



**Tesis - No. Kode Tesis**

# MODEL PREDIKSI KESEHATAN STRUKTUR JEMBATAN BERBASIS JARINGAN BAYESIAN

AGUNG BUDI BROTO  
3113203001

DOSEN PEMBIMBING  
Tri Joko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN PROYEK KONSTRUKSI  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016



**Tesis - No. Kode Tesis**

# BRIDGE HEALTH STRUCTURE MODEL PREDICTION BASED BAYESIAN NETWORK

AGUNG BUDI BROTO  
3113203001

SUPERVISOR  
Tri Joko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN PROYEK KONSTRUKSI  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh  
gelar  
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
oleh :  
Agung Budi Broto  
Nrp. 3113203001

Tanggal Ujian : 20 Juni 2016  
Periode Wisuda : 114

Disetujui oleh:

1. *Tri Joko Wahyu Adi, S.T, M.T, Ph.D*  
NIP : 197404202002121003

(Pembimbing)

2. *Ir. I Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D*  
NIP : 196911251999031001

(Penguji)

3. *Christiono Utomo, S.T, M.T, Ph.D*  
NIP: 132303087

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,



*Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D*  
NIP. 19601202 1987011001

# MODEL PREDIKSI KESEHATAN STRUKTUR JEMBATAN BERBASIS BAYESIAN NETWORK

Nama Mahasiswa : Agung Budi Broto  
NRP : 3113203001  
Dosen Pembimbing : Tri Joko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D

## ABSTRAK

Untuk mencapai hasil prediksi kesehatan yang akurat, sejumlah faktor kerusakan yang berbeda harus dipertimbangkan, namun pendekatan prediksi kesehatan jembatan saat ini tidak dapat bertindak sebagai platform integrasi, maka untuk mengeliminasi masalah ini, penelitian ini diusulkan, yaitu Model prediksi kesehatan struktur jembatan berbasis Bayesian Belief Network (BBN). BBN adalah alat yang efisien untuk menangani inter dependensi kompleks dalam elemen sistem rekayasa. Dua bentuk data diperlukan yaitu: (a) data probabilitas dari jenis dan besarnya cacat pada elemen dasar, digunakan data laporan inspeksi 21 jembatan beton bertulang dan prestress terpilih dari Negara Minesota, USA. (b) data probabilitas pengaruh kerusakan antar elemen, dari elemen dasar hingga ke tingkat struktur jembatan global menurut ahli (menggunakan dua penelitian yang terdahulu). Untuk mengatasi masalah keterbatasan data (hilang atau kurang) dalam proses pembelajaran parameter, maka digunakan kombinasi keputusan ahli dan metode Ekspektasi-Maksimalisasi (EM). Data laporan inspeksi dari 20 jembatan sebagai input probabilitas kerusakan penetapan kondisi elemen dasar, sedangkan dua data dari dua hasil penelitian terdahulu digunakan sebagai data probabilitas pengaruh kerusakan dari elemen dasar sampai ke struktur jembatan global. Jembatan Coon, digunakan sebagai studi kasus untuk memvalidasi model. Hasil validasi dari model yang diusulkan adalah ditingkat komponen jembatan, penilaian prediksi kesehatannya 100% sama dengan nilai prediksi yang ditetapkan ahli. Pada tingkat struktur jembatan global 97% - 100% sama dengan ketetapan ahli. Model yang diusulkan dapat melacak kebelakang untuk mencari tahu penyebab utama/kritis dari kerusakan komponen/elemen jembatan, sehingga memudahkan manajer dalam pengelolaan jembatan berkaitan dengan perawatan, perbaikan, atau penggantian struktur jembatan.

**Kata kunci :** *Kesehatan struktur, Bayesian Network, Jembatan*

# **BRIDGE HEALTH STRUCTURE MODEL PREDICTION BASED BAYESIAN NETWORK**

By : Agung Budi Broto  
Student Identity Number : 3113203001  
Supervisor : Tri Joko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D

## **ABSTRACT**

To achieve predicted results accurate health, a number of factors different defects should be considered, but the approach to the prediction of health bridge not currently able to act as an integration platform, to eliminate this problem, the research proposed, namely the prediction model health bridge structures based on Bayesian Belief Network (BBN). BBN is an efficient tool for handling complex inter-dependencies in the engineering system elements. Two forms of data required, namely: (a) the data probability of the type and magnitude of defects in the basic elements, used the data of inspection reports 21 reinforced concrete bridges and prestress elected from Minnesota State, USA. (B) the probability of data elements from damaging influences, from basic elements to the global level bridge structures according to the expert (using the two previous studies.). To overcome the problem of limited data (missing or less) in the learning process parameter, then use a combination of expert judgment and methods Expectation-Maximization (EM). Data from the 20 bridge inspection reports as input probability of damage to the determination of the conditions of the basic elements, while the two data from two previous research used as the data influence the probability of damage to the basic elements of the bridge structure globally. Coon bridge, is used as a case study to validate the models. The results of the validation of the proposed model is level bridge components, predictive health assessment equal to 100% predictive value assigned expert. At the global level bridge structures 97% - 100% the same as the provision of experts. The proposed model can track backward to figure out the cause of major / critical damage to components / elements of the bridge, making it easier for managers to bridge the management with regard to maintenance, repair, or replacement of the bridge structure.

Keywords: *Structural Health, Bayesian Network, Bridges*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Batasan Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penelitian.....	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....	7
2.1 Pengelolaan Jembatan .....	7
2.1.1 Definisi .....	7
2.1.1.1 Model .....	7
2.1.1.2 Kinerja .....	7
2.1.1.3 Kesehatan .....	8
2.1.2 Pemeriksaan Element Jembatan .....	9
2.1.3 Evaluasi Kondisi jembatan .....	9
2.1.4 Hirarki komponen dan elemen jembatan beton dalam NBEs - MBEs. ....	10
2.2 Jaringan Bayesian ( <i>Bayesian Network</i> ).....	12
2.2.1 Pendahuluan .....	12
2.2.2 Tabel Probabilitas Bersyarat (Condition Probability Tables = CPTs) .....	14
2.2.3 Validasi BNS.....	15
2.3 Perangkat lunak Jaringan Bayesian .....	15
2.4 Studi Literatur penelitian terdahulu. ....	17
2.4.1 Studi literature penelitian terdahulu tentang memprediksi kerusakan/ kesehatan Jembatan. ....	17
2.4.2 Pemetaan Konseptual Penelitian .....	25

BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1	Tahapan – tahapan dalam penelitian.....	29
3.1.1	Identifikasi permasalahan dan penetapan tujuan.....	30
3.1.2	Studi Literatur.....	31
3.1.3	Pengumpulan Data.....	32
3.1.4	Pemodelan BBN untuk jembatan beton bertulang .....	35
3.1.4.1	Mengidentifikasi variabel dan Penetapan kondisi elemen	35
3.1.4.2	parameter jaringan dengan menentukan Tabel Probabilitas Bersyarat (CPT) yang terkait dengan setiap node.	36
3.1.4.3	Melakukan algoritma inferensi	40
3.1.5	Verifikasi.....	40
3.1.6	Validasi.....	41
BAB 4	STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN .....	43
4.1	Simulasi prediksi penilaian kondisi jembatan beton bertulang .....	43
4.1.1	Pengembangan model BBNs untuk penilaian kondisi .....	43
4.1.1.1	Mengidentifikasi variabel dan Penetapan kondisi elemen.	43
4.1.1.2	Menarik hubungan antara variabel dalam jaringan.	44
4.1.1.3	Estimasi CPTs untuk model BBN dari jembatan beton bertulang	47
4.1.2	Hasil Prediksi penilaian kondisi dari Model BBN jembatan beton.....	50
4.1.3	Verifikasi dan validasi model BBN jembatan beton bertulang.....	51
4.1.4	Ringkasan.....	55
4.2	Validasi : Studi Kasus .....	55
4.2.1	Identifikasi variabel dan penetapan kondisi jembatan <i>Coon Rapid Blvd</i> .	56
4.2.2	Hubungan antara variabel dalam jaringan .....	59
4.2.3	Estimasi parameter (Menentukan <i>Condition Probability Tables /CPT</i> ) ...	60
4.2.4	Hasil Prediksi penilaian kondisi dari Model BBN jembatan beton.....	61
4.3	Hasil dan pembahasan.....	62
4.3.1	Evaluasi kondisi kesehatan jembatan berdasarkan Panduan Penilaian kondisi jembatan. ....	63
4.3.2	Manfaat BBN model yang diusulkan. ....	66
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	.....	71
LAMPIRAN	.....	79

## DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Panduan Penilaian Kondisi Jembatan Beton Bertulang .....	11
Tabel 2-2 Rangkuman Penelitian terdahulu tentang kesehatan jembatan.....	27
Tabel 3-1 Probabilitas elemen utama jembatan.....	33
Tabel 3-2 Probabilitas elemen dasar, diperoleh dari wawancara .....	34
Tabel 3-3 Penetapan kondisi elemen dasar rata-rata jembatan beton di Minnesota.....	37
Tabel 3-4 Penetapan kondisi elemen dasar rata-rata jembatan beton di Minnesota refisi elemen.....	38
Tabel 3-5 Bobot elemen dari setiap elemen dasar .....	39
Tabel 3-6 Bobot komponen dari setiap elemen jembatan .....	40
Tabel 3-7 Panduan penilaian Kondisi Jembatan - ahli.....	41
Tabel 3-8 Penilaian CS komponen - model .....	42
Tabel 4-1 Bobot struktur dari setiap komponen jembatan .....	48
Tabel 4-2 CPT untuk material dek.....	50
Tabel 4-3 Komponen dan Elemen Jembatan Coon .....	57
Tabel 4-4 Kondisi elemen Jembatan Coon dan Jembatan Model .....	58
Tabel 4-5 Data penetapan kondisi untuk elemen dasar jembatan Coon. ....	59
Tabel 4-6 Bobot elemen dasar untuk pilar tidak dipengaruhi pondasi .....	60
Tabel 4-7 Rangkuman prediksi penilaian kondisi jembatan Coon.....	63
Tabel 4-8 Analisa Model prediksi kesehatan struktur jembatan Coon dengan skenario A .....	64
Tabel 4-9 Analisa Model prediksi kesehatan struktur jembatan Coon dengan skenario B .....	65



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Data Kondisi Jembatan di Indonesia .....	1
Gambar 2-1 Penilaian kondisi komponen dan elemen jembatan . .....	10
Gambar 2-2 Sebuah BN sederhana yang terdiri dari tiga variabel .....	13
Gambar 2-3 Tampilan awal Aplikasi GeNIe 2.....	16
Gambar 2-4 Fault Tree.....	18
Gambar 2-5 Deterioration Jembatan Beton dengan Jaringan Beyesian.....	20
Gambar 2-6 Model dependensi kegagalan DOOBN. ....	21
Gambar 2-7 Realiabiliti tegangan geser struktur girder baja dengan DOOBN.....	22
Gambar 2-8 Model DBNs untuk girder utama jembatan baja.....	23
Gambar 2-9 BBN untuk jembatan pelengkung pasangan batu. ....	24
Gambar 2-10 Posisi Penelitian yang dilakukan.....	26
Gambar 3-1 Model BBN Prediksi kesehatan struktur jembatan yang diusulkan..	30
Gambar 3-2 Diagram arus metodologi penelitian.....	31
Gambar 3-3 Tampak Samping Jembatan Girder Beton Bertulang.....	32
Gambar 3-4 Potongan melintang Jembatan Girder Beton Bertulang .....	32
Gambar 4-1 Tampilan muka GeNIe .....	44
Gambar 4-2 BNN model (a) Material Dek, (b) Sambungan Dek, (c) Utilitas Dek .....	45
Gambar 4-3 BNN model Dek beton .....	45
Gambar 4-4 BNN model (a) Material girder, (b) Bearing .....	45
Gambar 4-5 BBNs model Superstruktur .....	46
Gambar 4-6 BBNs model (a) Abutmen dan (b) Pilar .....	46
Gambar 4-7 BBN Model Substruktur .....	46
Gambar 4-8 Sistem Keseluruhan BBN Model Jembatan beton bertulang.....	47
Gambar 4-9 Hasil prediksi penilain kondisi jembatan dengan 3 penetapan kondisi dan input kondisi setiap state sama .....	51
Gambar 4-10 Model BBN menggunakan skenario “Bagaiman jika ..”.....	52

Gambar 4-11 Model BBN dalam tampilan sensitivitas dan tingkat pengaruh elemen orang tua. ....	54
Gambar 4-12 Model BBN bagaimana jika elemen KS_Retak dek 100% jelek, dan dampaknya terhadap Dek Beton.....	54
Gambar 4-13. Model BBN bagaimana jika elemen KS_SambunganT 100% jelek, dan dampaknya terhadap Dek Beton .....	55
Gambar 4-14 Jembatan 02522 - COON RAPIDS BLVD overes NB EAST RIVER, Anoka-Minnesota.....	56
Gambar 4-15 BBN kondisi pilar, (a) skenario A dan (b) skenario B .....	60
Gambar 4-16 Hasil Prediksi penilaian kondisi jembatan model BBN– skenario A, pilar dipengaruhi oleh pondasi .....	61
Gambar 4-17 Hasil Prediksi penilaian kondisi jembatan model BBN– skenario B, pilar tanpa dipengaruhi oleh pondasi .....	62
Gambar 4-18 Penerapan skenario “bagaiman jika” untuk perbaikan kondisi struktur jembatan Coon.....	67
Gambar 5-1 Hasil prediksi penilain kondisi jembatan dengan 4 penetapan kondisi dan input kondisi setiap state sama .....	109
Gambar 5-2 Hasil prediksi penilain kondisi jembatan dengan 3 penetapan kondisi dan input penetapan kondisi rata-rata hasil laporan MnDoT 2015.....	109
Gambar 5-3 Hasil prediksi penilain kondisi jembatan dengan 4 penetapan kondisi dan input penetapan kondisi rata-rata hasil laporan MnDoT 2015.....	110

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4-1. Nilai inferen hasil pembelajaran parameter CPT dari kombinasi Expert dengan EM dan kombinasi Expert dengan Monte Carlo .....	49
Grafik 4-2. Perbandingan hasil inferen Model BBN menggunakan data pembelajaran dengan CS sama di setiap state (3 kondisi setiap state-Data L-3), CS berdasarkan hasil laporan MnDoT (Data R-3), dan 4 CS dalam setiap state dengan data input CS laporan MnDoT (Data R-4).....	52
Grafik 4-3 Penilaian Penetapan kondisi Kesehatan Jembatan Coon .....	66

