 2) Persiapan permukaan untuk pekerjaan pengecatan	Pengukuran kembali Perkuatan elemen	Penggantian bagian yang hilang	Modifikasi sistem sambungan	1) Penyokongan/ penunjang 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara
308	Sambungan yang longgar dan berkarat	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	1) Pengencangan kembali 2) Penggantian elemen-elemen kecil/ barang habis	1) Pengcatan 2) Persiapan permukaan untuk pekerjaan pengecatan	Pengukuran tambahan	Penggantian elemen penyambung	Modifikasi sistem sambungan	1) Penyokongan/ penunjang 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara

D. Bahan Kayu

Uraian dan penerapan Pemeriksaan khusus untuk kerusakan bahan kayu dijelaskan pada **Tabel 20**, **Tabel 21**, dan **Gambar 16**.

Pemeriksaan khusus tersebut diperlukan ketika akan dilakukan penan-
 ggaran bahan kayu yang dijelaskan pada **Tabel 22** terutama untuk elemen
 dan struktur yang berada dalam kondisi rusak berat.

Tabel 20 Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Bahan Kayu

Kode	Uraian Kerusakan Bahan	NDT 1	NDT 2	NDT 3	NDT 4	NDT 5	NDT 6
BAHAN KAYU							
401	Cacat pada kayu akibat lapuk, serangan serangga, pecah/ belahnya kayu, melengkung, serat yang miring, dan mata kayu	Hammer Sounding	Drilling	Screw Withdrawal Testing	Stress Wave Timing	Moisture Content Measurement	Ground Penetrating Radar (GPR)
402	Komponen yang rusak atau hilang (termasuk retak dan delaminasi)	Probing	Resistance Microdrilling	Pengiden- tifika- sian Karakteris- tik Struktur	Penyeli- dikan Geoteknik	Pemeriksaan Bawah Air	
403	Penyusutan	Moisture Content Measure- ment					
405	Sambungan yang longgar	Kekencan- gan Baut/ Kunci Torsi Momen	Pengiden- tifika- sian Karakteristik Struktur				

Tabel 21 Pengujian Kerusakan Bahan Kayu

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
1	Hammer Sounding	- Palu (pick hammer, berfungsi untuk membunyikan dan menyidik/ memeriksa bagian kayu) - Alat pengukur suara, seperti mikrofon atau pengukur tingkat suara	White, R. H., and R. J. Ross, eds. 2014. Wood and Timber Condition Assessment Manual. 2nd ed. General Technical Report No. FPL-GTR-234. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.	- Memukul/menggetuk permukaan kayu dengan palu/pick hammer dan mendengarkan suara yang dihasilkan. - Prinsip fisik di balik bunyi palu adalah bahwa ketika bagian kayu yang utuh digetarkan, frekuensi getarannya terkait dengan ketebalan dan kecepatan suara pada bagian tersebut. Perbedaan dalam pola suara yang disebabkan oleh frekuensi getaran pada member yang utuh dan yang cacat memungkinkan inspektur untuk mengidentifikasi daerah yang cacat. - Metode pengeboran melibatkan pemilihan area umum untuk pengeboran. - Melakukan pengeboran pada elemen kayu yang sudah ditandai. - Menggunakan hand crank drill, inspektur dapat merasakan resistensi terhadap pengeboran yang sebanding dengan kepadatan kayu. - Memantau serutan kayu untuk mengetahui potensi pembusukan dan mencatat area pengeboran lebih mudah dilakukan. - Ciri-ciri pertumbuhan kayu tidak boleh ditafsirkan sebagai area yang rusak. - Mengaplikasikan copper naphthalene ke area yang membusuk untuk memperlambat laju pembusukan, dan lubang bor harus diisi dengan pasak kayu yang direndam dalam bahan pengawet. Mata bor juga harus dibersihkan untuk menghindari perpindahan mikroorganisme.	- Pemeriksaan yang cepat dan mudah untuk mendeteksi adanya kerusakan interior pada elemen jembatan kayu. - Hammer sounding bukan merupakan metode yang pasti dan tidak selalu akurat mendeteksi adanya kerusakan. - Metode ini harus digunakan bersama dengan metode inspeksi lainnya untuk memberikan penilaian yang komprehensif terhadap kondisi jembatan. - Berfungsi memberikan informasi tentang pembusukan internal, lubang, dan ketebalan cangkang sisa pada elemen kayu dengan merandai area kayu yang lebih mudah dibor. - Pengeboran tidak memberikan informasi kuantitatif tentang sifat fisik dan mekanis dari komponen kayu. - Setelah pengeboran, ketebalan cangkang dapat dipekirakan dengan menggunakan kawat bengkok atau alat pengukur ketebalan yang dimasukkan ke dalam lubang yang dibor.
2	Drilling/ Pengeboran	- Bor (hand crank drill) - Mata bor diameter 3/8 inci hingga 3/4 inci - Peralatan keselamatan (seperti sarung tangan, pelindung mata, pelindung pendengaran) - Kawat bengkok atau alat pengukur ketebalan	White, R. H., and R. J. Ross, eds. 2014. Wood and Timber Condition Assessment Manual. 2nd ed. General Technical Report No. FPL-GTR-234. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.	- Menggunakan hand crank drill, inspektur dapat merasakan resistensi terhadap pengeboran yang sebanding dengan kepadatan kayu. - Memantau serutan kayu untuk mengetahui potensi pembusukan dan mencatat area pengeboran lebih mudah dilakukan. - Ciri-ciri pertumbuhan kayu tidak boleh ditafsirkan sebagai area yang rusak. - Mengaplikasikan copper naphthalene ke area yang membusuk untuk memperlambat laju pembusukan, dan lubang bor harus diisi dengan pasak kayu yang direndam dalam bahan pengawet. Mata bor juga harus dibersihkan untuk menghindari perpindahan mikroorganisme.	- Berfungsi memberikan informasi tentang ketebalan cangkang sisa pada elemen kayu dengan merandai area kayu yang lebih mudah dibor. - Pengeboran tidak memberikan informasi kuantitatif tentang sifat fisik dan mekanis dari komponen kayu. - Setelah pengeboran, ketebalan cangkang dapat dipekirakan dengan menggunakan kawat bengkok atau alat pengukur ketebalan yang dimasukkan ke dalam lubang yang dibor.
3	Screw Withdrawal Testing	Peralatan screw withdrawal resistance unit	White, R. H., and R. J. Ross, eds. 2014. Wood and Timber Condition Assessment Manual. 2nd ed. General Technical Report No. FPL-GTR-234. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.	- Sekrup dipasang tegak lurus ke permukaan kayu, dan mencatat gaya yang digunakan untuk menarik sekrup. - Resistensi penarikan terkait dengan kerapatan, modulus elastisitas, modulus pecah, dan modulus geser. - Hasil pengujian dapat membantu mengevaluasi kondisi struktur kayu seperti jembatan.	- Fungsi dari pengujian penarikan sekrup adalah untuk memberikan informasi tentang sifat fisik dan mekanik kayu dengan mengukur beban maksimum yang diperlukan untuk menarik sekrup. - Informasi ini dapat membantu dalam evaluasi kondisi struktur kayu seperti jembatan.

Tabel 21 (lanjutan)

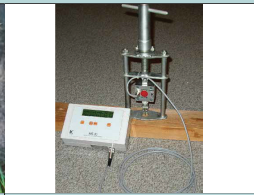
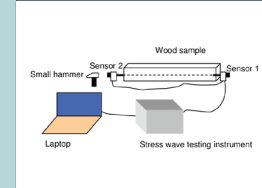
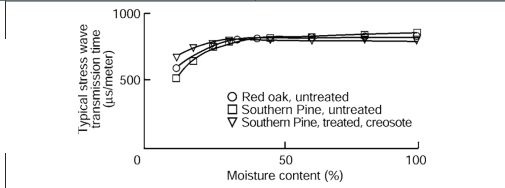
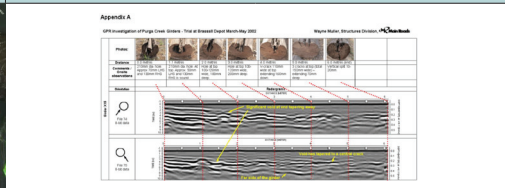
No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
4	Stress Wave Timing	- Pengukur Waktu Gelombang Tegangan Metriguard Model 239A dan Pengukur James "V". - Pengukur Waktu Gelombang Tegangan Metriguard Model 239A menggunakan gelombang tegangan mekanis dan akselerometer untuk mendeteksi waktu perambatan antara akselerometer dalam mikrodetik. - Pengukur James "V" menggunakan generator pulsa ultrasonik dan transduser untuk memberikan gelombang stres ke dalam komponen dan mendeteksi waktu perambatan.	- Stress wave - White, R. H., and R. J. Ross, eds. 2014. Wood and Timber Condition Assessment Manual. 2nd ed. General Technical Report No. FPL-GTR-234. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.	- Menempatkan akselerometer atau transduser pada komponen kayu pada dua titik di sepanjang jalur perambatan untuk menggunakan waktu gelombang tegangan. - Pengukur waktu dimulai saat bagian depan gelombang tiba di akselerometer pertama dan berhenti saat bagian depan gelombang tiba di akselerometer kedua. - Waktu perambatan antara kedua akselerometer kemudian ditampilkan dalam mikrodetik.	- Fungsi dari pengukuran waktu gelombang tegangan adalah untuk memberikan metode yang akurat dan dapat diandalkan untuk mendeteksi adanya cacat dan pembusukan pada struktur kayu. Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi area pembusukan internal dan untuk menilai kondisi keseluruhan anggota kayu. - Teknik ini sangat berguna untuk menilai kayu gergajian atau kayu gulam dengan ketebalan lebih besar atau sama dengan 3,5 inci, di mana teknik <i>hammer sounding</i> tidak efektif.
5	Ground Penetrating Radar (GPR)	- GPR antenna (untuk memancarkan gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi ke dalam struktur) - GPR receiver (untuk menangkap sinyal yang dipantulkan) - Komputer (untuk mengolah data dan menghasilkan gambar fitur bawah permukaan/ <i>Subsurface features</i>)	GPR	- GPR umum digunakan untuk pemeriksaan komponen kayu, dan yang biasa digunakan adalah GPR dengan frekuensi tinggi (1,5 – 2,5 GHz). Namun penggunaan GPR dengan frekuensi rendah (900 MHz hingga 1 GHz) juga dapat digunakan untuk aplikasi tertentu/khusus. - Menempatkan pelat logam di sisi terjaluh elemen/ komponen kayu jika kedua sisi dapat diakses untuk memperkirakan kedalaman penetrasi GPR. - Jarak pelat logam yang diketahui dari antenna juga dapat membantu memperkirakan kedalaman fitur lain (misalnya rongga) dalam gambar GPR.	- Pengolahan data GPR mencakup pasca pemrosesan untuk menilai kecepatan gelombang elektromagnetik (EM) pada elemen/ komponen kayu yang dapat mengestimasi kedalaman fitur/ciri seperti rongga, baut, dan sebagainya. - Keluaran GPR (mentah/ <i>raw data</i>) adalah sinyal riwayat waktu, dan tidak memberikan informasi tentang kedalaman penetrasi.

