

JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

Model Asesmen *Rating* Jembatan Berbasis *Analytic Network Process*

Paksi Aan Syuryadi

Program Magister Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Merdeka No. 30 Bandung 40117, E-mail: paksi.pu10@gmail.com

Andreas Wibowo

Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Jl. Panyawungan Cileunyi Wetan Kabupaten Bandung 40393 /
Program Pascasarjana Universitas Katolik Parahyangan, Program Magister Teknik Sipil
Jl. Merdeka No. 30 Bandung 40117, E-mail: andreaswibowo1@yahoo.de

Abstrak

Di Indonesia, Panduan Pemeriksaan Jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga 1993 sampai dengan saat ini masih digunakan sebagai panduan dalam melakukan pemeriksaan jembatan. Namun, panduan tersebut tidak menyediakan pendekatan sistematis mengintegrasikan hasil penilaian dari hierarki terendah ke hierarki yang lebih tinggi sehingga mengakibatkan penilaian akhir rentan terhadap isu inkonsistensi dan sangat tergantung pada penilaian subjektif pemeriksa. Oleh karena itu, untuk mengatasi kelemahan tersebut, penelitian ini mengusulkan model asesmen baru untuk menilai dan menentukan nilai kondisi setiap level kondisi jembatan. Model ini menggunakan *Analytic Network Process* untuk menentukan bobot elemen dan kerusakan elemen dan metode *Delphi* untuk mendapatkan konsensus dari pemeriksa jembatan untuk ketergantungan antar-kerusakan elemen. Nilai kondisi jembatan ditentukan dari skor rata-rata tertimbang akhir yang dinyatakan dari 0 sampai dengan 100 dengan nilai 0 berarti tidak terjadi kerusakan dan 100 terjadi kerusakan secara menyeluruh. Uji cobatela dilakukan untuk menunjukkan aplikabilitasnya dengan hasil yang memuaskan.

Kata-kata Kunci: Jembatan, *rating*, nilai kondisi, model asesmen, *analytical network process*, *delphi*.

Abstract

In Indonesia, the 1993 Inspection Guideline of Directorate General of Highway has traditionally been being used for years. However, the main drawback of this guideline is that it does not provide a systematic approach to translate damages at the lowest level into the higher ones, making the resulting ratings prone to inconsistency issues and heavily dependent upon subjective assessments of bridge raters. To address this problem, this research proposes a new model for assessing and determining bridge condition states at different levels of assessment. The developed model employed the *Analytical Network Process* to assign weights for elements and elemental damages and *Delphi* method to build consensus among bridge raters for bridge damage interdependencies. The bridge condition state is expressed on the weighted average score that runs from 0 to 100 with 0 denoting "no damage" and 100 "completely damaged." Pilot test has been conducted to demonstrate its applicability with satisfactory result.

Keywords: Bridge, *rating*, condition state, assessment model, *analytical network process*, *delphi*.

1. Pendahuluan

Jembatan dan jalan merupakan infrastruktur penting yang berperan dalam memacu pertumbuhan ekonomi suatu wilayah. Mempertahankan fungsi dan kemampuan jembatan dalam melayani arus lalu lintas menjadi kunci lancarnya roda perekonomian. Oleh sebab itu pemeriksaan yang terus menerus terhadap kondisi jembatan harus menjadi bagian yang tak terpisahkan dalam sistem manajemen jembatan.

Pemeriksaan terhadap kondisi jembatan dilakukan sedini mungkin untuk mengidentifikasi kerusakan-kerusakan yang terjadi sehingga penanganan yang efektif dan efisien dapat dilakukan sesuai dengan tingkat kerusakan yang terjadi (Hamdani, *et al.*, 2009). Karena

tipe jembatan yang beragam di Indonesia, beragam pula tipe kerusakan yang terjadi tergantung dari tipe struktur dan material jembatan yang digunakan.

Di Indonesia, Panduan Pemeriksaan Jembatan yang disusun oleh Pemerintah Indonesia melalui Direktorat Jendral Bina Marga tahun 1993 / (*Bridge Management System*; BMS 1993) masih digunakan hingga saat ini sebagai pedoman pemeriksaan jembatan. Pemeriksaan jembatan tersebut menilai kondisi jembatan dari *level 5* sampai dengan *level 1*. *Level 5* dan *level 4* adalah kondisi kerusakan individual elemen jembatan pada bagian elemen terkecil. Kerusakan pada *level ke 4* menjadi acuan untuk ditarik menuju *level 3* (e.g. bangunan pengaman, fondasi, sistem gelagar, perletakan). Penilaian kondisi jembatan pada *level 3* selanjutnya menjadi acuan untuk menilai kondisi pada *level 2* yang merupakan

nilai kondisi komponen jembatan (i.e. aliran sungai, bangunan atas, bangunan bawah, gorong-gorong dan lintasan basah). Penilaian akhir nilai kondisi jembatan pada *level 1* menentukan nilai keseluruhan jembatan yang dievaluasi. Kriteria penilaian elemen jembatan berdasarkan BMS (1993) dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kriteria penilaian terhadap elemen jembatan (BMS, 1993)

Nilai	Kriteria	Nilai Kondisi
Struktur (S)	Berbahaya	1
	Tidak Berbahaya	0
Kerusakan (R)	Parah	1
	Tidak Parah	0
Kuantitas (K)	Lebih dari 50%	1
	Kurang dari 50%	0
Fungsi (F)	Elemen tidak berfungsi	1
	Elemen masih berfungsi	0
Pengaruh (P)	Mempengaruhi elemen lain	1
	Tidak mempengaruhi elemen lain	0
Nilai Kondisi (NK)	$NK = S+R+K+F+P$	0-5