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hirarki komponen dan elemen jembatan serta jenis cacat .....	79
Lampiran 2.	Tabel Data Mentah Laporan Inspeksi MnDoT .....	81
Lampiran 3	Tabel Data Tahun dibangun-di periksa dan panjang bentang .....	93
Lampiran 4	Tabel Tingkat kepentingan elemen dasar terhadap jembatan.....	94
Lampiran 5	Rangkuman pernyataan Kondisi elemen dasar Jembatan (20 sampel).....	95
Lampiran 6	Tabel kondisi probabilitas (CPT) Jembatan Coon .....	96
Lampiran 7	Prediksi penilaian kondisi jembatan.....	109

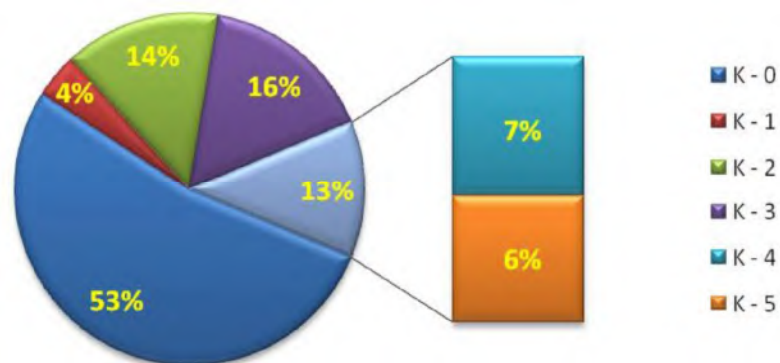
# BAB 1

## PENDAHULUAN

Pada bab ini memberikan pembahasan singkat tentang latar belakang keadaan penerapan inspeksi jembatan dan manajemen jembatan saat ini. Selain itu, bab ini menjelaskan pernyataan masalah bersama dengan pertanyaan penelitian yang sesuai, dan diakhiri dengan motivasi serta tujuan dari penelitian ini.

### 1.1 Latar Belakang

Jembatan penting karena mereka menyediakan penyeberangan di lokasi di mana jalur alternatif akan mengakibatkan ketidaknyamanan bagi pengguna, berpotensi menambah waktu perjalanan dan biaya. Pembangunan jembatan harus diikuti oleh pengelolaan jembatan yang baik seperti: perawatan, perbaikan dan penggantian komponen jembatan. Laporan pemeriksaan kesehatan jembatan secara berkala akan membantu pengelola jembatan dalam membuat keputusan pengelolaan jembatan. Sebagai contoh pada Gambar 1-1, dari 318 jembatan yang ada di Indonesia, sebesar 52,8% jembatan dalam keadaan baru (K=0), 18,6% jembatan dengan kondisi kerusakan kecil (K=1) hingga memerlukan perawatan di waktu mendatang (K=2), dan sebesar 28,6% jembatan dalam kondisi perbaikan secepatnya (K=3) sampai kondisi kritis (K=4 dan K=5). (DJ, 2015)



Sumber: DJ (2015).

Gambar 1-1 Data Kondisi Jembatan di Indonesia

Akurasi dan keandalan laporan inspeksi jembatan menjadi masalah khusus yang dihasilkan dari perdebatan ketika lembaga mengadopsi cara baru dalam memeriksa dan saat melaporkan kondisi struktural jembatan. Selain itu, laporan ini mencatat kurangnya pemahaman tentang apa artinya ketika sebuah jembatan diklasifikasikan sebagai struktural kurang atau fungsional usang dan bagaimana yang berhubungan dengan keselamatan perjalanan masyarakat (Markow & Hyman, 2009)

Sistem Manajemen Jembatan (*Bridge Management System*) selanjutnya disebut BMS adalah penting untuk membantu otoritas jembatan dengan proses pengambilan keputusan yang kompleks dalam strategi pemeliharaan, perbaikan dan rehabilitasi yang optimal, untuk meningkatkan dan mempertahankan status kesehatan dari jaringan jembatan dengan optimal. BMS menyediakan analisis prediksi yang efektif dalam hal penilaian kondisi dan tingkat kerusakan jembatan, serta pengambilan keputusan tentang penganggaran untuk pemeliharaan dan strategi pemeliharaan mendatang yang optimal (Bu, Lee, Guan, Blumenstein, & Loo, 2012). Menurut Morcous,(2006), pendekatan yang digunakan dalam pemodelan kerusakan jembatan dapat dikategorikan sebagai mekanik, deterministik, stochastic (*Markov chain*) dan model kecerdasan buatan. Menurut indeks kesehatan jembatan, pendekatan saat ini dapat diklasifikasikan menjadi: berdasarkan peringkat kondisi (penetapan kondisi) dan berdasarkan kehandalan struktur. Model rantai Markov adalah yang paling umum digunakan oleh BMS (Basak-AB, 2011).

Penelitian yang membahas model prediksi kerusakan atau kesehatan jembatan telah banyak dikembangkan. Model *Fault Tree* digunakan oleh LeBeau, (2000) yang berpendapat bahwa elemen dasar jembatan berkontribusi dalam terhadap kerusakan jembatan, sedangkan Yanef Bojidar,(2003)mengembangkan hubungan antara penurunan tingkat komponen jembatan terhadap waktu dan operasi pemeliharaan. Model Indeks Kesehatan Jembatan untuk menilai kesehatan jembatan diteliti oleh (Shepard & Johnson, 2001) dan (Rashidi & Gibson, 2011) dengan menggunakan metode OSCI (*overall structural condition index*). Model kecerdasan buatan seperti *Expert Function* telah diterapkan oleh (Bien, 1999) dalam pengembangan sistem manajemen jembatan Kereta Api, Metode Jaringan

Bayesian (*Bayesian Network = BN*) mulai diterapkan dalam manajemen jembatan sejak tahun 2006, yaitu: Attoh-Okine & Bowers (2006) menerapkan pemodelan kerusakan jembatan beton sampai ke elemen utama, Wang R. M., (2010) menggunakan *Dynamic Object Oriented Bayesian Network (DOOBN)* untuk menilai kesehatan jembatan berdasarkan penilaian kondisi dan berdasarkan kehandalan jembatan untuk jembatan baja, serta menggunakan metode *Dynamic Bayesian Network (DBN)* untuk memprediksi kondisi jembatan pada tingkat elemen jembatan baja. Metode DBN juga digunakan oleh (Rafiq, Chryssanthopoulos, & Sathananthan, 2014) pada jembatan batu pelengkung kereta Api; Ma, Wang, Zhang, Xiang, & Liu (2013) untuk degradasi dek jembatan dan Tien (2014) untuk pemodelan penilaian kehandalan sistem infrastruktur.

Penggunaan metode Jaringan Bayesian terlihat lebih baik penerapannya dalam sistem manajemen jembatan karena beberapa kelebihanannya seperti dalam lingkungan di mana informasi tentang sistem berkembang dan seringkali tidak pasti, BN mampu mengatasi pembaruan jaringan ketika informasi baru tersedia, dan menangani informasi probabilistik untuk mendukung membuat keputusan rekayasa dalam kondisi ketidakpastian (Tien, 2014). Dibidang pengobatan, Jaringan Bayesian sangat populer, karena kemampuan properti dari BN untuk menggabungkan pengetahuan ahli dan data pasien dalam menangani ketidakpastian yang terlibat dalam menentukan diagnosis, memilih pengobatan yang optimal dan memprediksi hasil pengobatan (Alharbi, 2014).