Tabel 21 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
6	Probing/ Penusukan	- Penusuk (<i>awl</i>) - Pisau saku (<i>pocket knife</i>) - Palu (<i>pick hammer</i>) <i>Feeler gauges</i>	White, R. H., and R. J. Ross, eds. 2014. Wood and Timber Condition Assessment Manual. 2nd ed. General Technical Report No. FPL-GTR-234. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.	- Mengangkat sepotong kecil kayu dengan penusuk atau pisau saku, kayu yang rusak akan patah. Tiba-tiba, sementara kayu yang sehat akan pecah. - Menyidik/memeriksa dengan peralatan berbilang datar seperti <i>feeler gauges</i> dengan skala sentimeter dan/atau inch, yang dapat digunakan untuk memperkirakan kedalaman retakan atau cekungan pada kayu.	- Memberikan informasi tentang pembusukan kayu dan kedalaman retakan dan cekungan <i>Probing</i> terutama sensitif terhadap pembusukan di dekat permukaan dan bukan teknik yang efektif pada jenis kayu dengan kekerasan rendah. <i>Probing</i> dengan ketukan tidak memberikan informasi kuantitatif tentang sifat fisik dan melenis komponen/ elemen kayu.
7	Resistance Microdrilling	- Bor resistansi (<i>resistance drill</i>) - Mata bor memiliki diameter 0.06 inch (1.5 mm) pada poros dan 0.12 inch (3.0 mm) pada ujungnya. - Sistem akusisi data	White, R. H., and R. J. Ross, eds. 2014. Wood and Timber Condition Assessment Manual. 2nd ed. General Technical Report No. FPL-GTR-234. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.	- Melakukan pengeboran pada komponen kayu. - Mata bor ujung datar bergerak melalui komponen kayu pada kecepatan yang diketahui dan menghasilkan informasi resistansi/tahanan untuk menentukan kedalaman dan luas area resistansi/ tahanan rendah dengan presisi tinggi. - Pengeboran biasanya dilakukan tegak lurus terhadap komponen kayu, tetapi dapat juga dilakukan pada sudut tertentu untuk menilai kondisi kayu yang tertanam tanah. - Data yang dikumpulkan selama pengeboran dapat dianalisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi dan mengukur tingkat pembusukan seperti rendah, sedang, atau parah pada komponen kayu. - Setelah pengeboran, lubang pengeboran pada komponen kayu diisi dengan <i>sedant</i> silikon atau perekat.	Menyediakan data kuantitatif tentang kondisi komponen kayu, termasuk kepadatan dan pembusukannya

Tabel 21 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
8	Pengukuran kadar air (Moisture Content Measurement)	Ada beberapa metode: - Alat ukur kadar air tipe resistansi (resistance-type moisture meters) - Alat ukur kadar air elektrik (conductance type and dielectric-type moisture meters) - Pengeboran dan pengambilan sampel inti (drilling and coring)	- SNI 6850:2021 (Metode uji untuk pengukuran kadar air langsung dari kayu dan bahan berbasis kayu (ASTM D4442 - 20, IDT)) - ASTM D4442-20 Standar Test Method for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-based Materials	- Alat ukur kadar air tipe resistansi bekerja dengan mengukur resistansi listrik suatu material. Ketika kadar air hadir dalam material, ia mengubah sifat listriknya, yang dapat dideteksi oleh alat ukur kadar air. Alat ukur ini paling akurat pada kadar air antara 12% dan 22%. Pin tersedia dalam berbagai panjang untuk menentukan kadar air pada kedalaman hingga 7,6 cm (3 in.). - Pengeboran dan pengambilan sampel inti adalah metode yang paling umum digunakan untuk mendeteksi kerusakan internal pada anggota kayu. Kedua teknik tersebut digunakan untuk mendeteksi keberadaan rongga dan menentukan ketebalan cangkang sisa ketika ada rongga. Pengeboran biasanya dilakukan dengan bor listrik atau bor tangan yang dilindungi dengan mata bor berdiameter 9,5 hingga 19 mm (3/8 hingga 3/4 in.). Dalam kasus ini untuk menentukan kadar air pada sampel ini dapat menggunakan metode kering oven (ASTM D4442-20 atau SNI 6850:2021) - Alat ukur kadar air berbasis dielektrik bekerja dengan mengukur konstanta dielektrik suatu material. Konstanta dielektrik adalah ukuran seberapa besar material menahan aliran arus listrik. Ketika kadar air hadir dalam material, hal itu mengubah konstanta dielektrik, yang dapat dideteksi oleh alat ukur kadar air. Faktor daya adalah parameter lain yang digunakan dalam alat ukur kadar air dielektrik untuk memperkirakan kadar air kayu.	- Pengukuran kadar air adalah pemeriksaan awal untuk area yang diduga berpotensi mengalami pembusukan. - Kadar air yang lebih besar dari 30% menunjukkan kondisi yang sesuai untuk perkembangan pembusukan. - Kecuali jika kayu di area tersebut diberi perlakuan pengawetan dan tidak ada kerusakan yang terjadi pada selubung perawakan (treatment envelope) - Jika pemeriksaan dilakukan setelah periode cuaca kering yang lama, kadar air dalam kisaran 20% hingga 25% harus digunakan sebagai indikasi kondisi yang berpotensi mengalami pembusukan

		
Palu pemukul digunakan untuk membunyikan dan memeriksa bagian kayu	Drilling/ Pengeboran	Unit resistensi penarikan sekrup untuk Screw Withdrawal Testing
		
Prinsip Pengujian Cacat Kayu dengan menggunakan Gelombang Tegangan Teknolog/ Stress Wave Timing (Lin, Wu, 2013)	Grafik. Waktu transmisi untuk stress wave melintang pada red oak dan southern pine (Ross, R. J., et. al., 1999)	
		
Penggunaan Ground Penetrating Radar (GPR) pada gelagar kayu (Muller, 2003)	Identifikasi ruang kosong di dalam batang kayu dengan menggunakan Ground Penetrating Radar (Muller, 2003)	
		
Pemeriksaan samping pada bagian substruktur vertikal (tiang pancang dan kolom kayu) dengan melakukan probing/ penusukan (White, Ross, 2014)	Resistensi pengeboran mikro/ Resistance Microdrilling yang dilakukan tegak lurus terhadap permukaan elemen (White, Ross, 2014)	Pengukuran kadar air dengan tipe konduktansi/ tipe pin (White, Ross, 2014)

Gambar 16 Penjelasan Gambar Pengujian Kerusakan Bahan Kayu

Tabel 22 Penanganan Kerusakan Bahan Kayu

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1 Pembersihan (<i>clean/clear</i>)	1-2 Setting ulang (<i>reset</i>)	2-3 Pelapisan (<i>coat</i>)	2-3 Perbaikan (<i>repair</i>)	3-4 Penggantian (<i>replace</i>)	3-4 Modifikasi (<i>modify</i>)	4 Darurat (<i>emergency</i>)
BAHAN KAYU								
401	Cacat pada kayu akibat lapuk, serangan serangga, sobek, kerusakan mata kayu, pecah, melengkung	Pembersihan bahan-bahan yang lepas	1) Reposisi 2) Penyambungan ulang		1) Perbaikan dimensi 2) Pendongkrakan dan perbaikan elevasi	Penggantian komponen	1) Modifikasi sistem pelapisan 2) Modifikasi sistem struktur	1) Penyokongan/ penunjang 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara
402	Komponen yang rusak atau hilang (termasuk retak, delaminasi)	Pembersihan bahan-bahan yang lepas	1) Reposisi 2) Penyambungan ulang		1) Perbaikan dimensi 2) Pendongkrakan dan perbaikan elevasi	Penggantian komponen	Modifikasi sistem struktur	1) Penyokongan/ penunjang 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara
403	Penyusutan	Pembersihan bahan-bahan yang lepas	1) Reposisi 2) Penyambungan ulang		1) Perbaikan dimensi 2) Pendongkrakan dan perbaikan elevasi	Penggantian komponen	Modifikasi sistem struktur	1) Penyokongan/ penunjang 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara
404	Penurunan mutu pelindung permukaan	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	1) Pengecatan 2) Persiapan permukaan untuk pekerjaan pengecatan	1) Pengecatan 2) Persiapan permukaan untuk pekerjaan pengecatan	Perbaikan dimensi	Penggantian elemen-elemen	Modifikasi sistem pelapisan	
405	Sambungan yang longgar	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	1) Pengencangan kembali 2) Penggantian elemen-elemen kecil/ barang habis	1) Pengecatan 2) Persiapan permukaan untuk pekerjaan pengecatan	Pengangkuran tambahan	Penggantian elemen penyambung	Modifikasi sistem sambungan	1) Penyokongan/ penunjang 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara

III. Substansi Kerusakan Elemen



III. Substansi Kerusakan Elemen

A. Elemen-Elemen Jalan Pendekat

Uraian dan penerapan pemeriksaan khusus untuk kerusakan elemen-elemen jalan pendekat secara khusus dijelaskan pada **Tabel 23**, **Tabel 24**, **Tabel 26**, **Tabel 27**, **Gambar 17**, **Gambar 18**, dan **Gambar 19**.