Pada pelaksanaannya penarikan nilai dari hierarki terendah (*level 5*) ke hierarki yang lebih tinggi memerlukan pengetahuan memadai mengenai elemen mana yang memiliki prioritas yang dapat mewakili nilai jembatan dan bagaimana pemeriksa atau inspektor dapat menyimpulkan nilai kondisi dari jembatan tersebut. Penilaian kondisi elemen jembatan memiliki tingkat kesulitan tersendiri dalam menentukan pada tingkat kondisi mana seharusnya jembatan itu berada dan bagaimana menentukan pengaruh elemen yang mengalami kerusakan terhadap elemen lainnya. Contoh, pada *level 3* apabila terdapat kerusakan pada sistem lantai, *expansion joint* dan perletakan yang memiliki nilai kondisi yang berbeda terkadang inspektor masih mengalami kesulitan untuk menarik nilai kondisi pada *level 3* ke *level 2*.

Bridge Management System (1993) telah memberikan panduan pemeriksaan untuk setiap elemen jembatan, namun hubungan antarelemen jembatan masih bersifat independen. Faktanya, alinyemen aliran sungai yang tidak baik akibat sedimentasi dapat menyebabkan *scouring* pada *abutment* atau fondasi jembatan yang pada gilirannya dapat menyebabkan semakin tergerusnya bagian dasar pada *abutment* atau fondasi jembatan. Jika gerusan diabaikan dalam jangka waktu yang lama, hal tersebut dapat menyebabkan *abutment* atau fondasi jembatan terguling. Oleh sebab itu pada penelitian ini dilakukan pengembangan model assesmen kondisi jembatan yang mengakomodasi hubungan saling keterkaitan antarelemen jembatan.

Model ini berbasis metode *simple additive weighting* (SAW) yang merupakan salah satu metode pengambilan keputusan multikriteria yang paling populer karena kemudahannya. Untuk membangun relasi antarelemen dan antarkerusakan, penelitian ini menggunakan

metode Delphi, sedangkan untuk menentukan bobot elemen dan kerusakan elemen digunakan metode *Analytic Network Process* (ANP), Saaty dan Vargas (2013).

Banyaknya jumlah dan tipe jembatan di Indonesia yang perlu dikaji, cakupan model ini dibatasi pada tipe jembatan dengan sistem gelagar beton dan berada di atas aliran sungai. Elemen jembatan yang dikaji adalah lantai beton, gelagar beton, diafragma beton, pilar beton, kepala jembatan (*abutment*) beton, fondasi, perletakan karet, sambungan siar muai (*expansion joint*), aliran sungai, bangunan pengaman dan tanah timbunan. Penelitian ini diharapkan menghasilkan model assesmen dari kondisi jembatan yang lebih akurat dan objektif serta memudahkan inspektor di lapangan dalam memberikan nilai kondisi jembatan.

1.1 Analytic network process

Analytic network process merupakan salah satu metode pengambilan keputusan yang paling populer dan merupakan generalisasi dari *Analytic Hierarchy Process* (AHP), Bu-Qammar, *et al.* (2009). Dibandingkan AHP yang memungkinkan hanya relasi satu arah, ANP mampu mengevaluasi multirelasi antarelemen (Cheng dan Li, 2004). Ada empat tahapan dalam ANP: strukturisasi permasalahan dan konstruksi model, penyusunan matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrices*) elemen-elemen yang saling dependen, penyusunan supermatrix, dan pemilihan alternatif terbaik (Dikmen, *et al.*, 2007).

Berikut ini protokol dasar perhitungan bobot menggunakan ANP (Cheng dan Li, 2005):

- Susun kuesioner untuk pengumpulan data dari responden yang akan berpartisipasi dalam penelitian; biasa yang digunakan adalah perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dengan skala 1-9.
- Estimasi tingkat kepentingan relatif antardua elemen untuk setiap matriks dan hitung nilai eigen untuk setiap matriksnya.
- Hitung rasio ketidakkonsistenan (*consistency ratio*; CR) setiap matriks; matriks disebut konsisten jika $CR < 0,1$.
- Tempatkan nilai-nilai eigen pada matriks individual (biasa disebut sebagai submatriks) untuk membentuk supermatriks.
- Pastikan supermatriks stokastik pada setiap kolomnya dan pangkatkan supermatriks sampai bobot-bobot konvergen dan stabil.

Untuk protokol yang lebih lengkap, pembaca dapat mengacu pada Saaty dan Vargas (2013). Dalam penelitian ini, perhitungan bobot ANP dibantu dengan piranti lunak Super Decisions (*superdecisions.com*).

1.2 Penelitian terdahulu

Penelitian telah banyak dilakukan untuk mengembangkan sistem manajemen jembatan untuk tujuan yang beragam. Neves dan Frangopol (2005), misal, mengintegrasikan panduan pemeriksaan yang didasarkan pada inspeksi visual (indeks kondisi) dan assesmen struktural (indeks keselamatan) selama umur teknis jembatan dengan mempertimbangkan faktor ketidakpastian. Model probabilistik yang dibangun dapat memerkirakan penurunan kinerja struktur jembatan jika tidak ada pemeliharaan, ada pemeliharaan preventif, dan pemeliharaan korektif.

Miyamoto dan Uchino (2008) mengembangkan J-BMS untuk Jepang yang diintegrasikan dengan *Concrete Bridge Rating Expert System* untuk memprediksikan proses penurunan kinerja, menyusun rencana pemeliharaan atau perbaikan dan mengestimasi biaya pemeliharaan. Caner, *et al.* (2008) mengusulkan suatu model assesmen sederhana untuk memerkirakan umur sisa layanan berdasarkan *rating* kerusakan jembatan eksisting yang tidak diinspeksi secara rutin.