Permasalahan yang diprediksi akan timbul dalam menentukan model kesehatan jembatan adalah: (a) pada penelitian sebelumnya prediksi kesehatan jembatan hanya dilihat dari sebahagian struktur jembatan (hanya pada komponen jembatan atau hanya pada elemen jembatan, dan atau ditinjau hanya dari jenis cacat), (b) terkendala ketersediaan data untuk menentukan nilai probabilistik penetapan kondisi elemen, probabilistik pengaruh elemen terhadap komponen dan probabilistik pengaruh komponen terhadap struktur jembatan secara menyeluruh (global), (c) salah satu keterbatasan utama dari kerangka BN, bagaimanapun, adalah ukuran dan kompleksitas sistem yang dapat *tractably* dimodelkan sebagai BN, (d) prediksi kesehatan dari model-model tersebut mengasumsikan faktor-faktor yang mempengaruhi kesehatan struktur bekerja

secara independen, padahal faktor-faktor tersebut saling berhubungan atau berkorelasi dengan kondisi berubah dari waktu ke waktu, (e) kemampuan untuk menentukan penyebab kerusakan jembatan yang paling utama, sehingga dapat membantu membuat keputusan manajemen dalam pengelolaan jembatan, (f) kemampuan model untuk dapat menentukan satu nilai kesehatan jembatan yang yang digunakan dalam BMS yaitu standar *National Bridge Inspection* (NBI).

Dari permasalahan sementara yang dapat diprediksi di atas, maka timbul pertanyaan metode apa yang dapat menjawab semua tantangan dan masalah dalam memprediksi kesehatan struktur jembatan. Model prediksi kesehatan yang paling memungkinkan dapat menjawab permasalahan ini adalah: model yang berbasis jaringan Bayesian, terlepas dari kekurangan metode BN. Untuk mengetahui kebenaran dari hipotesis ini, maka perlu dilakukan suatu penelitian. Dalam penelitian harus dapat dianalisa tingkat akurasi penilaian prediksi dari model dibandingkan dengan standar penilaian yang berlaku (dalam hal ini bisa menggunakan penilaian dari ahli) dan dapat membantu membuat keputusan bagi manajer pengelola jembatan dalam hal perawatan, perbaikan dan penggantian komponen jembatan.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, maka permasalahan dalam penelitian ini adalah :

Seberapa akurat model prediksi kesehatan jembatan berbasis Bayesian Network dapat memprediksi kondisi kesehatan struktur jembatan, sehingga dapat membantu manajer jembatan dalam membuat keputusan pengelolaan jembatan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

Menganalisis akurasi model prediksi kesehatan jembatan berbasis Bayesian Network dapat memprediksi kondisi kesehatan struktur jembatan, sehingga dapat membantu manajer jembatan dalam membuat keputusan pengelolaan jembatan.



#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ilmiah ini adalah:

1. Manfaat keilmuan

Menambah wawasan konsep penerapan metode Bayesian dalam manajemen struktur jembatan, dan Memberikan landasan untuk pengembangan penelitian lanjutan dimasa yang akan datang.

2. Manfaat praktis.

Terdapatnya alternative pilihan alat bantu yang dapat digunakan secara cepat bagi pengguna akhir dalam penilaian prediksi kesehatan struktur jembatan.

#### **1.5 Batasan Penelitian**

Proses kategorisasi digunakan untuk kelompok serupa elemen/komponen bersama-sama, dengan demikian mengidentifikasi pola kerusakan umum. Jaringan jembatan yang dipilih dikategorikan menurut lokasi, jenis komponen, jenis material, volume lalu lintas dan waktu pembangunan (Bu, Lee, Guan, Blumenstein, & Loo, 2012), maka batasan dalam penelitian ini yaitu:

1. Lokasi yang digunakan adalah Negara Bagian Minesota, USA.
2. Jenis material dan komponen adalah jembatan beton bertulang/prategang
3. Untuk keseragaman bentuk struktur jembatan, maka dipilih jembatan yang memiliki 4 bentang utama, dengan panjang bentang total minimum 75 m.
4. Jembatan dibangun antara tahun 1970 sampai 1980
5. Standar evaluasi penilaian kondisi menggunakan AASHTO 2011.

#### **1.6 Sistematika Penelitian**

Penelitian ini disusun dengan urutan sebagai berikut:

Bab 1 menjelaskan latarbelakang, permasalahan, tujuan dan batasan masalah dari penelitian/thesis ini.

Bab 2 berisi pembahasan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu yang berhubungan dan diperlukan dalam pengembangan pemodelan ini, seperti kerusakan pada jembatan beton, metode Bayesian, serta dasar teori.

Bab 3 berisikan metodologi penelitian yang dimulai dari pengembangan model BBN, simulasi dan verifikasi serta validasi model dengan menggunakan data sembarang yang ditentukan dan data sampel penetapan kondisi elemen jembatan yang di ambil dari MnDOT.

Sedangkan pada bab 4 membahas studi kasus dengan mempergunakan data jembatan Coon Rapids BLVD, daerah Nacota, Minnesota, untuk mengetahui apakah model BBN yang diusulkan dapat diterapkan dan menjelaskan kelebihan model BBN ini dibandingkan dengan metode tradisional, evaluasi secara subyektif.

Dan pada bab 5 akan menyimpulkan hasil pemodelan BBN ini, serta saran berkaitan penelitian selanjutnya.

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

Pada bab ini menyajikan kajian literatur yang komprehensif tentang praktek saat inspeksi jembatan, metodologi manajemen jembatan, perangkat lunak yang digunakan, dan literatur lainnya yang berkaitan dengan penelitian ini serta posisi penelitian yang dilakukan.

#### **2.1 Pengelolaan Jembatan**

Untuk memudahkan pengertian dan pemahaman tentang penelitian ini, akan dijelaskan definisi dan pengertian dasar dalam pengelolaan jembatan pada umumnya, dan kesehatan struktur jembatan yang sering digunakan.

##### **2.1.1 Definisi**

###### **2.1.1.1 Model**

Pemodelan adalah proses memproduksi model; Model adalah representasi dari konstruksi dan kerja beberapa sistem bunga. Sebuah model mirip sistem yang diwakilinya, tapi lebih sederhana. Salah satu tujuan dari model adalah untuk memungkinkan analisis untuk memprediksi dampak perubahan ke sistem. Di satu sisi, model harus menjadi pendekatan dekat dengan sistem nyata dan menggabungkan sebagian besar fitur yang menonjol. Di sisi lain, seharusnya tidak begitu kompleks sehingga tidak mungkin untuk memahami dan bereksperimen dengan itu. Sebuah model yang baik adalah kompromi kebijakan antara kenyataan dan kesederhanaan. (Maria, 1997)

###### **2.1.1.2 Kinerja**

Definisi kinerja dapat diambil dalam kamus bahasa Indonesia yang diartikan sebagai sesuatu yang dicapai, prestasi yang diperlihatkan dari kemampuan kerja (Sugono, 2008). Pada umumnya sistem dirancang dan dibangun oleh insinyur sipil, berbasis pengetahuan heuristik yang terdiri dari kode

standar dan spesifikasi telah dikaitkan dengan ekspektasi kinerja minimum tertentu. Isu penting yang terkait dengan definisi kinerja menurut (Aktan & F. Necati Catbas, 2002) adalah perumusan tujuan, kriteria kuantitatif untuk setiap batas kejadian, menentukan pengujian yang sesuai, pengukuran dan metode simulasi untuk jaminan bahwa batas kinerja yang diinginkan diharapkan tidak akan melebihi dalam batas-kejadian selama siklus hidup jembatan.