Selain itu bila terdapat kerusakan bahan pasangan batu/bata, bahan beton (termasuk baja tulangan), bahan baja, dan bahan kayu dapat merujuk pada **Tabel 11**, **Tabel 12**, **Gambar 13**, **Tabel 14**, **Tabel 15**, **Gambar 14**, **Tabel 17**, **Tabel 18**, **Gambar 15**, **Tabel 20**, **Tabel 21**, dan **Gambar 16**.

Selanjutnya penanganan elemen-elemen jalan pendekat secara khusus dijelaskan pada **Tabel 25** dan bila terdapat penanganan kerusakan bahan pasangan batu/bata, bahan beton (termasuk baja tulangan), bahan baja, dan bahan kayu dapat merujuk pada **Tabel 13**, **Tabel 16**, **Tabel 19**, dan **Tabel 22**.

Tabel 23 Pemeriksaan Khusus untuk Elemen Utama 3.120 Tanah Timbunan, 3.220 Bangunan Pengaman dan 3.310 Fondasi

Kode	Uraian Kerusakan Bahan	NDT 1	NDT 2	NDT 3	NDT 4	NDT 5	NDT 6
ELEMEN UTAMA 3.120 TANAH TIMBUNAN, 3.220 BANGUNAN PENGAMAN DAN 3.310 FONDASI							
511	Bagian yang hilang atau tidak ada	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Penyelidikan Geoteknik				
521	Pengikisan di sekitar kepala jembatan	Penyelidikan Geoteknik	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Pengidentifikasian Karakteristik Sungai			
522	Retak/ penurunan/ pengembangan	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Penyelidikan Geoteknik				
KLASTER ELEMEN 4.132 TANAH BERTULANG							
531	Pengembangan dinding panel	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur					
532	Retak, rontok, atau pecah dari panel tanah bertulang	Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	Alkali Silica Reaction/ ASR	Magnetometer (MM)/Covermeter	Half-Cell Potential (HCP)	Hammer Test	Infrared Thermography (IT)

Tabel 24 Penyelidikan Geoteknik

No.	Jenis Pemeriksaan Geoteknik	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
1	Penyelidikan Geoteknik	- Pengambilan dan Pengujian Sampel Tanah: Lubang bor dibor untuk mengambil sampel tanah dari kedalaman yang berbeda untuk pengujian laboratorium. - Uji Penetrasi Standar (SPT): Menilai kekuatan tanah dengan mengukur resistensi tanah terhadap penetrasi oleh pengambl sampel standar. - Cone Penetration Test (CPT): Sebuah kerucut didorong ke dalam tanah untuk mengukur resistensi, memberikan data tentang stratigrafi dan kekuatan tanah. - Refraksi Seismik: Mengukur kecepatan gelombang seismik di lapisan bawah permukaan, membantu menentukan sifat material dan mendeteksi jalur patahan potensial. - Penilaian Air Tanah: Menentukan tingkat air tanah yang sangat penting untuk desain pondasi dan perencanaan drainase.	- SNI 84602017 Standar Nasional Indonesia (SNI) Persyaratan perancangan geoteknik - ISO 18674-1:2015: Standar ini memberikan aturan umum untuk penyelidikan dan pengujian geoteknik, termasuk pemantauan geoteknik dengan instrumentasi lapangan. - BS 5930:2015: Kode Praktik Standar Inggris untuk Penyelidikan Tanah, yang memberikan panduan komprehensif untuk melakukan penyelidikan tanah. - Pedoman untuk Investigasi Geoteknik Struktur Jembatan: Pedoman khusus yang disiapkan oleh organisasi seperti Main Roads Western Australia (MRWA) untuk membantu perencanaan, estimasi biaya, pelaksanaan, dan pelaporan penyelidikan geoteknik di lokasi jembatan.	Studi Desk: Mengumpulkan informasi yang ada tentang lokasi jembatan, termasuk peta geologi, laporan geoteknik sebelumnya, foto udara, dan catatan sejarah. Pengintalan Lokasi: Melakukan inspeksi visual pada lokasi jembatan untuk mengkonfirmasi informasi yang dikumpulkan selama studi literatur dan mengidentifikasi fitur-fitur tambahan yang menarik. Survei Geofisika: Menggunakan teknik non-invasif untuk memetakan bawah permukaan tanpa pengeboran atau penggalian. Lubang Bor dan Lubang Percobaan: Mengebor lubang bor dan menggali lubang uji coba untuk mengumpulkan sampel tanah dan batuan untuk dianalisis. Pengujian In Situ: Melakukan pengujian di lokasi untuk menentukan sifat-sifat tanah, seperti kekuatan dan kompresibilitas. Pengujian Laboratorium: Menganalisis sampel yang dikumpulkan di laboratorium untuk mendapatkan informasi rinci tentang sifat-sifatnya. Analisis dan Interpretasi Data: Menginterpretasikan data yang dikumpulkan dari pengujian lapangan dan laboratorium untuk menilai kondisi bawah permukaan. Laporan Geoteknik: Menyusun laporan komprehensif yang mencakup temuan, analisis, dan rekomendasi untuk desain dan konstruksi pondasi jembatan.	- Kesesuaian Pondasi: Tentukan apakah tanah dan batuan di bawah lokasi dapat mendukung beban jembatan. - Identifikasi Potensi Bahaya: Menilai risiko seperti likuifaksi, tanah longsor, atau penurunan tanah yang dapat mempengaruhi stabilitas jembatan. - Mengoptimalkan Desain: Menyediakan data untuk mendesain pondasi yang meminimalkan penurunan dan meningkatkan stabilitas

Tabel 25 Penanganan Kerusakan Elemen Utama 3.120 Tanah Timbunan, 3.220 Bangunan Pengaman dan 3.310 Fondasi

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	4
	Jenis penanganan	Pembersihan (<i>clean/clear</i>)	Setting ulang (<i>reset</i>)	Pelapisan (<i>coat</i>)	Perbaikan (<i>repair</i>)	Penggantian (<i>replace</i>)	Modifikasi (<i>modify</i>)	Darurat (<i>emergency</i>)	
ELEMEN UTAMA 3.120 TANAH TIMBUNAN, 3.220 BANGUNAN PENGAMAN, DAN 3.310 FONDASI									
511	Bagian yang hilang atau tidak ada	1) Pembersihan debris 2) Pemanglisan vegetasi 3) Pembukaan sumbatan		1) Pelapisan kecap air 2) Pengisian celah-celah tanah yang hilang 3) Perbaikan retak	1) Perbaikan drainase 2) Perbaikan dimensi/ <i>patching</i> 3) Perkuatan fondasi	1) Penggalian dan penim- bunan 2) Penggantian struktur	1) Perkuatan tanah 2) Pemasangan dinding pengaman 3) Penambahan elemen/komponen	1) Penyokongan/ penunjangan 2) Perkuatan tanah dan fondasi	
521	Pengikisan di sekitar kepala jembatan	1) Pembersihan debris 2) Pemanglisan vegetasi		1) Pelapisan kecap air 2) Pengisian celah-celah tanah yang hilang 3) Perbaikan retak	1) Perbaikan dimensi/ <i>patching</i> 2) Perkuatan fondasi	1) Penggalian dan penim- bunan 2) Penggantian elemen	1) Penambahan bangunan pengaman 2) Bendungan di sisi hilir jembatan	1) Penggalian dan penimbunan 2) Pembatasan beban 3) Penambahan bangunan pengaman 4) Perkuatan fondasi 5) Jembatan sementara	

Tabel 25 (lanjutan)

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	4
	Jenis penanganan	Pembersihan (<i>clean/clear</i>)	Setting ulang (<i>reset</i>)	Pelapisan (<i>coat</i>)	Perbaikan (<i>repair</i>)	Penggantian (<i>replace</i>)	Modifikasi (<i>modify</i>)	Darurat (<i>emergency</i>)	
522	Retak/penurunan/ pengembungan	1) Pembersihan debris 2) Pemangklasan vegetasi		1) Pelapisan kecap air 2) Pengisian celah-celah tanah yang hilang 3) Perbaikan retak	1) Perbaikan dimensi/ <i>patching</i> 2) Perkuatan fondasi 3) Pendongkrakan	1) Penggantian tanah 2) Penggantian dan penambahan elemen	1) Perkuatan tanah dan pengangkuran 2) Pemasangan dinding penahan 3) Penambahan fondasi	1) Penyokongan/ penunjangan 2) Perkuatan tanah dan fondasi 3) Pembatasan beban 4) Jembatan sementara	
KLASTER ELEMEN 4.132 TANAH BERTULANG									
531	Pengembangan dinding panel	Pembersihan bahan-bahan yang lepas		1) Pelapisan kecap air 2) Pengisian celah-celah tanah yang hilang 3) Perbaikan retak	1) Perbaikan dimensi/ <i>patching</i> 2) Pengisian celah-celah tanah yang hilang	1) Penggantian tanah 2) Penggantian dan penambahan elemen	1) Perkuatan tanah dan pengangkuran 2) Penambahan dinding penahan	1) Penyokongan/ penunjangan 2) Penambahan fondasi 3) Pembatasan beban 4) Jembatan sementara	
532	Retak, rontok, atau pecah dari panel tanah bertulang	Pembersihan bahan-bahan yang lepas		1) Pelapisan kecap air 2) Pengisian celah-celah tanah yang hilang 3) Perbaikan retak	1) Perbaikan dimensi/ <i>patching</i> 2) Pengisian celah-celah tanah yang hilang	1) Penggantian tanah 2) Penggantian dan penambahan elemen	1) Perkuatan tanah dan pengangkuran 2) Penambahan dinding penahan	1) Penyokongan/ penunjangan 2) Penambahan fondasi 3) Pembatasan beban 4) Jembatan sementara	

B. Elemen-Elemen Aliran Sungai

Uraian dan penerapan pemeriksaan khusus untuk kerusakan elemen-elemen aliran sungai secara khusus dijelaskan pada **Tabel 23**, **Tabel 24**, **Tabel 26**, **Tabel 27**, **Gambar 17**, **Gambar 18**, **Gambar 19**, dan **Gambar 20**.

Selain itu bila terdapat kerusakan bahan pasangan batu/bata, bahan beton (termasuk baja tulangan), bahan baja, dan bahan kayu dapat merujuk pada **Tabel 11**, **Tabel 12**, **Gambar 13**, **Tabel 14**, **Tabel 15**, **Gambar 14**, **Tabel 17**, **Tabel 18**, **Gambar 15**, **Tabel 20**, **Tabel 21**, dan **Gambar 16**.