Suksuwan dan Hadikusumo (2010) mengembangkan metode evaluasi *rating* kerusakan untuk mendukung penilaian kondisi jembatan di Thailand yang disyaratkan oleh Thailand's Department of Highway dengan menggunakan sistem *rating* untuk jembatan dengan struktur beton. Metode ini menjelaskan mengenai jenis kerusakan yang ada untuk setiap elemen jembatan, kemudian menentukan bobot dari tingkat kerusakan dan kuantitas kerusakannya.

Saydam, *et al.* (2013) membangun model assesmen risiko menggunakan *rating* kerusakan elemen jembatan dengan mengasumsikan penurunan kinerja jembatan berevolusi mengikuti proses Markov. Safi, *et al.* (2015) melakukan penelitian lebih lanjut terkait data yang tersedia dalam sistem manajemen jembatan untuk pengadaan dengan kontrak *design-build* terefisien dengan mempertimbangkan *life cycle cost*. Di Indonesia sendiri, studi mengenai penilaian jembatan telah banyak dilakukan meski masih terbatas pada penerapan model yang sudah ada. Studi tersebut diantaranya dilakukan Marsuki, *et al.* (2009). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai kondisi jembatan dan elemen-elemennya, penyusunan program prioritas penilaian kondisi jembatan dan penyusunan program prioritas elemen-elemen jembatan. Setelah dilakukan penilaian dengan menggunakan *Bridge Condition Rating* (BCR), pembobotan elemen jembatan dihitung dengan *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Pada akhir penelitian dibandingkan hasil penilaian BCR metode AHP dengan NYSDOT yang mendapatkan hasil penilaian kondisi jembatan yang tidak jauh berbeda antara kedua metode tersebut.

Putra (2015) telah melakukan penelitian mengenai pengembangan model penilaian kondisi jembatan dalam manajemen pengelolaan jembatan pada panduan pemeriksaan jembatan BMS (1993). Penelitian ini membandingkan nilai kondisi jembatan berdasarkan (BMS 1993) dengan pengembangan model baru. Putra

menggunakan metode AHP untuk menentukan bobot kriteria dan sub kriteria, dan mengadopsi Main Roads Western Australia (MRWA 2013) untuk penentuan metode penilaian.

2. Metodologi

Pada Tahap awal pengembangan model dilakukan tinjauan terhadap panduan pemeriksaan jembatan BMS (1993) dan melakukan *review* terhadap penelitian Putra (2015) serta referensi-referensi lain yang relevan. Setelah dilakukan identifikasi elemen dan kerusakan elemen yang ada berdasarkan BMS (1993) dilakukan penyusunan matriks dependensi antarelemen dan antarkerusakan elemen.

Langkah selanjutnya adalah menentukan pengaruh antarelemen jembatan. Pengaruh antarelemen jembatan ditentukan menggunakan metode Delphi. Metode Delphi disarankan untuk mencari cara yang efektif untuk mendapatkan dan mengukur kelompok konsensus pada suatu kriteria yang dapat saling mempengaruhi yang disajikan dengan konsep anonimitas. Proses untuk mendapatkan data dilakukan dengan mengulangi putaran pengisian kuesioner secara sistematis. Masing-masing set berikutnya dari kuesioner dibangun berdasarkan tanggapan sebelumnya. Jumlah putaran untuk mencapai konsensus berkisar dari dua sampai enam putaran (Hallowell dan Gambatese, 2010). Namun faktanya penelitian menunjukkan bahwa hasil Delphi yang paling akurat adalah setelah dua putaran dan tidak terjadi perubahan yang berarti saat putaran ditambah.

Setelah melalui proses validasi menggunakan metode Delphi, disusun kuesioner perbandingan berpasangan yang akan diolah menggunakan metode ANP menggunakan *Super Decisions* untuk mendapatkan bobot kepentingan masing-masing dari elemen dan kerusakannya. Proses survei pengambilan data metode Delphi dan perbandingan berpasangan metode ANP dilaksanakan di Puslitbang Jalan dan Jembatan pada September 2016.

Langkah selanjutnya adalah dilakukannya melakukan pembuatan model asesmen *rating* kerusakan jembatan dan melakukan uji coba di lapangan terkait terhadap model yang telah disusun serta dilakukan evaluasi apakah model telah sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Model yang telah dibangun diujicobakan untuk mengetahui *rating* kondisi Jembatan Cilalawi B di Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat dengan koordinat 06°37' 08,9"LS; 107° 24' 16.6" BT dengan deskripsi sebagai berikut: bangunan atas = gelagar pracetak Indonesia, bangunan bawah = kepala jembatan tipe dinding penuh dan pilar dua kolom dengan pengaku, panjang total = 38 m, lebar = 9 m dan tahun konstruksi = 2010.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Matriks dependensi antarelemen

Empat inspektor jembatan telah bersedia berpartisipasi dalam survei ini dan menjadi responden metode Delphi.