### **2.1.1.3 Kesehatan**

Menurut kamus bahasa Indonesia definisi kesehatan adalah kondisi baik seluruh badan serta bagian-bagiannya (bebas dari sakit). (Sugono, 2008). Insinyur Jembatan menggunakan berbagai indeks untuk mendefinisikan kesehatan tergantung pada tujuan, seperti faktor keamanan, peringkat kondisi, nilai beban kapasitas, indeks kecukupan, dan, perbandingan kapasitas permintaan minimum. Tujuan utama untuk mengevaluasi kesehatan adalah prognosis kinerja masa depan. (Aktan & F. Necati Catbas, 2002).

Sesuai dengan pedoman dan persyaratan yang digariskan oleh American Association of State Highway Transportation Officer (AASHTO), sebuah sistem manajemen jembatan (*Bridge Management System*) selanjutnya disingkat BMS harus mencakup lima komponen dasar, yaitu: database, model biaya, model kerusakan jembatan untuk prediksi kinerja kesehatan, model optimasi untuk analisis dan memperbarui fungsi. (AASHTO, 2010). Dalam BMS, model kerusakan jembatan sangat penting sebagai kemampuan mereka untuk meramalkan kinerja kesehatan jembatan. Prediksi kesehatan Jembatan telah menjadi pondasi ilmu penting untuk optimasi pemeliharaan jembatan yang efektif dengan alasan sebagai berikut: (1) karena sejumlah besar jembatan diidentifikasi sebagai struktural usang atau fungsional usang, dan telah melayani di luar/melampaui umur rencana, sehingga prediksi kesehatan yang akurat secara signifikan memastikan jembatan ini aman dan dapat diandalkan; (2) prediksi kesehatan jembatan memberikan informasi terbaik tentang kerusakan jembatan untuk membantu pengambilan keputusan tentang pemeliharaan jembatan; (3) pengelolaan jembatan bertanggung jawab secara ekonomi, aman, siklus hidup

tergantung pada prediksi kesehatan jembatan yang akurat dari waktu ke waktu. (Aktan & F. Necati Catbas, 2002).

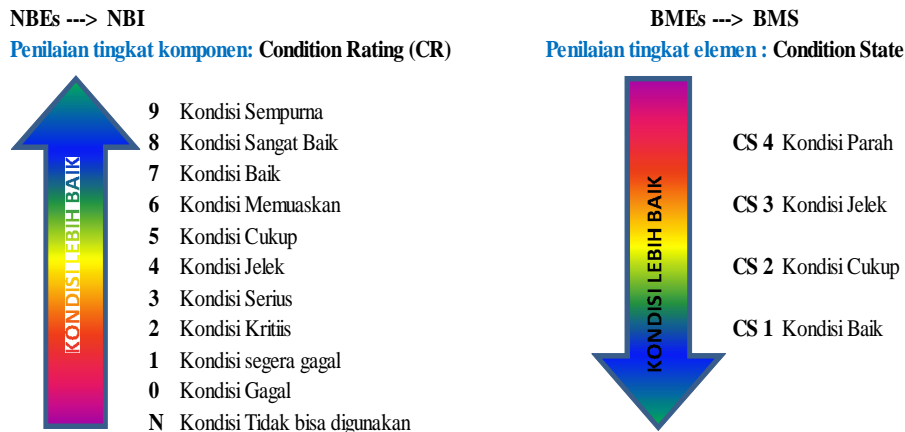
### **2.1.2 Pemeriksaan Element Jembatan**

Dalam AASHTO, (2010), tentang Pedoman Inspeksi Elemen Jembatan ini memberikan seperangkat elemen jembatan yang dirancang untuk menjadi fleksibel di alam untuk memenuhi kebutuhan semua instansi. Satu set unsur lengkap menangkap komponen yang diperlukan untuk agen untuk mengelola semua aspek dari persediaan jembatan memanfaatkan kemampuan penuh dari Sistem Manajemen Jembatan (BMS). Elemen set disajikan dalam mencakup dua jenis elemen yang diidentifikasi sebagai National Jembatan Elements (NBE) atau Jembatan Manajemen Elemen (BME). Kombinasi dari dua jenis unsur tersebut terdiri penuh AASHTO elemen set. Semua elemen, apakah mereka NBE atau BME, memiliki persyaratan umum yang sama, yaitu: (1). jumlah standar pernyataan kondisi (*Condition State* = CS), (2). Jumlah standar pernyataan kondisi terdiri dari deskripsi umum, yaitu bagus (CS=1), cukup (CS=2), buruk (CS=3) dan parah (CS=4). (Matthew M. Farrar, 2014).

Untuk tujuan tidak merubah sistem yang telah berjalan, maka penilaian elemen untuk NBEs ditujukan untuk elemen utama (dek, superstruktur, substruktur) dengan menggunakan skala 9 untuk kondisi baru sampai skala 0 untuk kondisi tidak dapat digunakan. Lihat Gambar 2.1. (Garcia, 2013)

### **2.1.3 Evaluasi Kondisi jembatan**

Untuk mengevaluasi kondisi jembatan, digunakan pengukuran kinerja. Pengukuran Kinerja yang berbeda untuk BMS meliputi; *Condition Rating* – CR (Peringkat kondisi), *Condition Index* – CI (Indeks kondisi), *Suffusion Rating* – SR (Peringkat Kecukupan), *Health Index* – HI (Index Kesehatan), *National Bridge Inventories Ranking* - NBI (Peringkat Inventarisasi Jembatan Nasional), *Vulnerability Rating* –VR (Kerentanan Peringkat), dan *load rating* – LR (Peringkat beban), (FHWA, 2012) dan (AASHTO, Manual for condition evaluation of Bridges, 1994)



(Sumber: Garcia, (2013))

Gambar 2-1 Penilaian kondisi komponen dan elemen jembatan .

Selain Peringkat kondisi NBI umum, untuk komponen jembatan, mayoritas negara bagian juga telah mengumpulkan data inspeksi elemen jembatan. Data elemen jembatan bisa sangat berperan dalam pelaksanaan berbagai aspek strategi manajemen jembatan termasuk pelestarian jembatan (Anwar S. Ahmad, 2011).

Ohio-DoT, (2014) dalam mengevaluasi kondisi komponen jembatan, penilaian kondisi material dari pernyataan kondisi (CS) di korelasikan ke peringkat kondisi (CR), selanjutnya membagi menjadi tujuh jenis bahan meliputi: Beton Bertulang, memakai pelindung, struktur baja, beton pratekan, kayu, masonry & stabilisasi tanah mekanis. Penetapan korelasi peringkat kondisi 0-9 untuk komponen jembatan menjadi nilai 1-4, dimana nilai 1 untuk baik dan nilai 4 untuk rusak dapat dilihat pada tabel 2.1.