Selanjutnya penanganan elemen-elemen aliran sungai secara khusus dijelaskan pada **Tabel 28** dan bila terdapat penanganan kerusakan bahan pasangan batu/bata, bahan beton (termasuk baja tulangan), bahan baja, dan bahan kayu dapat merujuk pada **Tabel 13**, **Tabel 16**, **Tabel 19**, dan **Tabel 22**.

Tabel 26 Pemeriksaan Khusus untuk
Kerusakan Elemen Utama 3.210 Aliran Sungai

Kode	Uraian Kerusakan Bahan	NDT 1	NDT 2	NDT 3	NDT 4
ELEMEN UTAMA 3.210 ALIRAN SUNGAI					
501	Pendangkalan sungai akibat endapan (agradasi)	Pengidentifikasian Karakteristik Sungai	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Penyelidikan Geoteknik	
502	Penumpukan debris dan hambatan aliran sungai	Pengidentifikasian Karakteristik Sungai			
503	Pengikisan di sepanjang aliran sungai	Pengidentifikasian Karakteristik Sungai	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Pemeriksaan Bawah Air	Penyelidikan Geoteknik
504	Air sungai macet yang mengakibatkan terjadinya banjir (excess afflux)	Pengidentifikasian Karakteristik Sungai	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur		

Tabel 27 Pengidentifikasian Karakteristik Sungai,
Pengidentifikasian Karakteristik Struktur (Pengukuran Geometri Jembatan), Pengidentifikasian Karakteristik Struktur (Pelaksanaan Pengujian Pembebanan Jembatan), dan Pemeriksaan Bawah Air

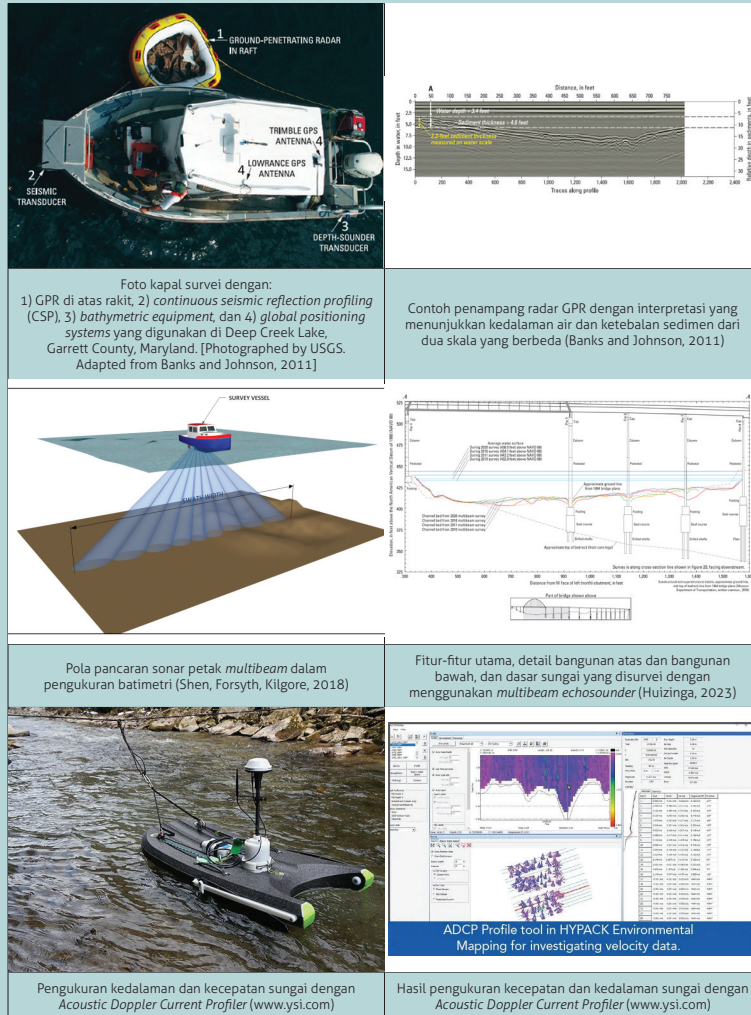
No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
1	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur Sungai	• Water-Penetrating Radar (WPR): Peralatan ini digunakan untuk memeriksa struktur bawah air dan mendeteksi erosi di sekitar pengisian yang dapat terkikis di sekitar fondasi jembatan. • Sonar: Digunakan untuk pencitraan antarmuka sedimen air dan struktur bawah air. Ini membantu dalam memetakan dasar sungai dan mengidentifikasi area potensial erosi. • Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP): Mengukur kecepatan dan arah aliran air, yang penting untuk memahami dinamika sungai dan potensi efek erosi. • Pengambilan Sampel Sedimen: Mengumpulkan sampel sedimen untuk menganalisis ukuran butir, komposisi, dan properti lainnya. • Peralatan Survei Batimetri: Digunakan untuk membuat peta detail topografi dasar sungai, termasuk pengukuran kedalaman. • Flow Meter: Mengukur volume air yang mengalir melalui bagian tertentu dari sungai, membantu menilai kondisi hidrolik.	• Survei Batimetri: Menggunakan sonar atau peralatan lain untuk memetakan dasar sungai, membantu mengidentifikasi zona erosi dan potensial atau area sedimen yang tidak stabil. • Pengukuran Aliran: Instrumen seperti pengukur arus atau ADCP (Acoustic Doppler Current Profilers) mengukur kecepatan aliran di berbagai titik di sungai, yang sangat penting untuk memahami gaya hidrodinamika. • Pengambilan Sampel dan Analisis Sedimen: Mengumpulkan sampel sedimen untuk menganalisis distribusi ukuran butir dan stabilitas, membantu dalam memprediksi pola erosi dan pengendapan. • Pencitraan Udara dan Satelit: Digunakan untuk mengamati perubahan sungai dari waktu ke waktu, menilai pola transportasi sedimen, dan memantau pergeseran tepi sungai. • Pemodelan Banjir: Mensimulasikan kejadian aliran ekstrem untuk menilai dampak potensial pada jembatan, termasuk kecepatan aliran tinggi, dampak puing-puing, dan interaksi dataran banjir.	• Analisis Hidrologi: Mempelajari karakteristik aliran sungai, seperti debit rata-rata, debit puncak, frekuensi banjir, dan variasi musiman. • Survei Geomorfologi: Memetakan dan mengklasifikasi dasar sungai dan tepinya, termasuk profil penampang melintang dan komposisi sedimen, untuk memahami bagaimana sungai dapat bergeser dari waktu ke waktu. • Analisis Angkutan Sedimen: Menentukan jenis dan jumlah sedimen yangangkut, yang dapat mempengaruhi stabilitas tanggul jembatan dan abutmen. • Analisis Kerusakan: Menilai potensi kerusakan di sekitar fondasi jembatan, terutama selama aliran tinggi, karena hal ini dapat merusak stabilitas struktural. • Studi Erosi Tepi Sungai: Menyelidiki potensi erosi pada tepi sungai dan bagaimana jembatan dapat mempengaruhi atau dipengaruhi oleh proses erosi.	• Pemodelan Perilaku Sungai: Model memprediksi bagaimana sungai dapat berubah dari waktu ke waktu, bagaimana sungai dapat merespons konstruksi jembatan, dan risiko pergeseran alinyemen sungai. • Gaya Hidrolik dan Analisis Beban: Data kecepatan aliran dan kedalaman menginformasikan perhitungan gaya hidrolik yang bekerja pada komponen jembatan. • Prediksi Kedalaman Kerusakan: Membantu insinyur mendesain fondasi untuk menghindari zona erosi potensial, memastikan keamanan jembatan. • Penilaian Risiko Erosi: Menganalisis potensi erosi dan menyarankan tindakan pengendalian seperti stabilisasi tepian untuk melindungi jembatan dan menjaga kesehatan sungai.
2	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur (Pengukuran Geometri Jembatan)	• Alat ukur sipat datar • Alat ukur teodolit • Alat ukur EDM (Electronic distance measure) • Alat ukur ETS (Electronic Total Station) • GPS (Global Positioning System) berbasis satelit • Laser Scanning	• Pedoman Pengukuran Topografi untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan, Buku 3 Pelaksanaan Pengukuran Topografi (No. 1010-C/PW/2004) • EM 1110-2-1009 Structural Deformation Surveying, US Army Corps of Engineers, 2018.	• Pengukuran perpindahan titik di antara dua titik BM (Benchmark) yang berurutan • Pengukuran stake-out titik garis lurus, lengkungan horizontal, dengan rintangan, lengkungan vertikal.	• Bentuk geometrik dan posisi titik tertentu dalam struktur yang dipetakan

Tabel 27 (lanjutan)