Berdasarkan pengalaman kerja, 1 responden memiliki pengalaman memeriksa jembatan antara 5 dan 10 tahun, 1 orang antara 10 dan 15 tahun dan 2 lainnya memiliki pengalaman lebih dari 15 tahun. Pada survei Delphi ini, setiap responden diminta mengisi sel-sel dalam matriks dengan memberi simbol cek β jika beropini suatu elemen (kerusakan elemen) memengaruhi elemen (kerusakan elemen) lainnya. Pada putaran pertama terjadi perbedaan opini antar anggota responden. Modus survei putaran pertama disertakan pada survei putaran kedua yang hasilnya menunjukkan adanya perbaikan konsensus. Matriks hasil survei putaran kedua diputuskan menjadi matriks dependensi antarelemen dan antarkerusakan elemen (lihat **Lampiran 1** dan **Lampiran 2**). Sebagai contoh, elemen aliran sungai yang rusak dapat mempengaruhi elemen fondasi, *abutment*, bangunan pengaman, tanah timbunan dan pilar jembatan. Oleh sebab itu alinyemen aliran sungai harus didesain dengan baik, dihindari pengikisan dan aliran tertahan yang dapat menyebabkan kerusakan elemen sekitar yang bersinggungan langsung dengan elemen aliran sungai. Untuk matriks kerusakan antarelemen, kerusakan penurunan pada elemen fondasi yang disebabkan pengikisan aliran sungai dapat mengakibatkan kerusakan elemen yang ada di atas fondasi seperti elemen beton (i.e. pilar) yang dapat mengalami retak dan penurunan dan/atau perubahan bentuk.

3.2 Penentuan bobot elemen dan kerusakan

Perbandingan berpasangan antarelemen dan atarkerusakan elemen jembatan dilakukan oleh responden menggunakan skala 1-9. Ada 23 responden yang bersedia berpartisipasi dalam survei ANP yang dilaksanakan Oktober dan November 2016 ini. Berdasarkan jumlah tersebut, 12 responden merupakan pakar struktur jembatan sementara sisanya adalah responden yang berpengalaman dalam pemeriksaan jembatan. Karena melibatkan lebih dari satu pengambil keputusan, agregasi skor perbandingan berpasangan dilakukan berdasarkan rata-rata geometrik. **Gambar 1** dan **Gambar 2** memperlihatkan struktur permasalahan ANP untuk penentuan bobot antarelemen dan antarkerusakan elemen jembatan.

3.3 Model asesmen kondisi jembatan

Untuk menilai kondisi suatu jembatan diperlukan suatu kriteria sebagai acuan dalam menentukan nilai kondisi elemen-elemen jembatan. Berdasarkan Putra (2015), kondisi elemen dibagi menjadi tiga kriteria yaitu berdasarkan tingkat kerusakan, kuantitas kerusakan, dan *visibility* dari kerusakan yang ada.

Kriteria kerusakan jembatan diberi bobot yang diambil dari penilaian kondisi menggunakan BMS (1993) dan MRWA (2013) sementara bobot jenis kerusakan ditentukan berdasarkan hasil kuesioner yang akan dilakukan dengan menggunakan metode ANP sebelumnya. *Rating* kerusakan pada masing-masing elemen jembatan dihitung menggunakan **Persamaan 1** sebagai berikut:

$$NRK_{ij} = w_i (w_T T_{ij} + w_K K_{ij} + w_V V_{ij}) \text{ dengan } w_T + w_K + w_V = 1 \quad (1)$$

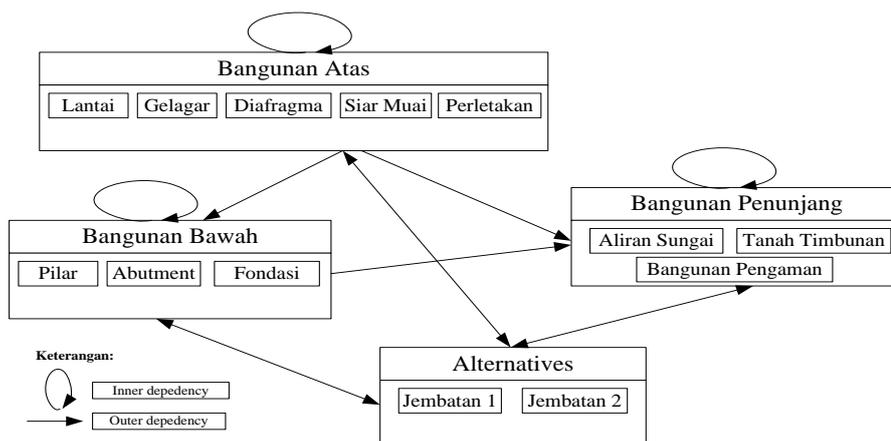
dengan: NRK_{ij} = Nilai *Rating* Kerusakan jenis i pada sub-elemen j ; w_i = bobot kerusakan jenis i , w_T = bobot tingkat kerusakan, w_K = bobot kuantitas kerusakan, w_V = bobot visibilitas kerusakan, T_{ij} = nilai tingkat kerusakan jenis i pada elemen j , K_{ij} = nilai kuantitas kerusakan jenis i pada elemen j , V_{ij} = nilai visibilitas kerusakan jenis i pada elemen j . Nilai T_{ij} , K_{ij} , dan V_{ij} dinyatakan dalam skala ordinal 0–100 dengan klasifikasi sebagaimana disajikan dalam **Tabel 2**. Operasionalisasi dari level-level ini dapat dilihat selengkapnya pada Suryadi (2016). Penelitian Putra (2014) digunakan untuk menentukan $w_T = 0,42$, $w_K = 0,34$; $w_V = 0,24$.