#### 2.1.4 Hirarki komponen dan elemen jembatan beton dalam NBEs - MBEs.

NBEs mewakili struktural utama komponen jembatan yang diperlukan untuk mengetahui kondisi secara keseluruhan dan keselamatan yang membawa beban utama anggota. NBEs merupakan penyempurnaan dari dek, suprastruktur, substruktur, dan peringkat kondisi gorong-gorong yang didefinisikan dalam *Recording and Coding Guide NBI*. (Garcia, 2013) dan (AASHTO, 2010). Komponen jembatan BMEs termasuk seperti sendi, memakai permukaan, dan sistem lapisan pelindung dan sistem dek atau perlindungan

slab biasanya dikelola oleh lembaga memanfaatkan BMS. BMEs didefinisikan dengan satu set penilaian kondisi yang dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan instansi. Kondisi elemen ini tidak dimaksudkan untuk tujuan pembuatan kebijakan nasional. (AASHTO, 2010).

Tabel 2-1 Panduan Penilaian Kondisi Jembatan Beton Bertulang

<b>Condition Rating Guide</b>		
<b>1-4 Individual Component</b>	<b>9-0 NBIS Summary</b>	
<b>1 = Baik</b>	<b>9</b>	Kondisi Sempurna Tidak ada catatan masalah: tidak ada bagian yang hilang, kerusakan umum
	<b>8</b>	Kondisi Sangat Baik
	<b>7</b>	Kondisi Baik Beberapa masalah kecil (ex. Luasnya kerusakan beton sampai dengan 1% spalling atau sampai dengan saturasi 5%)
<b>2 = Cukup</b>	<b>6</b>	Kondisi Memuaskan Elemen struktur menunjukkan beberapa kerusakan kecil (ex. luasnya kerusakan beton hingga 5% spalling atau sampai dengan saturasi 10%)
	<b>5</b>	Kondisi Cukup elemen struktur menunjukkan penurunan namun suara (ex. luasnya kerusakan beton hingga 10% spalling atau sampai dengan 20% saturasi)
<b>3 = Rusak</b>	<b>4</b>	Kondisi Jelek Lanjutan * (ex. Luasnya kerusakan beton lebih dari 10% spalling atau% saturasi lebih dari 20). Biasanya jalur beban tampaknya akan terpengaruh untuk anggota primer atau ada perubahan struktural jelas karena kondisi as-built yang maju.
	<b>3</b>	Kondisi Serius 4- buruk. . . Dan mungkin kegagalan lokal
<b>4 = Gagal</b>	<b>2</b>	Kondisi Kritis 3-Berat. . . Dan Kecuali dimonitor mungkin perlu untuk menutup jembatan sampai tindakan korektif diambil
	<b>1</b>	Kondisi segera gagal 2-Kritis. . . Dan kerusakan besar yang mempengaruhi stabilitas. Jembatan atau jalur (s) akan ditutup untuk lalu lintas tetapi tindakan korektif dapat dimasukkan jembatan kembali ke layanan ringan.
	<b>0</b>	Kondisi Gagal, Kondisi Tidak bisa digunakan 1- Kegagalan Imm. . . Dan Keluar dari pelayanan yang melebihi tindakan korektif.

Sumber : (Ohio DoT, 2014)

Cacat merupakan konsep penting untuk pemodelan elemen kerusakan dan rekomendasi tindakan layak di BMS. Cacat dapat direkam pada elemen

jembatan untuk mengidentifikasi dan mengendalikan kuantitas cacat pada pernyataan kondisi tertentu. Cacat yang terjadi pada elemen merupakan gejala dari kerusakan elemen jembatan. Bila tidak dilakukan tindakan perbaikan akan mempengaruhi kerusakan komponen jembatan, dan pada akhirnya akan mempengaruhi kondisi kinerja atau kesehatan jembatan. (MnDOT, 2015)

## **2.2 Jaringan Bayesian (*Bayesian Network*)**

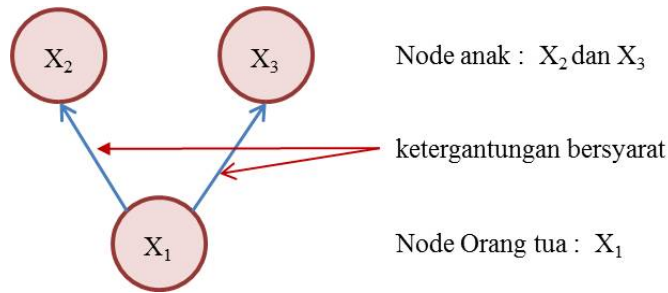
### **2.2.1 Pendahuluan**

Menurut Jensen & Nielsen, ( 2007), *Bayesian Belief Network* (BBN) adalah sebuah model probabilistik yang dinyatakan dalam bentuk *Directed Acyclic Graph* (DAG) untuk menunjukkan hubungan probabilitas antar peristiwa (*event*) yang terjadi. Sebagaimana dinyatakan dalam DAG, maka *node* dalam BBN menunjukkan variabel pada suatu *domain*, dan anak panah menunjukkan hubungan ketergantungan antara variabel tersebut.

Wang R., (2012) mengilustrasikan contoh sederhana dari BN. (lihat Gambar 3-1). Setiap node merupakan distribusi probabilitas dari variabel, yang pada prinsipnya tetap atau terus menerus pernyataan diskrit. Node  $X_2$  dan  $X_3$  dengan panah diarahkan dari node lain disebut node anak. Mereka memiliki induk simpul  $X_1$  yang sama. Node tanpa panah diarahkan kepada mereka disebut node *root*. Panah antara dua node  $X_1$  dan  $X_2$  menunjukkan ketergantungan bersyarat antara dua variabel. Hubungan ketergantungan yang diwakili oleh satu set distribusi probabilitas bersyarat (CPDs) atau Tabel probabilitas bersyarat (CPT).

Misalnya, probabilitas  $X_2$  variabel dependen berada dalam keadaan tertentu diberikan untuk setiap kombinasi dari negara bagian  $X_1$  variabel dinyatakan sebagai  $P(X_2 | X_1)$ . Tabel probabilitas sebelumnya atau fungsi yang dimiliki oleh node *root*.