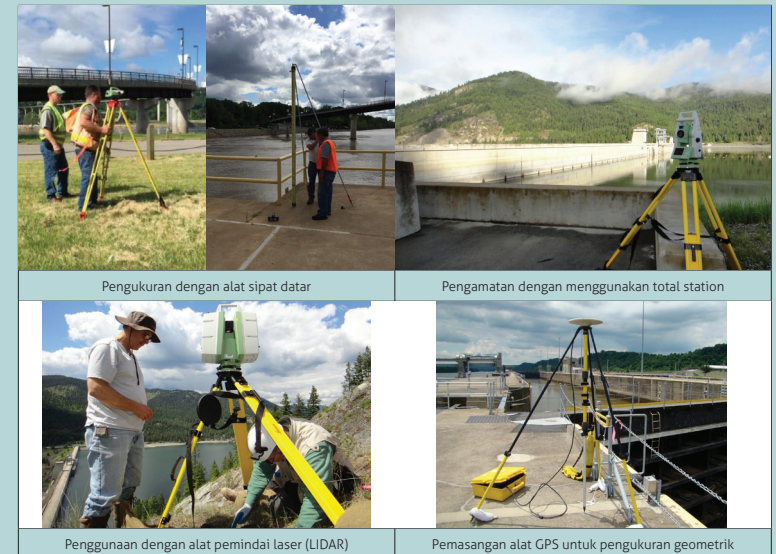
No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
3	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur (Pelaksanaan Pengujian Pembebanan Jembatan)	Peralatan utama yang diperlukan saat pelaksanaan uji beban statis di antaranya: • <i>Strain gauge</i> • <i>Displacement Sensors</i> • <i>Data Logger Static</i> • <i>Switch Box</i> (jika dibutuhkan) • Peralatan pengukuran geometri jembatan • Truk Uji Peralatan utama yang diperlukan saat pelaksanaan uji beban dinamik di antaranya: • <i>Accelerometer</i> • <i>Data Logger Dynamic</i> • <i>Switch Box</i> (jika dibutuhkan) • Balok Uji • Truk Uji	• Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2) Seksi 7.17 Pengujian Pembebanan Jembatan • Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 03/SE/PM/2016 tentang Pedoman Penentuan <i>Bridge Load Rating</i> untuk Jembatan Eksisting • AASHTO The Manual for Bridge Evaluation, 2018 • Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pt T-05-2002-B Penilaian Kondisi Jembatan Untuk Bangunan Atas Dengan Cara Uji Getar • Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pt T-06-2002-B Penilaian Kondisi Jembatan Untuk Bangunan Bawah Dengan Cara Uji Getar • BS ISO 14963:2003 • Mechanical vibration and shock — Guidelines for dynamic tests and investigations on bridges and viaducts	• <i>Strain gauge</i> memiliki kekhususan tersendiri untuk struktur baja dan beton, sehingga dalam penggunaannya untuk pengujian statik di jembatan baja digunakan <i>strain gauge</i> baja, dan untuk di struktur beton digunakan <i>strain gauge</i> beton. • Setelah mengumpulkan data, para insinyur menganalisisnya untuk mengidentifikasi area mana pun di mana jembatan mungkin mengalami tekanan berlebihan, mengalami defleksi yang getaran yang tidak diinginkan. • Hasilnya dibandingkan dengan model jembatan berada dalam tingkat yang dapat diterima, maka jembatan tersebut lolos uji; jika tidak, perbaikan atau perbaikan dapat direkomendasikan.	Pengujian pembebanan jembatan dilaksanakan dengan tujuan untuk • Mengetahui tingkat keselamatan dan kenyamanan jembatan. • Menentukan tingkat keamanan konstruksi struktur terhadap beban ijin. • Menentukan kondisi awal operasi penggunaan jembatan yang didasarkan dari kekuatan jembatan yang didapatkan dari nilai frekuensi dasar jembatan.

Tabel 27 (lanjutan)

No.	Jenis Pemeriksaan	Kelengkapan Peralatan	Metode/ Referensi	Tahapan Penting	Output/ Fungsi
4	Pemeriksaan Bawah Air	• Kendaraan yang Dioperasikan dari Jarak Jauh (ROV): Robot bawah air ini dilengkapi dengan kamera, sonar, dan sensor lainnya untuk memeriksa area yang sulit atau berbahaya bagi penyelam. • Kendaraan Bawah Air Otonom (AUV): Mirip dengan ROV, AUV dapat beroperasi secara mandiri dan digunakan untuk memetakan dan memeriksa area yang luas. • Sistem Sonar: Sistem sonar 2D dan 3D digunakan untuk membuat gambar detail struktur bawah air, sehingga membantu mengidentifikasi masalah struktural. • Peralatan Pengujian Ultrasonik (UT): Peralatan ini menggunakan gelombang suara frekuensi tinggi untuk mendeteksi cacat internal atau korosi pada material jembatan. • Peralatan Pengujian Partikel Magnetik (MT): Teknik ini melibatkan penggunaan partikel magnetik pada permukaan jembatan untuk mendeteksi discontinuitas permukaan dan dekat permukaan. • Peralatan Selam: Untuk peraliran dangkal, penyelam menggunakan peralatan selam khusus, termasuk kamera dan lampu bawah air, untuk memeriksa komponen jembatan secara visual. • Kamera Bawah Air: Kamera video beresolusi tinggi digunakan untuk mengambil gambar dan video detail dari bagian jembatan yang terendam. • Perangkat Lunak Pengumpulan dan Analisis Data: Perangkat lunak digunakan untuk memproses dan menganalisis data yang dikumpulkan selama inspeksi, memberikan laporan dan wawasan yang komprehensif	• Visual Testing (VT) • Ultrasonic Testing (UT) • Magnetic Particle Testing (MT) • Acoustic (Sonar) Imaging • Remotely Operated Vehicles (ROVs)	• Meninjau Data yang Ada untuk memahami sejarah jembatan dan area masalah potensial. • Mengembangkan Rencana Inspeksi dengan mengalokasikan semua peralatan inspeksi, metode dan peralatan spesifik yang akan digunakan, dan protokol keselamatan yang harus diikuti. • Tindakan Pencegahan Keselamatan termasuk memeriksa semua peralatan selam dan inspeksi, membuat protokol komunikasi yang jelas, dan mempersiapkan diri untuk situasi darurat. • Penilaian Lokasi termasuk kedatangan air, jarak pandang, arus, dan potensi bahaya. Hal ini membantu dalam memilih peralatan dan teknik yang tepat untuk inspeksi. • Pengkoordinasian peran dan tanggung jawab semua anggota tim, termasuk penyelam, operator ROV, dan personel pendukung untuk memastikan proses pemeriksaan yang lancar dan efisien.	• Mendeteksi Kerusakan: Temukan retakan, korosi, atau kerusakan lain yang dapat mengganggu stabilitas jembatan. • Memantau Keausan: Melacak kerusakan alami material akibat faktor lingkungan. • Pencegah Kecelakaan: Deteksi dini terhadap potensi kegagalan dapat mencegah kejadian bencana. • Melindungi Pengguna dengan memastikan keselamatan semua orang yang menggunakan jembatan, termasuk pejalan kaki, kendaraan, dan lalu lintas laut. • Memenuhi standar keselamatan dan pemeliharaan nasional dan internasional. • Mengikuti panduan untuk inspeksi rutin dan perbaikan yang diperlukan. • Mengatasi masalah dengan segera untuk menghindari kerusakan parah dan perbaikan yang mahal. • Mengoptimalkan Sumber Daya: Mengalokasikan dana pemeliharaan secara lebih efektif dengan menargetkan area kritis.



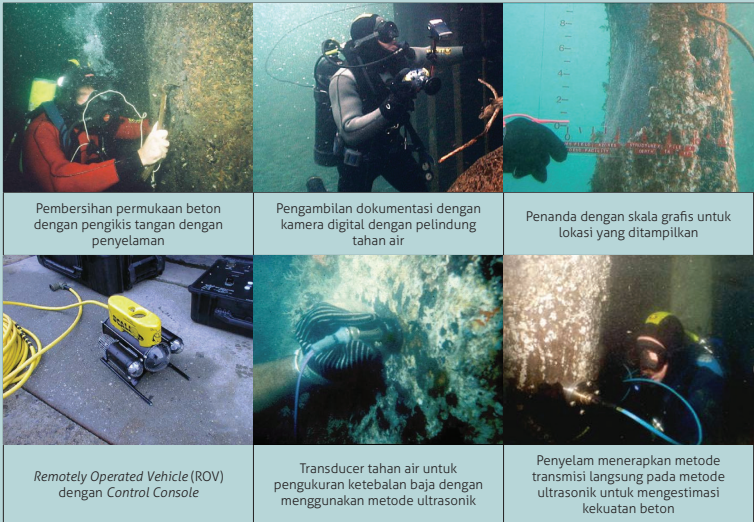
Gambar 17 Penjelasan Gambar Pendentifikasian Karakteristik Sungai



Gambar 18 Penjelasan Gambar Pendentifikasian Karakteristik Struktur (Pengukuran Geometri Jembatan) (U.S. Army Corps of Engineers, 2018)



Gambar 19 Penjelasan Gambar Pengidentifikasi Karakteristik Struktur (Pelaksanaan Pengujian Pembebanan Jembatan)



Gambar 20 Penjelasan Gambar Pemeriksaan Bawah Air (Browne,et. al, 2010)

Tabel 28 Penanganan Kerusakan Elemen Utama 3.210 Aliran Sungai

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	3-4	4
	Jenis penanganan	Pembersihan (clean/clear)	Setting ulang (reset)	Pelapisan (coat)	Perbaikan (repair)	Penggantian (replace)	Modifikasi (modify)	Darurat (emergency)		
ELEMEN UTAMA 3.210 ALIRAN SUNGAI										
501	Pendangkalan sungai akibat endapan (agradasi)	Pembersihan debris			Penggalian dan penimbunan	Penggalian dan penimbunan	Pembuatan bendungan penahan endapan (sabo)	Penggalian dan penimbunan		
502	Penumpukan debris dan hambatan aliran sungai	1) Pembersihan debris 2) Pemangkasan vegetasi			Penggalian struktur					
503	Pengikisan di sepanjang aliran sungai (contraction scour)	1) Pembersihan debris 2) Pemangkasan vegetasi		Pengisian celah-celah tanah yang hilang	Penggalian dan penimbunan	1) Penggalian dan penimbunan 2) Penambahan bangunan pengaman	1) Penambahan bangunan pengaman 2) Bendungan di sisi hilir jembatan	1) Penggalian dan penimbunan 2) Penambahan bangunan pengaman 3) Pembatasan beban 4) Jembatan sementara		
504	Air sungai macet yang mengakibatkan terjadinya banjir (excess afflux)	1) Pembukaan sumbatan 2) Pembersihan debris			Penggalian dan penimbunan	Memperpanjang bentang	Menambahkan struktur gorong-gorong	1) Penggalian dan penimbunan 2) Jembatan sementara		

C. Elemen-Elemen Bangunan Bawah

Uraian dan penerapan pemeriksaan khusus untuk kerusakan elemen-elemen bangunan bawah secara khusus dijelaskan pada **Tabel 23**, **Tabel 24**, **Tabel 26**, **Tabel 27**, **Gambar 17**, **Gambar 18**, **Gambar 19**, **Gambar 20**, dan **Tabel 29**.

Selain itu bila terdapat kerusakan bahan pasangan batu/bata, bahan beton (termasuk baja tulangan), bahan baja, dan bahan kayu dapat merujuk pada **Tabel 11**, **Tabel 12**, **Gambar 13**, **Tabel 14**, **Tabel 15**, **Gambar 14**, **Tabel 17**, **Tabel 18**, **Gambar 15**, **Tabel 20**, **Tabel 21**, dan **Gambar 16**.