Tabel 2. Nilai kriteria kerusakan elemen jembatan

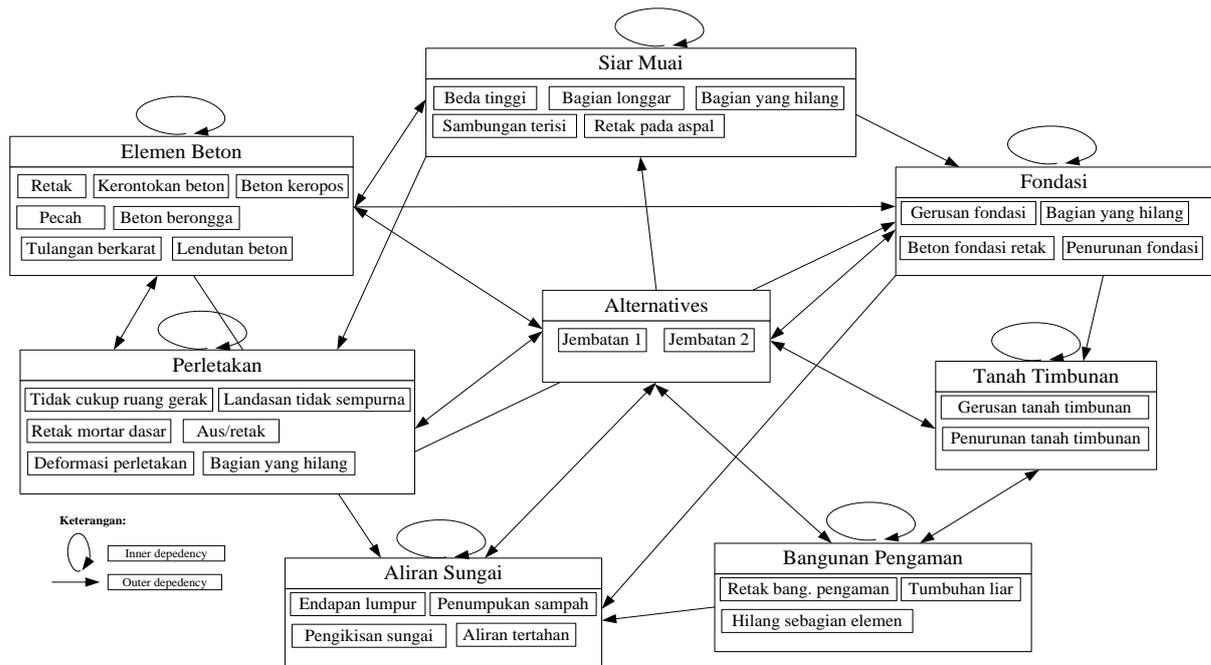
Nilai	Kerusakan		
	Kerusakan	Kuantitas	Visibilitas
0	Tidak terjadi	Tidak terjadi	Tidak terjadi
20	Cukup parah	Cukup banyak	Cukup terlihat
40	Tidak parah	Sedikit	Samar-samar
55	Parah	Banyak	Terlihat
100	Sangat parah	Sangat banyak	Sangat jelas

Selanjutnya dihitung Nilai Kondisi Elemen (NKE) dihitung berdasarkan **Persamaan 2** sebagai berikut:

$$NKE_j = w_j \sum_i NRK_{ij} \quad (2)$$



Gambar 1. Model keterkaitan komponen dan elemen jembatan



Gambar 2. Model keterkaitan kerusakan elemen jembatan

dengan: NKE_j = NKE jembatan elemen j , w_j = bobot sub-elemen j . Untuk menghitung *rating* kerusakan pada tiap komponen bangunan atas digunakan **Persamaan 3** sebagai berikut:

$$R_{BA} = \sum_j NKE_j \quad (3)$$

dengan: R_{BA} = *rating* kerusakan pada elemen bangunan atas yang didapat dengan menjumlahkan semua *rating* kondisi elemen pada komponen bangunan atas. Prosedur yang sama juga digunakan untuk menghitung *rating* kerusakan bangunan bawah (R_{BB}) dan bangunan penunjang (R_{BP}).

Rating Kondisi Jembatan (RKJ) didapat dengan:

$$RKJ = \max(R_{BA}, R_{BB}, R_{BP}) \quad (4)$$

Argumentasi penggunaan operator maksimum dalam **Persamaan 4** adalah jembatan secara utuh tidak dapat berdiri sendiri yang diwakili oleh beberapa komponen (i.e. level 2), yang mana jika salah satu komponen rusak parah, maka jembatan secara umum dikategorikan dalam kondisi rusak parah dilihat dari aspek komponen yang mengalami kerusakan terparah. Nilai RKJ menentukan level kondisi jembatan tersebut berada, dengan klasifikasi sebagai berikut: RKJ 1-19 = rusak ringan, 20-39 = rusak sedang, 40-55 = parah, 56-100 = berbahaya. Sebagai informasi, selain pendekatan penentuan bobot, perbedaan penelitian ini dan Putra (2015) terletak pada penentuan *rating* kondisi jembatan di mana Putra (2015) menggunakan rata-rata tertimbang dari level terendah sampai level tertinggi.

3.4 Bobot elemen dan kerusakan elemen

Tabel 3 memperlihatkan bobot elemen jembatan berdasarkan ANP. Berdasarkan hasil analisis dapat disampaikan bahwa elemen gelagar menjadi sub-elemen terpenting di antara sub-elemen lain pada elemen bangunan atas. Hal ini disebabkan jika terjadi kegagalan pada gelagar, sub-elemen lainnya pada bangunan atas menjadi terganggu.