Gambar 2-2 Sebuah BN sederhana yang terdiri dari tiga variabel  
(sumber Wang R (2012))

Sebagai probabilitas masing-masing variabel didefinisikan tergantung pada orang tuanya, probabilitas gabungan jaringan ini  $P(X_1, X_2, X_3)$  ditetapkan sebagai produk ini probabilitas kondisional

$$P(X_1, X_2, X_3) = P(X_1)P(X_2|X_1)P(X_3|X_1) \quad (2.1)$$

Dimana  $P(X_2|X_1)$  dan  $P(X_3|X_1)$  adalah probabilitas bersyarat diberikan  $X_1$ , masing-masing, dan  $P(X_1)$  adalah probabilitas sebelumnya. Selain itu, dengan asumsi properti Markov dan kemandirian bersyarat (d-pemisahan) (Pearl, 1988), probabilitas gabungan untuk setiap BNS diberikan sebagai:

$$P(X) = P(X_1 \dots X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | Pa(X_i)) \quad (2.2)$$

di mana  $Pa(X_i)$  adalah himpunan orang tua simpul  $X_i$ . Salah satu keuntungan khas BNS adalah kemampuan inferensi untuk perhitungan keyakinan peristiwa berdasarkan bukti baru yang diamati. Keyakinan (probabilitas) diperbarui sesuai dengan pengamatan menggunakan memperbarui Bayesian. Asumsikan  $e$  bukti diamati, dan kemudian harus:

$$P(X|e) = \frac{P(X, e)}{P(e)} = \frac{P(X, e)}{\sum_x P(X, e)} \quad (2.3)$$

Sekarang berbagai algoritma inferensi yang tersedia untuk menghitung probabilitas marginal untuk setiap node teramati diberi satu set bukti diamati baru. Algoritma yang paling umum digunakan didasarkan pada struktur pohon yang disebut persimpangan pohon (Jensen, F.V,1996). Selain itu, ada juga sejumlah algoritma inferensi yang tepat dan diperkirakan tersedia (Murphy, 2002). Tanpa informasi pengamatan apapun, perhitungan didasarkan pada probabilitas apriori. Ketika informasi observasi tersedia, diintegrasikan ke dalam jaringan dan semua probabilitas sesuai diperbarui.

### 2.2.2 Tabel Probabilitas Bersyarat (*Condition Probability Tables = CPTs*)

Efektivitas BNS sebagian besar tergantung pada keakuratan tabel probabilitas bersyarat (CPT). Pelatihan CPT mengacu pada tugas membangun model jaringan yang terbaik merupakan database atau pengetahuan (Friis-Hansen, 2000). Setiap CPT dapat diperkirakan dari empat sumber: Database statistik, pengetahuan para ahli, hukum-hukum fisika dan data percobaan. Mengingat database statistik, beberapa algoritma pembelajaran, seperti, pencarian dan algoritma berbasis scoring (Heckerman, 2008), dan "Bayes Net Power Constructor" (BNPC) (Cheng, 2000), yang tersedia. Selain itu, ketika beberapa node tersembunyi atau data yang hilang, algoritma harapan maksimum (EM), yang merupakan algoritma berulang dua langkah, dapat digunakan. Namun, itu adalah tugas yang sulit untuk mengumpulkan data statistik yang cukup untuk estimasi CPT. Dan data statistik yang ditemukan dalam literatur mungkin tidak persis mewakili variabel dalam jaringan. Pengetahuan Ahli merupakan alternatif data statistik. Pertanyaan-pertanyaan secara hati-hati diberikan untuk memperoleh pengetahuan dari para ahli. Kekurangan pengetahuan ahli adalah bias pertanyaan dan penilaian subjektif dari para ahli. Namun, ahli pengetahuan dapat menyederhanakan estimasi CPT untuk BNS kompleks. Estimasi CPT berdasarkan hukum fisika adalah pilihan terbaik karena hukum-hukum fisika yang obyektif dan

dapat memberikan hubungan deterministik antara variabel. Monte Carlo digunakan untuk mendapatkan data statistik berdasarkan hukum fisik. Adapun sumber keempat, data yang dihasilkan dari eksperimen dapat digunakan untuk memperkirakan CPT. Tidak ada yang kurang, dalam aplikasi percobaan nyata tidak selalu realistis dan terjangkau. (Wang R., 2012).

Tien, (2014), menyatakan bahwa salah satu keterbatasan utama dari kerangka BN, adalah ukuran dan kompleksitas sistem yang dapat dimodelkan tractably sebagai BN. Secara khusus, CPTs dapat tumbuh sangat besar bila sebuah node memiliki banyak orang tua, masing-masing memiliki banyak keadaan. Untuk mengatasi masalah ini, (Langseth, 2007), membatasi jumlah maksimum node orangtua untuk setiap node disarankan untuk dikendalikan di bawah tiga atau lebih sedikit. Caranya adalah: (a) hirarki jembatan yang tidak perlu, yang memiliki dampak kecil pada kerusakan jembatan bisa dihilangkan, (b) memperkenalkan node tambahan untuk menjembatani pemodelan hirarki.

### **2.2.3 Validasi BNS**

Validasi BNs dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu: (a) analisis sensitivitas, (b) perbandingan hasil dan (c) skenario pengujian. Sensitivitas analisis membantu dalam menentukan variabel input dasar memiliki pengaruh terbesar pada variabel keluaran (LeBeau, 2000). Hasil prediksi BNS dapat dibandingkan dengan hasil yang diketahui untuk validasi model. Pengujian skenario adalah model perilaku BNS dengan skenario yang berbeda didefinisikan oleh para ahli dan untuk menilai apakah BNS akan memiliki seperti yang diharapkan dalam hal pengalaman masa lalu dan sesuai dengan penelitian yang kredibel saat ini (Bednarski, M, 2005) dan (Laskey, 1995). Secara keseluruhan, ini tiga cara harus dilakukan bersama-sama untuk memvalidasi BNS.

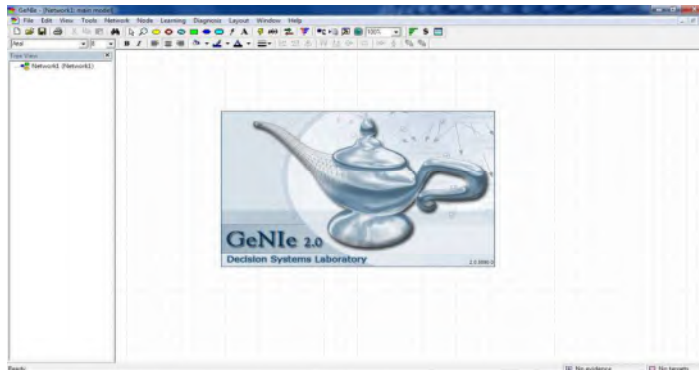
### **2.3 Perangkat lunak Jaringan Bayesian**

Pesatnya perkembangan penelitian jaringan Bayesian selama 15 tahun terakhir telah disertai dengan proliferasi perangkat lunak BN. Beberapa perangkat lunak utama, yang dapat digunakan untuk pemodelan BNS adalah sebagai berikut: BNT, BUG, CBeN, CaMML, Hugin, IDEAL, Netica, GeNIe dan TETRAD II.

Beberapa perangkat lunak bebas biaya dan yang lainnya tersedia secara komersial. GeNIe digunakan untuk penelitian ini, karena alasan berikut: memiliki kemampuan untuk mendukung BN dan DBN, mencakup *algoritma inferensi polytree*, tersedia secara bebas untuk di-*download*, cepat dan didokumentasikan dengan baik, menyediakan *Graphical User Interface (GUI)*, dapat menawarkan grafik balok untuk node dan menampilkan grafis probabilitas masing-masing kondisi, serta memungkinkan para penggunanya untuk menentukan setiap hipotesa node.

GeNIe2,( 2015) dikembangkan di *Decision System Laboratory* Universitas Pittsburgh, dan telah berhasil digunakan dalam penelitian dan industri. Pengguna Genie2 harus terbiasa dengan ide dasar dari BNS, tetapi tidak ada kebutuhan bagi pengguna untuk mengetahui bagaimana teknik inferensi bekerja. Sebagian besar pengguna Genie yang menggunakannya sebagai alat penelitian, dan sekarang memiliki ribuan pengguna, termasuk peneliti independen, perguruan tinggi universitas dan berbagai cabang industri. Salah satu fitur-fiturnya yang memungkinkan pengguna untuk menambahkan komentar untuk setiap bagian dari jaringan, termasuk node, busur dan negara simpul. Akhirnya, alat ini dapat berjalan di bawah Windows dan Linux.