Selanjutnya penanganan elemen-elemen bangunan bawah secara khusus dijelaskan pada **Tabel 30** dan bila terdapat penanganan kerusakan bahan pasangan batu/bata, bahan beton (termasuk baja tulangan), bahan baja, dan bahan kayu dapat merujuk pada **Tabel 13**, **Tabel 16**, **Tabel 19**, dan **Tabel 22**.

Tabel 29 Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Elemen Utama 3.320 Kepala Jembatan/Pilar

Kode	Uraian Kerusakan Bahan	NDT 1	NDT 2	NDT 3	NDT 4
ELEMEN UTAMA 3.320 KEPALA JEMBATAN/PILAR					
551	Kepala jembatan atau pilar berdeformasi	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Penyelidikan Geoteknik	Pengidentifikasian Karakteristik Sungai	Pemeriksaan Bawah Air

Tabel 30 Penanganan Kerusakan Elemen Utama 3.320 Kepala Jembatan/Pilar

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	Jenis penanganan	0-1	1-2	Setting ulang (reset)	2-3	Pelapisan (coat)	2-3	Perbaikan (repair)	3-4	Penggantian (replace)	3-4	Modifikasi (modify)	4	Darurat (emergency)
ELEMEN UTAMA 3.320 KEPALA JEMBATAN/PILAR															
551	Kepala jembatan atau pilar Deformasi	Pembersihan bahan-bahan yang lepas				1) Pelapisan kedap air 2) Pengisian celah-celah tanah yang hilang 3) Perbaikan retak		1) Perbaikan dimensi/patching 2) Perkuatan fondasi 3) Pendongkrakan	1) Penggantian tanah 2) Penggantian dan penambahan elemen	1) Perkuatan tanah dan pengungkuran 2) Pemasangan dinding penahan 3) Penambahan fondasi	1) Penyolongan dan perkuatan tanah dan fondasi 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara				

D. Elemen-Elemen Bangunan Atas

Uraian dan penerapan pemeriksaan khusus untuk kerusakan elemen-elemen bangunan bawah secara khusus dijelaskan pada **Tabel 27**, **Gambar 18**, **Gambar 19**, dan **Tabel 31**.

Selain itu bila terdapat kerusakan bahan pasangan batu/bata, bahan beton (termasuk baja tulangan), bahan baja, dan bahan kayu dapat merujuk pada **Tabel 11**, **Tabel 12**, **Gambar 13**, **Tabel 14**, **Tabel 15**, **Gambar 14**, **Tabel 17**, **Tabel 18**, **Gambar 15**, **Tabel 20**, **Tabel 21**, dan **Gambar 16**.

Selanjutnya penanganan elemen-elemen bangunan bawah secara khusus dijelaskan pada **Tabel 32** dan bila terdapat penanganan kerusakan bahan pasangan batu/bata, bahan beton (termasuk baja tulangan), bahan baja, dan bahan kayu dapat merujuk pada **Tabel 13**, **Tabel 16**, **Tabel 19**, dan **Tabel 22**.

Tabel 31 Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Klaster Elemen dan Perlengkapan Jembatan Kabel, Elemen Perkuatan, dan Penahan

Kode	Uraian Kerusakan Bahan	NDT 1	NDT 2
KLASTER ELEMEN 4.462 SISTEM PENAHAN KABEL JEMBATAN-BERUJI-KABEL DAN 4.474 SISTEM PENAHAN KABEL JEMBATAN GANTUNG			
541	Tidak stabil	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Pengujian Tegangan Kabel
KLASTER ELEMEN PERKUATAN DAN 4.614 SISTEM PENDUKUNG LANDASAN, 4.615 PENAHAN PERGERAKAN LANDASAN, ELEMEN 4.324 B BALOK PENAHAN GEMPA / STOPPER LATERAL, DAN ELEMEN UTAMA 3.630 PERLENGKAPAN AERODINAMIK JEMBATAN			
561	Elemen longgar atau hilang atau rusak atau tidak berfungsi	Kekencangan Baut/Kunci Torsi Momen	Pull off test

Tabel 32 Penanganan Kerusakan Klaster Elemen dan Perlengkapan Jembatan Kabel, Elemen Perkuatan, dan Elemen Penahan

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	4
Jenis penanganan	Pembersihan (clean/clear)	Setting ulang (reset)	Pelapisan (coat)	Perbaikan (repair)	Penggantian (replace)	Modifikasi (modify)	Darurat (emergency)		
KLASTER ELEMEN 4.462 SISTEM PENAHAN KABEL JEMBATAN-BERUJ-KABEL DAN 4.474 SISTEM PENAHAN KABEL JEMBATAN GANTUNG, TERMASUK BLOK ANGKUR, PENGANTUNG, PENGAKU, DAN BATANG TEPI									
541	Tidak stabil	Pembersihan bahan-bahan yang lepas	1) Pengencangan 2) Penyambungan ulang 3) Reposisi kabel	1) Pengukuran tambahan 2) Perbaikan elevasi 3) Perkuatan	Penggantian elemen	1) Pemasangan elemen tambahan 2) Modifikasi sistem struktur	1) Penyokongan/ penunjangan 2) Perkuatan tanah dan fondasi 3) Pembatasan beban 4) Jembatan sementara		
KLASTER ELEMEN PERKUATAN DAN 4.614 SISTEM PENDUKUNG LANDASAN, 4.615 PENAHAN PERGERAKAN LANDASAN, ELEMEN 4.324 B BALOK PENAHAN GEMPA / STOPPER LATERAL, DAN ELEMEN UTAMA 3.630 PERLENGKAPAN AERODINAMIK JEMBATAN									
561	Elemen longgar atau hilang atau rusak atau tidak berfungsi	Pembersihan bahan-bahan yang lepas	1) Pengencangan 2) Penyambungan ulang 3) Reposisi	Perbaikan retak	1) Perbaikan retak kembali 2) Pengambungan ulang 3) Penambahan sistem perkuatan	Perubahan sistem pengakuan	Penyokongan/penunjangan		
ELEMEN UTAMA 3.740 PENGAMAN STRUKTUR DAN LINGKUNGAN, 3.750 SMKs (SISTEM MONITORING KESEHATAN JEMBATAN), 3.760 PERLENGKAPAN JEMBATAN GERAK/MOVEABLE BRIDGE, 3.770 FASILITAS PEMERIKSAAN TETAP, DAN ELEMEN-ELEMEN NON STRUKTURAL									
941	Hilang/lepas	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian ele- men-elemen kecil/ barang habis	Perbaikan sistem	Penggantian bagian yang hilang				
942	Retak/rusak/tidak berfungsi	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian ele- men-elemen kecil/ barang	Perbaikan sistem	Penggantian bagian yang tidak berfungsi				

E. Elemen-Elemen Sistem Lantai

Uraian dan penerapan pemeriksaan khusus untuk kerusakan elemen-elemen sistem lantai secara khusus dijelaskan pada **Tabel 27**, **Gambar 18**, **Gambar 19**, dan **Tabel 33**.

Selain itu bila terdapat kerusakan bahan beton (termasuk baja tulangan) dan bahan baja dapat merujuk pada **Tabel 14**, **Tabel 15**, **Gambar 14**, **Tabel 17**, **Tabel 18**, dan **Gambar 15**.

Selanjutnya penanganan elemen-elemen sistem lantai secara khusus dijelaskan pada **Tabel 34** dan bila terdapat penanganan kerusakan bahan beton (termasuk baja tulangan) dan bahan baja dapat merujuk pada **Tabel 16** dan **Tabel 19**.

Tabel 33 Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Elemen Sistem Lantai

Kode	Uraian Kerusakan Bahan	NDT 1
ELEMEN UTAMA 3.420 JEMBATAN PELAT DAN 3.500 SISTEM LANTAI		
701	Pergerakan yang berlebih arah memanjang sambungan	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur
702	Lendutan yang berlebihan	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur

Tabel 34 Penanganan Kerusakan Elemen Sistem Lantai

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	4
Jenis penanganan	Pembersihan (clean/clear)	Setting ulang (reset)	Pelapisan (coat)	Perbaikan (repair)	Penggantian (replace)	Modifikasi (modify)	Darurat (emergency)		
ELEMEN UTAMA 3.420 JEMBATAN PELAT DAN 3.500 SISTEM LANTAI									
701	Pergerakan yang berlebih arah memanjang sambungan	Pembersihan bahan-bahan yang lepas	Reposisi		1) Pengangkurkan kembali 2) Pendongkrakan dan perbaikan elevasi	Modifikasi penahan pergerakan landasan	Penambahan penahan pergerakan landasan sementara		
702	Lendutan yang berlebihan	Pembersihan bahan-bahan yang lepas	Reposisi		1) Pengangkurkan kembali 2) Perkuatan struktur	Modifikasi sistem struktur	1) Penyokongan/ penunangan bangunan atas 2) Pembatasan beban 3) Jembatan sementara		
KLASTER ELEMEN DRAINASE									
711	Pipa cucuran atau drai-nase yang tersumbat	Pembukaan sumbatan	Reposisi		Perbaikan elevasi	Penggantian elemen			
712	Tidak sesuai (hilang atau kurang panjang)	Pembersihan bahan-bahan yang lepas	Penyambungan ulang		Pengangkurkan kembali	Penggantian elemen			
KLASTER ELEMEN 4.111 PERKERASAN FLEKSIBEL JALAN PENDEKAT, 4.112 PERKERASAN KAKU JALAN PENDEKAT, 4.514 LAPIS PERMUKAAN SISTEM LANTAI									
721	Permukaan licin	Pembersihan			Penanganan preventif	Rekonstruksi	Penggantian sistem perkerasan		
722	Permukaan yang kasar/ berlubang (debonding, aus) atau retak	Pembersihan	Perbaikan retak		Penanganan preventif	Rekonstruksi	Penggantian sistem perkerasan		

Tabel 34 (lanjutan)

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	4
Jenis penanganan	Pembersihan (clean/clear)	Setting ulang (reset)	Pelapisan (coat)	Perbaikan (repair)	Penggantian (replace)	Modifikasi (modify)	Darurat (emergency)		
723	Lapis permukaan yang bergelombang dan alur dari jalur roda (rutting)	Pembersihan Pembersihan saluran drainase			Penanganan preventif	Rekonstruksi	Penggantian sistem perkerasan		
724	Lapis permukaan yang berlebihan	Pembersihan Pembersihan saluran drainase				Pembongkaran/ Scraping	Penggantian sistem perkerasan		
KLASTER ELEMEN 4.513 TROTOAR DAN KERB									
731	Permukaan trotoar licin	Pembersihan bagian-bagian yang lepas		Penutupan lubang	Pelapisan ulang lapisan aus	Penggantian elemen			
732	Lubang pada trotoar	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian bagian yang hilang						
733	Bagian hilang / tidak ada	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian bagian yang hilang						

F. Elemen-Elemen Sistem Pengendali Pergerakan Jembatan (Siar Muai, Perletakan)

Uraian dan penerapan pemeriksaan khusus untuk kerusakan elemen-elemen sistem pengendali pergerakan jembatan (siar muai, perletakan) secara khusus dijelaskan pada **Tabel 27**, **Gambar 18**, **Gambar 19**, dan **Tabel 35**.