Tabel . Bobot elemen jembatan

Elemen	Sub-elemen	Bobot
Bangunan Atas	Lantai	0,22
	Gelagar	0,25
	Diafragma	0,18
	Siar Muai	0,15
	Perletakan	0,20
Bangunan Bawah	Pilar	0,25
	Abutment	0,26
	Fondasi	0,49
Bangunan Penunjang	Aliran Sungai	0,42
	Bangunan Pengaman	0,33
	Tanah Timbunan	0,25

Untuk elemen bangunan bawah, sub-elemen fondasi adalah sub-elemen terpenting. Fondasi merupakan struktur utama yang menyalurkan seluruh beban dari mulai bangunan atas sampai dengan pilar dan *abutment*. Apabila terjadi kegagalan pada fondasi, kondisi struktur atas akan terpengaruh. Pilar dan *abutment* memiliki bobot yang hampir sama sesuai fungsinya sebagai penghubung antar bentang jembatan dan menopang elemen bangunan atas jembatan.

Aliran sungai merupakan bagian terpenting pada elemen bangunan penunjang karena jika terjadi gangguan pada elemen ini dapat berdampak signifikan pada kerusakan

bangunan penunjang. Bangunan pengaman memiliki prioritas lebih penting daripada tanah timbunan karena bangunan pengaman adalah elemen yang bersinggungan langsung dengan aliran sungai, yang mana jika terjadi kerusakan pada elemen bangunan pengaman, maka akan mempengaruhi elemen tanah timbunan.

Berdasarkan pengelompokan klaster elemen jembatan diperoleh 31 jenis kerusakan yang akan dicari masing-masing bobot kepentingannya. **Tabel 4** menyajikan hasil perhitungan bobot elemen kerusakan jembatan.

Tabel 4. Bobot kerusakan elemen jembatan

Elemen	Kerusakan	Bobot
Beton (lantai, gelagar, diafragma, pilar, abutment)	Retak	0,17
	Kerontokan beton	0,10
	Keropos	0,11
	Beton berongga	0,11
	Pecah/hilang sebagian	0,11
	Karat pada tulangan beton	0,10
	Lendutan/perubahan bentuk	0,30
Siar Muai	Beda tinggi	0,24
	Sambungan terisi	0,13
	Bagian longgar	0,24
	Bagian hilang	0,20
	Retak pada aspal	0,20
Perletakan	Tidak cukup ruang bergerak	0,12
	Landasan perletakan tidak sempurna	0,20
	Retak pada bagian mortar dasar	0,16
	Deformasi Perletakan	0,19
	Aus akibat umur/retak	0,20
	Bagian yang rusak/hilang	0,13
Fondasi	Gerusan	0,25
	Pecah/hilang sebagian beton	0,17
	Retak pada elemen beton	0,14
	Penurunan fondasi	0,44
Aliran Sungai	Endapan lumpur	0,22
	Penumpukan sampah	0,21
	Pengikisan di daerah sekitar jembatan	0,36
	Aliran yang macet/tertahan	0,21
Bangunan Pengaman	Pecah/hilang sebagian elemen	0,50
	Retak	0,26
	Tumbuhan liar	0,24
Tanah Timbunan	Gerusan di sekitar tanah timbunan	0,50
	Penurunan tanah timbunan	0,50

Berdasarkan **Tabel 4** disampaikan beberapa hal sebagai berikut. Untuk elemen beton, lendutan/perubahan bentuk pada elemen beton merupakan bobot tertinggi di antara kerusakan lainnya. Hal ini dapat dimengerti apabila terjadi perubahan bentuk pada elemen lantai dapat menimbulkan jenis kerusakan lain seperti retak dan pecah/hilang sebagian elemen beton. Perubahan bentuk/lendutan juga mengindikasikan struktur tersebut mengalami penurunan kapasitas daya layan sehingga perlu dilakukan perkuatan atau perbaikan pada elemen tersebut.

Kerusakan bagian yang longgar pada elemen siar muai merupakan bobot tertinggi sehingga dianggap memiliki pengaruh kerusakan yang paling tinggi dibandingkan kerusakan lainnya. Adapun perletakan merupakan elemen yang berada di atas elemen pilar dan *abutment* yang berfungsi sebagai penyalur beban yang diterima gelagar dari bangunan atas menuju ke bangunan bawah. Bobot yang memiliki pengaruh tertinggi di antara kerusakan lainnya adalah pemasangan landasan perletakan yang tidak sempurna. Hal ini berkaitan dengan fungsi elemen perletakan itu sendiri. Jika posisi elemen perletakan tidak sempurna maka penyaluran beban pada elemen di bawahnya menjadi tidak sempurna sehingga dapat membahayakan elemen struktur jembatan.

Fondasi merupakan elemen penting yang memikul beban pada bangunan atas dan bangunan bawah itu sendiri, sehingga pada umumnya kegagalan pada elemen fondasi akan berdampak pada stabilitas jembatan. Penurunan elemen fondasi masih memiliki bobot terpenting dan berpengaruh pada kerusakan elemen fondasi. Alasannya, kerusakan penurunan fondasi dapat menyebabkan elemen abutment/pilar menjadi terguling bahkan dapat menyebabkan jembatan menjadi runtuh.

Jenis kerusakan yang memiliki bobot tertinggi pada elemen aliran sungai adalah pengikisan di daerah sekitar jembatan. Pengikisan aliran sungai umumnya akan berpengaruh terhadap elemen fondasi, pilar, *abutment*, bangunan pengaman dan tanah timbunan. Oleh sebab itu, alinyemen elemen aliran sungai harus didesain dengan baik sehingga dapat menghilangkan dampak kerusakan yang disebabkan kerusakan aliran sungai.

Bangunan pengaman dalam hal ini adalah dinding penahan tanah berfungsi menahan beban yang diterima oleh tanah timbunan di sekitar jembatan. Umumnya elemen dinding penahan tanah terbuat dari pasangan batu kali, sehingga penulis menyesuaikan kerusakan yang terdapat pada panduan pemeriksaan jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga (1993). Berdasarkan opini responden, jenis kerusakan pecah/hilang sebagian elemen memiliki bobot tertinggi atau memiliki pengaruh paling tinggi di antara kerusakan lainnya. Alasannya, kerusakan sebagian elemen hilang pada bangunan pengaman dapat menyebabkan kerusakan elemen tanah timbunan dan *abutment* jembatan.