Selain itu bila terdapat kerusakan bahan beton (termasuk baja tulangan) dan bahan baja dapat merujuk pada **Tabel 14**, **Tabel 15**, **Gambar 14**, **Tabel 17**, **Tabel 18**, dan **Gambar 15**.

Selanjutnya penanganan elemen-elemen sistem pengendali pergerakan jembatan (siar muai, perletakan) secara khusus dijelaskan pada **Tabel 36** dan **Tabel 37** dan bila terdapat penanganan kerusakan bahan beton (termasuk baja tulangan) dan bahan baja dapat merujuk pada **Tabel 16** dan **Tabel 19**.

Tabel 35 Pemeriksaan Khusus untuk Kerusakan Elemen Utama 3.610 Perletakan

Kode	Uraian Kerusakan Bahan	NDT 1	NDT 2
ELEMEN UTAMA 3.610 PERLETAKAN			
604	Perpindahan dan perubahan yang berlebihan	Pengidentifikasian Karakteristik Struktur	Penyelidikan Geoteknik

Tabel 36 Penanganan Kerusakan Elemen Utama 3.610 Perletakan

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	Jenis penanganan	0-1	1-2	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	3-4	4
			Pembersihan (clean/clear)	Setting ulang (reset)	Pelapisan (coat)	Perbaikan (repair)	Penggantian (replace)	Modifikasi (modify)	Darurat (emergency)		
ELEMEN UTAMA 3.610 PERLETAKAN											
601	Tidak cukupnya tempat untuk bergerak		Pembersihan bahan-bahan yang lepas	Reposisi		Pendongkrakan dan perbaikan elevasi	Penggantian perletakan	1) Pembobokan tembok kepala jembatan/pilar 2) Modifikasi menjadi jembatan integral 3) Modifikasi jenis perletakan	Pembobokan tembok kepala jembatan/pilar		
602	Kedudukan landasan yang tidak sempurna		Pembersihan bahan-bahan yang lepas	Reposisi		Pendongkrakan elevasi	Penggantian perletakan	Modifikasi menjadi jembatan integral	Penyokongan/ penunjaan bangunan atas		
603	Mortar dasar retak atau rontok		Pembersihan bahan-bahan yang lepas		Perbaikan retak	Perbaikan dimensi/ patching	Penggantian mortar	Perbesaran dimensi mortar	Penyokongan/ penunjaan bangunan atas		
604	Perpindahan dan perubahan yang berlebihan		Pembersihan bahan-bahan yang lepas	1) Pengencangan 2) Penyambungan ulang 3) Reposisi		1) Pendongkrakan kembali 2) Pendongkrakan dan perbaikan elevasi	Penggantian perletakan Perbaikan Fondasi	Modifikasi penahan pergerakan landasan sementara	Penambahan penahan pergerakan landasan sementara		
605	Aus karena umur, sobek atau retak (elastomer)		Pembersihan bahan-bahan yang lepas	1) Pengencangan 2) Penyambungan ulang 3) Reposisi		1) Pengkukuran kembali 2) Pendongkrakan dan perbaikan elevasi	Penggantian perletakan	Modifikasi penahan pergerakan landasan	Penambahan penahan pergerakan landasan sementara		

Tabel 36 (lanjutan)

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	4
	Jenis penanganan	Pembersihan (clean/clear)	Setting ulang (reset)	Pelapisan (coat)	Perbaikan (repair)	Penggantian (replace)	Modifikasi (modify)	Darurat (emergency)	
606	Bagian yang rusak atau hilang atau berkarat atau tidak berfungsi	Pembersihan bahan-bahan yang lepas	Penggantian elemen-elemen kecil	1) Pengcatan 2) Persiapan permukaan untuk pekerjaan pengecatan	1) Pengankuran kembali 2) Pendongkrakan dan perbaikan elevasi	Penggantian elemen-elemen yang lebih besar	Modifikasi penahan pergerakan landasan sementara	Penambahan penahan pergerakan landasan sementara	
607	Landasan logam yang kering	Pembersihan bahan-bahan yang lepas	Pelumasan		1) Pengankuran kembali 2) Pendongkrakan dan perbaikan elevasi	Penggantian elemen-elemen yang lebih besar	Modifikasi penahan pergerakan landasan sementara	Penambahan penahan pergerakan landasan sementara	

Tabel 37 Penanganan Kerusakan Klaster Elemen 4.607 Sistem Drainase Sambungan/Siar Muai

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	3-4	3-4	4
	Jenis penanganan	Pembersihan (clean/clear)	Setting ulang (reset)	Pelapisan (coat)	Perbaikan (repair)	Penggantian (replace)	Modifikasi (modify)	Darurat (emergency)
KLASTER ELEMEN 4.607 SISTEM DRAINASE SAMBUNGAN/SIAR MUAI								
801	Kerusakan sambungan lantai yang tidak sama tinggi	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Reposisi		Perbaikan sambungan siar muai	Penggantian rangkalan		
802	Kehilangan kemampuan Bergeraknya	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penyambungan ulang			Penggantian rangkalan		
803	Bagian yang longgar	Pembersihan bagian-bagian yang lepas			Pengukuran kembali			
804	Lepasnya lekatan	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penyambungan ulang			Penggantian rangkalan		
805	Bagian yang rusak/hilang	Pembersihan bagian-bagian yang lepas				Penggantian bagian yang hilang		
806	Retak aspal akibat pergerakan sambungan (tipe asphaltic plug joint)	Pembersihan bagian-bagian yang lepas		Perbaikan retak	Penggantian sambungan siar muai	Penggantian rangkalan		

G. Elemen-Elemen Perlengkapan

Uraian dan penerapan pemeriksaan khusus untuk kerusakan elemen-elemen perlengkapan (siar muai, perletakan) diperkirakan lebih banyak mengacu pada kerusakan bahan pasangan batu/bata, bahan beton (termasuk baja tulangan), bahan baja, dan bahan kayu dapat merujuk pada **Tabel 11, Tabel 12, Gambar 13, Tabel 14, Tabel 15, Gambar 14, Tabel 17, Tabel 18, Gambar 15, Tabel 20, Tabel 21, dan Gambar 16**. Sedangkan untuk penanganan elemen-elemen perlengkapan secara khusus dijelaskan pada **Tabel 38**.

Tabel 38 Penanganan Kerusakan Elemen-Elemen Perlengkapan

Kode	Asumsi nilai kondisi di tingkat elemen/jembatan	0-1	1-2	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	3-4	4
Jenis penanganan		Pembersihan (clean/clear)	Setting ulang (reset)	Penapisan (coat)	Perbaikan (repair)	Penggantian (replace)	Modifikasi (modify)			Darurat (emergency)
KLASTER ELEMEN 4.711 BATAS BATAS UKURAN/ PORTAL, KLASTER ELEMEN 4.713 PENUNJANG PERLENGKAPAN, DAN KLASTER ELEMEN 4.714 STRUKTUR PENUTUP JEMBATAN										
901	Bagian Yang Rusak Atau Hilang	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian bagian yang hilang	Pengecatan ulang						
KLASTER ELEMEN 4.711 PERANGKAT PENGENDALI LALULINTAS (KECUALI ELEMEN 4.711A), 4.713 PENANDA JEMBATAN, 4.715 PENDUKUNG SANDARAN / MEDIAN										
911	Tulisan tidak jelas atau tidak sesuai	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian bagian yang hilang	Pengecatan ulang						
912	Bagian yang hilang atau tidak ada	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian bagian yang hilang							
ELEMEN UTAMA 3.720 PENERANGAN										
921	Penurunan mutu bahan/ deteriorasi	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian elemen-elemen kecil/barang habis	Pengecatan ulang	Pengukuran kembali	Penggantian bagian yang hilang				
922	Bagian yang hilang	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian elemen-elemen kecil/barang habis	Pengecatan ulang	Pengukuran kembali	Penggantian bagian yang hilang				
ELEMEN UTAMA 3.620 PENGAMAN JALAN DAN 3.730 UTILITAS										
931	Tidak berfungsi atau tidak sesuai penempatannya	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian elemen-elemen kecil/barang habis	Pengecatan ulang	Pengukuran kembali	Penggantian bagian yang hilang				
ELEMEN UTAMA 3.740 PENGAMAN STRUKTUR DAN LINGKUNGAN, 3.750 SMIS (SISTEM MONITORING KESEHATAN JEMBATAN), 3.760 PERLENGKAPAN JEMBATAN GERAK/MOVEABLE BRIDGE, 3.770 FASILITAS PEMERIKSAAN TETAP, DAN ELEMEN-ELEMEN NON STRUKTURAL										
941	Hilang/lepas	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian elemen-elemen kecil/barang habis	Perbaikan sistem	Penggantian bagian yang hilang					
942	Retak/rusak/tidak berfungsi	Pembersihan bagian-bagian yang lepas	Penggantian elemen-elemen kecil/barang	Perbaikan sistem	Penggantian bagian yang tidak berfungsi					

Daftar Pustaka

Dokumen Teknis

American Society for Nondestructive Testing (ASNT), *Discover the World of Nondestructive Testing (NDT) Methods*, <https://www.asnt.org/what-is-non-destructive-testing/methods> [Diakses: 2024].