Penurunan tanah timbunan memiliki pengaruh yang lebih tinggi dibandingkan gerusan tanah timbunan. Alasannya adalah bila terjadi penurunan tanah timbunan dapat berdampak langsung terhadap elemen lainnya seperti: lantai dan bangunan pengaman.

3.5 Uji coba model

Tabel 5 adalah contoh perhitungan untuk menentukan nilai kondisi elemen lantai dengan model ini. **Tabel 6** memberikan hasil perhitungan nilai kondisi jembatan (level 1) yang menunjukkan bahwa jembatan yang dievaluasi berada dalam kondisi rusak sedang.

Berdasarkan aspek kesesuaian dan kemudahan dalam melakukan penilaian *rating* kerusakan jembatan, para pemeriksa jembatan yang ditunjuk melakukan uji coba

Tabel 5. Contoh perhitungan nilai kondisi lantai

Kode	Jenis	Kriteria	w (%)	T	NRK	Bobot	Total
LT-1	Retak	Kerusakan	42	55	23,13	0,17	11,43
		Kuantitas	34	55	18,44		
		Visibilitas	24	100	24,43		
		Total	100		65,99		
LT-3	Keropos	Kerusakan	42	20	8,41	0,11	5,09
		Kuantitas	34	40	13,41		
		Visibilitas	24	100	24,43		
		Total	100		46,25		
LT-5	Pecah	Kerusakan	42	40	16,82	0,11	5,44
		Kuantitas	34	20	6,70		
		Visibilitas	24	100	24,43		
		Total	100		47,95		
LT-6	Tulangan berkarat	Kerusakan	42	40	16,82	0,10	4,60
		Kuantitas	34	20	6,70		
		Visibilitas	24	100	24,43		
		Total	100		47,95		
Nilai Kondisi Lantai							26,55

Tabel 6. Perhitungan nilai kondisi jembatan

Bangunan	Elemen	Elemen		Total
		Nilai Kondisi	Bobot	
Atas	Gelagar	0,00	0,25	0,00
	Lantai	26,55	0,22	5,83
	Perletakan	39,43	0,20	7,70
	Diafragma	17,14	0,18	3,09
	Siar muai	64,11	0,15	9,86
		R_{BA}		26,48
Bawah	Pilar	5,23	0,25	1,32
	Abutment	13,58	0,26	3,48
	Fondasi	0,00	0,49	0,00
		R_{BB}		4,80
Penunjang	Aliran sungai	30,32	0,42	12,76
	Bangunan pengaman	49,30	0,33	16,19
	Tanah timbunan	39,54	0,25	9,91
		R_{BP}		38,86
Jembatan				38,86 (rusak sedang)

sepakat bahwa model baru dianggap lebih sistematis, objektif dan konsisten dibandingkan dengan BMS (1993) yang dapat mengurangi subjektivitas dalam penilaian kondisi jembatan.

4. Kesimpulan

- Pengembangan model assesmen dalam penilaian *rating* kerusakan jembatan dengan mempertimbangkan hubungan keterkaitan elemen menghasilkan model assesmen yang lebih sistematis, objektif dan konsisten.
- Penarikan nilai kondisi jembatan dari *level* terendah

ke *level* yang lebih tinggi dilakukan secara hierarkis menggunakan konsep *simple additive weighting* dengan nilai *rating* kerusakan tertinggi merupakan nilai maksimum antara kondisi bangunan atas, bangunan bawah dan bangunan penunjang, yang mana didapatkan *rating* kerusakan jembatan sebesar 38.86 (rusak sedang).

- Uji validasi model pemeriksaan jembatan di lapangan menunjukkan bahwa metode pem bobotan dapat digunakan sebagai salah satu alat untuk menentukan nilai kondisi jembatan secara baik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih dan menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada seluruh responden, yang telah meluangkan waktu dan tenaganya untuk berpartisipasi dalam penelitian ini, baik pada saat survei Delphi, survei ANP, dan uji coba model.

Daftar Pustaka

- Bu-Qammaz, A.S., Dikmen, I., dan Birgonul, M.T., 2009, Risk assessment of international construction projects using the analytic network process, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36(7), 1170–1181.
- Caner, A., Yanmaz, A.M., Yakut, A., Avsar, O., dan Yilmaz, T., 2008, Service life assessment of existing highway bridges with no planned regular inspections, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 22(2), 108–114.
- Cheng, E.W.L., dan Li, H., 2004, Contractor selection using the analytic network process, *Construction Management and Economics*, 22(10), 1021–1032.
- Cheng, E.W.L., dan Li, H., 2005, Analytic network process applied to project selection, *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(4), 459–466.
- Dikmen, I., Birgonul, M.T., dan Ozorhon, B., 2007, Project appraisal and selection using the analytic network process, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34(7), 786–792.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1993, *Panduan Pemeriksaan Jembatan (Bridge Management System 1993): Petunjuk untuk Menilai Struktur dan Tingkat Kerusakannya*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Hallowell, M.R., dan Gambatese, J.A., 2010, Qualitative research: Application of the Delphi method to CEM research, *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(1), 99–107.
- Hamdani, D., Kristiawan, S.A., dan Ikhsan, C., 2009. Penilaian kondisi jembatan Keduang Pasca Banjir, *Media Teknik Sipil*, IX, 41–56.
- Holey, E.A., Feeley, J.F., Dixon, J., dan Whittaker, V.J., 2007, An exploration of the use of simple statistics to measure consensus and stability in Delphi studies, *BMC Medical Research Methodology*, 7(52), 1–10.
- Marsuki, M., Triwiyono, A., dan Christady, H., 2009, Penilaian kondisi jembatan dengan metode NYSDOT (studi kasus 3 jembatan di Kota Kendari, *Forum Teknik Sipil*, XIX (3), 1000–1008.
- Miyamoto, A., dan Uchino, H., 2008, Development of life-cycle cost based budget allocation system for bridge group, dalam Biondini, F., dan Frangopol, D.M., *Life-cycle cost civil engineering*. London: Taylor & Francis, 843–850.
- Neves, L.C., dan Frangopol, D.M., 2005, Condition, safety and cost profiles for deteriorating structures with emphasis on bridge, *Reliability Engineering and System Safety*, 89(2), 185–198.
- Putra, R., 2015, Pengembangan model penilaian rating kondisi elemen dalam manajemen pengelolaan jembatan, *Tesis*, Sekolah Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
- Saaty, T.L., dan Vargas, L.G., 2013, *Decision Making with the Analytic Network Process*. New York: Springer.
- Safi, M., Sundquist, H., dan Karoumi, R., 2015, Cost-effective procurement of bridge infrastructures by incorporating life-cycle cost analysis with bridge management systems, *Journal of Bridge Engineering*, 20(6), 04014083-1–04014083-12.
- Saydam, D., Frangopol, D.M., dan Dong, Y., 2013, Assessment of risk using bridge element condition ratings, *Journal of Infrastructure Systems*, 19(3), 252–265.
- Suksuwan, N., dan Hadikusumo, B.H.W., 2010, Condition rating system for Thailand's concrete bridges, *Journal of Construction in Developing Countries*, 15(1), 1–27.
- Syuryadi, P.A., 2017, Pengembangan model rating kondisi jembatan berbasis analytical network process dalam sistem manajemen jembatan, *Tesis*, Sekolah Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan

Lampiran 1. Matriks pengaruh elemen jembatan

Mempengaruhi	Dipengaruhi										
	X1				X2			X3			
	X11	X12	X13	X14	X15	X21	X22	X23	X31	X32	X33
X1	X11		■	■	■						
	X12	■		■							
	X13	■	■								
	X14	■									
	X15	■	■		■						
X2	X21	■	■	■	■	■					
	X22	■	■	■	■	■					
	X23	■	■	■	■	■	■	■			
X3	X31						■	■	■		■
	X32						■	■	■		■
	X33	■			■			■	■		■

Keterangan : X1 = bangunan atas, X2 = bangunan bawah, X3 = bangunan penunjang, X11 = lantai, X12 = gelagar, X13 = diafragma, X14 = siar muai, X15 = perletakan, X21 = pilar, X22 = abutmen, X23 = fondasi, X31 = aliran sungai, X32 = bangunan pengaman, X33 = tanah timbunan.

Lampiran 2. Matriks pengaruh kerusakan elemen jembatan

MEMPENGARUHI	Dipengaruhi																																
	Elemen Beton						Siar Muai						Perletakan				Fondasi				Aliran Sungai				Bangunan Pengaman		Tanah Timbunan						
	RTK	KB	KS	BB	PCH	TB	LPB	BT	ST	BL	BH	RPA	TRB	LTS	RMD	DP	AAU	BYH	GRN	BFH	BFR	PF	EL	PS	PKS	AT	PCH	RTK	TL	GRN	PTT		
Elemen Beton	RTK	■			■	■	■																										
	KB				■	■																											
	KS	■	■		■	■																											
	BB	■	■		■	■																											
	PCH	■	■			■																											
	TB	■				■																											
	LPB	■				■		■		■		■		■		■																	
Siar Muai	BT	■			■				■	■		■																					
	ST								■	■																							
	BL	■			■				■	■		■																					
	BH	■			■				■	■																							
Perletakan	RPA								■	■	■	■																					
	TRB																																
	LTS													■		■	■																
	RMD																																
	DP	■				■			■																								
	BYH	■				■			■																								
Fondasi	GRN	■					■																										
	BFH																																
	BFR																																
	PF	■				■		■	■		■		■	■	■	■																	
Aliran Sungai	EL																																
	PS																																
	PKS	■					■																										
	AT																																
Bangunan Pengaman	PCH	■					■																										
	RTK																																
	TL																																
Tanah Timbunan	GRN																																
	PTT	■																															

Keterangan : RTK = retak pada beton, KB = kerontokan beton, KS = beton keropos, BB = beton berongga, PCH = pecah/sebagian elemen beton hilang, TB = tulangan beton berkarat, LPB = perubahan bentuk/lendutan beton, BT = siar muai beda tinggi, ST = sambungan siar muai terisi kotoran, BL = bagian yang longga, BH = bagian yang hilang pada siar muai, RPA = retak pada aspal, TRB = tidak cukup ruang gerak, LTS = landasan tidak sempurna, RMD = retak pada mortar dasar perletakan, DP = deformasi perletakan, AAU = aus akibat umur, BYH = sebagian bahan perletakan hilang, GRN = gerusan fondasi, BFH = sebagian elemen fondasi hilang, BFR = bagian fondasi retak, PF = penurunan fondasi, EL = endapan lumpur, PS = penumpukan sampah, PKS = pengikisan aliran sungai, AT = aliran sungai tertahan, PCH = pecah/sebagian elemen hilang, RTK = retak, TL = tumbunan liar, GRN = gerusan pada tanah timbunan, PTT = penurunan tanah timbunan.