Bridge Non-Destructive Evaluation Technologies: Federal Highway Administration, <https://infotechnology.fhwa.dot.gov/> [Diakses: 2024].

Bridge Maintenance Manual Chapter 5 - Field Guide-Joints: Minnesota Department of Transportation, 2019. <https://www.dot.state.mn.us/bridge/maintenance-manual.html> [Diakses: 2022].

Bridge Maintenance Reference Manual FHWA-NHI Course No. 130108: US Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2015. <https://www.fdot.gov/maintenance/bmrm.shtm> [Diakses: 2022].

Bridge Maintenance & Cleaning in PennDOT Maintenance Activities: Pennsylvania DOT. <http://www.dot.state.pa.us/public/bureaus/Press/MainCard/PUB370J3upsurface.pdf> [Diakses: 2022].

Bridge Preservation Guide Maintaining a Resilient Infrastructure to Preserve Mobility: US Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2018, <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/preservation/guide/guide.pdf> [Diakses: 2022].

Browne, T. M., et. al., Underwater Bridge Inspection: Federal Highway Administration, <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbis/pubs/nhi10027.pdf> [Diakses: 2024].

BS EN 13306:2017 Maintenance — Maintenance terminology: The British Standards Institution, 2018.

Case Study: Utilization of Cathodic Protection to Extend the Service Life of Reinforced Concrete Bridges – An Overview of the Installation and Maintenance of the Cathodic Protection Systems Protecting the Howard Frankland and Crescent Beach Bridges: US Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2021. <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/preservation/docs/hif22004.pdf> [Diakses: 2022].

EM 1110-2-1009 Structural Deformation Surveying: U.S. Army Corps of Engineers, 2018. https://www.publications.usace.army.mil/portals/76/publications/engineermanuals/em_1110-2-1009.pdf [Diakses: 2024].

Huizinga, R. J., *Bathymetric and Velocimetric Surveys at Highway Bridges Crossing the Missouri and Mississippi Rivers near St. Louis, Missouri, August 3–10,*

2020: U.S. Geological Survey, 2023, <https://doi.org/10.3133/sir20235050> [Diakses: 2024].

Lin, W., Wu, J., Nondestructive Testing of Wood Defects based on Stress Wave Technology, *TELKOMNIKA*, Vol.11, No.11, 2013.

Lebow, S. Kirker, G., White, R., Amburgey, T., Barnes, H.M., Sanders, M. Morrell, J. Guide for In-Place Treatment of Wood in Historic Covered and Modern Bridges: Forest Products Laboratory, 2012. https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fpl_gtr205.pdf [Diakses: 2022].

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2020. *Proposed AASHTO Guides for Bridge Preservation Actions*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26013>.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2010. *Framework for a National Database System for Maintenance Actions on Highway Bridges*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/14432>.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2005. *Inspection and Maintenance of Bridge Stay Cable Systems*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13689>.

Online Preventive Maintenance of Ohio DOT, Ohio Department of Transportation, [Diakses: 2021].

Radomski, W., *Bridge Rehabilitation*: Imperial College Press, 2002.

Ross, R. J., et. al., *Inspection of Timber Bridges Using Stress Wave Timing Nondestructive Evaluation Tools : A Guide for Use and Interpretation* General Technical Report FPL–GTR–114: Forest Products Laboratory, Federal Highway Administration, 1999.

Shen, J. Forsyth, R., and Kilgore, R., 2018, *Underwater Inspection of Bridge Substructures Using Imaging Technology*: US Department of Transportation, Federal Highway Administration. <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbis/hif18049.pdf> [Diakses: 2024].

White, R. H., and R. J. Ross, eds. 2014. *Wood and Timber Condition Assessment Manual*. 2nd ed. General Technical Report No. FPL-GTR-234. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Wojciechowska, S.W., *Technical System Maintenance Delay-Time-Based Modelling*: Springer Nature, 2019.

Ketentuan Teknis

Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor 005-02/P/BM/2011 tentang Pemeliharaan Rutin Jembatan

Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor 005-03/P/BM/2011 tentang Pemeliharaan Berkala Jembatan

Petunjuk Teknis Konstruksi dan Bangunan 020/BM/2009 tentang Rehabilitasi Jembatan

Pedoman Bidang Jalan dan Jembatan Nomor 01/P/BM/2022 tentang Pemeriksaan Jembatan

Sistem Manajemen Jembatan (SMJ) Panduan Rencana dan Program IBMS, SMEC-Kinhill Joint Venture: Direktorat Jenderal Bina Marga – Australian International Development Assistance Bureau, Februari 1993.

Sistem Manajemen Jembatan (SMJ) Panduan Pemeliharaan dan Rehabilitasi Jembatan, SMEC-Kinhill Joint Venture, Direktorat Jenderal Bina Marga – Australian International Development Assistance Bureau: Maret 1993.

Situs referensi foto

Alat ukur kadar ion klorida pada beton, <https://www.indotrading.com/civillab/alat-ukur-kadar-p449911.aspx> [Diakses: 2024].

ASR Detect, <https://www.humboldtmg.com/asr-detect.html> [Diakses: 2024].

Bridge Maintenance & Cleaning: Pennsylvania Department of Transportation <https://www.dot.state.pa.us/public/PubsForms/Publications/PUB%20370f.pdf> [Diakses: 2024].

Case Study Restoring a historical bridge; protecting nearby water from contamination. <https://www.dustlessblasting.com/learn/case-studies/graffiti-removal-bridge> [Diakses: 2022].

Case Study: Highway Bridge Slab Lifting and Re-levelling A Cost Effective Solution to Subsidence. <https://resinject.com.au/project/major-highway-bridge-slab-lifting-and-re-levelling/> [Diakses: 2022].

Digital resistivity 4 probe array meter SR4000, <https://bosstester.com/product/digital-resistivity-4-probe-array-meter-sr4000/> [Diakses: 2024].

Digital Coating Thickness Gauges, <https://www.elcometer.com/en/coatings-inspection/all-coatings-inspection/dry-film-thickness/digital.html> [Diakses: 2024].

Dredging Works Under Bridges Rock Revetment Under Bridges 1 & 2, <https://uniondredgers.com/dredging-projects/dredging-works-under-bridges-rock-revetment-under-bridges-1-2-2/> [Diakses: 2022].

DPUTR Kota Cirebon Lakukan Pengecatan Jembatan, <https://mediacirebon.id/dputr-kota-cirebon-lakukan-pengecatan-jembatan/> [Diakses: 2022].

Hanson, K., Temporary bridge to restore SR 162 access, <https://www.courierherald.com/news/temporary-bridge-to-restore-sr-162-access/> [Diakses: 2022].

Horton, J.L. , 2014 Surviving An Interstate Bridge Collapse, Federal Highway Administration <https://highways.dot.gov/public-roads/novemberdecember-2014/surviving-interstate-bridge-collapse> [Diakses: 2022].

Integral Bridges, <https://www.midasbridge.com/en/solutions/integral-bridges> , [Diakses: 2022].

In Picture: Jembatan Glagah Terpaksa Ditutup karena Rusak, <https://www.republika.co.id/berita/rjqsx9283/jembatan-glagah-terpaksa-ditutup-karena-rusak> , [Diakses: 2022].

Keeping bridges open keeps commerce moving: Idaho Transportation Department https://apps.itd.idaho.gov/Apps/MediaManagerMVC/porter/2017/082517_Trans/082517_LoadPostingAlternatives.html , [Diakses: 2022].

LED Streetlight Rollout, <https://www.ausgrid.com.au/In-your-community/Streetlights/LED-Streetlight-Rollout> [Diakses: 2022].

Muller, W., *Timber Girder Inspection Using Ground Penetrating Radar*, International Symposium (NDT-CE 2003) Non-Destructive Testing in Civil Engineering 2003, <https://www.ndt.net/article/ndtceo3/papers/v091/v091.htm>

Pull Out Load Testing Service, <https://www.indiamart.com/proddetail/pull-out-load-testing-service-5706783633.html> [Diakses: 2024].

Satria, G. Hati-hati, Ada Perbaikan Expansion Joint di Jalan Tol Layang MBZ, <https://otomotif.kompas.com/read/2021/08/22/114100615/hati-hati-ada-perbaikan-expansion-joint-di-jalan-tol-layang-mbz> [Diakses: 2022].

Silver Schmidt Digital Concrete Test Hammer – Proceq, <https://www.indiamart.com/proddetail/silver-schmidt-digital-concrete-test-hammer-proceq-21298570848.html> [Diakses: 2024].

Smith, G. M., 2023, *What Is a Strain Gauge Sensor and How Does It Work?*, <https://dewesoft.com/blog/measure-strain-and-pressure> [Diakses: 2024].

Smith, G. M., 2023, *How to Measure Weight With Load Cell Sensors*, <https://dewesoft.com/blog/measure-weight-with-load-cell-sensors> [Diakses: 2024].

Smith, G. M., 2023, *Measuring Position and Displacement With LVDT Sensors*, <https://dewesoft.com/blog/measure-position-displacement-with-lvdt-sensors> [Diakses: 2024].

Smith, G. M., 2024, *Data Acquisition (DAQ) - The Ultimate Guide [Updated 2024]*, <https://dewesoft.com/blog/measure-position-displacement-with-lvdt-sensors> [Diakses: 2024].

SonTek-M9, <https://www.ysi.com/sontek-m9> [Diakses: 2024].

Ultrasonic Pulse Velocity Testers, <https://www.globalgilson.com/proceq-pundit-upv-test-instruments> [Diakses: 2024].

Urban-Sweeper S2.0, <https://www.boschung.com/product/urban-sweeper-s2-0/> [Diakses: 2022].

Verplaatsing spoorbrug in beeld: Rijkswaterstaat, <https://bezoekerscentrum.rijkswaterstaat.nl/SchipholAmsterdamAlmere/?gallery=verplaatsing-spoorbrug-beeld#.WlaoUPnhBPY> [Diakses: 2022].

Vibrating Wire Strain Gauges, <https://sisgeo.com/products/strain-gauges/vibrating-wire-strain-gauges/> [Diakses: 2024].

Waterborne Ground Penetrating Radar: US Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/environmental-geophysics/waterborne-ground-penetrating-radar> [Diakses: 2024].

ISBN 978-979-8230-96-7



9 789798 230967