Genie diimplementasikan dalam Visual C++. Model yang dikembangkan menggunakan Genie dapat dimasukkan ke dalam aplikasi apapun. Disarankan bahwa pengguna dilanjutkan melalui tutorial dalam urutan di mana mereka ditampilkan (Alharbi, 2014). Dalam penelitian ini digunakan GeNIe2, yang dapat di unduh dengan bebas di (GeNIe2.0 GeNIe, 2015).



Gambar 2-3 Tampilan awal Aplikasi GeNIe 2

## **2.4 Studi Literatur penelitian terdahulu.**

Proses degradasi jembatan adalah masalah utama yang dihadapi struktur jembatan. Proses degradasi jembatan terjadi selama umur pelayanannya, dan menyebabkan berbagai jenis cacat, sehingga pada akhirnya mengurangi kondisi jembatan (Bien & Sawicki, 1995). Informasi kondisi jembatan yang terbatas dan tidak terduga akan berdampak terhadap resiko tidak terpenuhinya standar keselamatan jembatan secara keseluruhan. Saat kesehatan dan kinerja dijelaskan berdasarkan indeks subjektif yang tidak tepat, maka terdapat beberapa kemungkinan gejala teramati dan belum ditemukan akan mengalami kerusakan, atau terjadinya kerusakan di struktur jembatan karena terbatasnya atau tidak ada akses kebeberapa elemen, kerusakan elemen jembatan berdampak terhadap tingkat keandalan jembatan dan kesehatan jembatan secara menyeluruh (Tarighat, 2012).

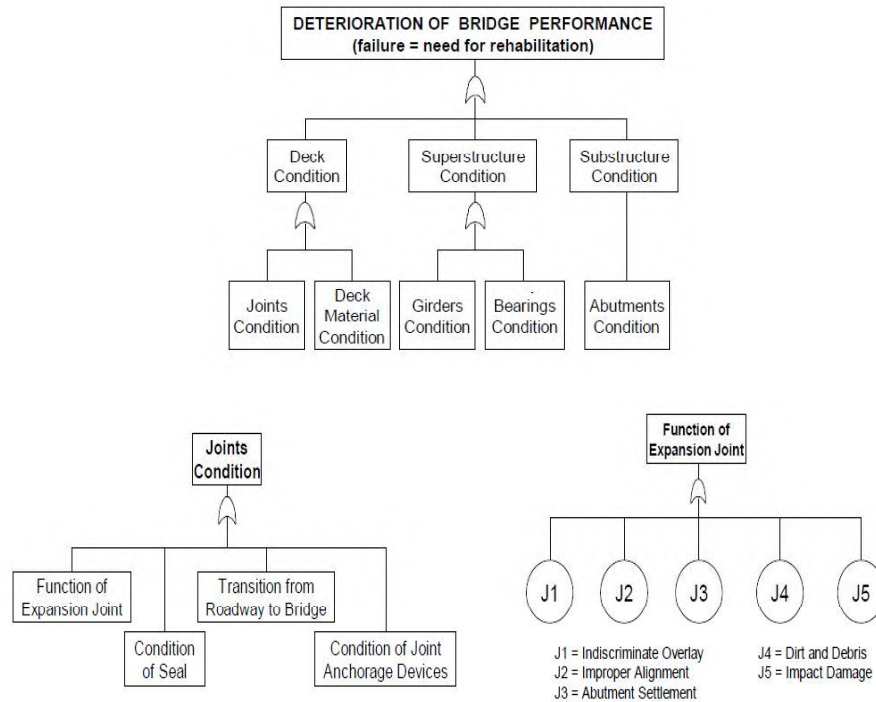
Pada bagian ini akan dijelaskan secara singkat hasil penelitian terdahulu tentang kinerja, dan kesehatan struktur jembatan. Kemudian dilakukan pembahasan posisi penelitian yang dilakukan terhadap penelitian yang telah diperoleh peneliti sampai saat ini.

### **2.4.1 Studi literature penelitian terdahulu tentang memprediksi kerusakan/ kesehatan Jembatan.**

Berikut penelitian yang telah dilakukan berkenaan dengan prediksi kondisi struktur jembatan yang sangat berkaitan langsung dengan permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini, sedangkan penelitian lainnya dijelaskan dalam bentuk rangkuman, disajikan secara kronologis sebagai berikut:

- 1) LeBeau, (2000), menyatakan bahwa salah satu pendekatan untuk interaksi pemodelan kerusakan elemen jembatan pada BMS adalah analisis pohon kegagalan (*Fault Tree*), lihat Gambar 2.4. Terlepas interaksi visual sistem komponen jembatan, *Fault tree* menetapkan keterkaitan logis yang dapat diterapkan secara kualitatif untuk menjelaskan proses sistem kerusakan dan kuantitatif untuk sampai pada berbagai kemungkinan kerusakan jembatan. Integrasi analisis pohon kegagalan dalam BMS saat memberikan hubungan yang hilang antara kondisi komponen dan kinerja sistem struktur untuk

struktur katalog dalam BMS. Serangkaian pertanyaan diminta untuk mendapatkan probabilitas peristiwa dasar yang digunakan dalam metode pohon kegagalan ini.



Sumber: Labaeu (2000)

Gambar 2-4 Fault Tree

Tanggapan rata-rata menggunakan faktor berat, mengingat perkiraan jumlah jembatan masing-masing peserta telah diperiksa dan dihitung dari lamanya pengalaman. Kualitas perkiraan heuristik ini telah diperiksa oleh salah satu ahli. Hasilnya, probabilitas berat atau bobot untuk 32 peristiwa dasar yang berkontribusi terhadap kondisi "kurang" dari elemen jembatan. Dalam penelitian ini, semua peristiwa dasar diasumsikan independen. Data hasil survey ini, akan digunakan sebagai data input probabilitas pernyataan kondisi (CS) elemen dasar jembatan.

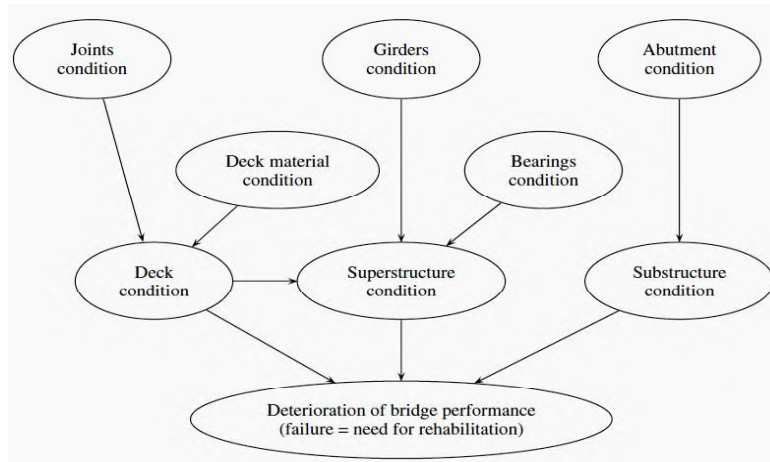
- 2) Yanef, (2003) meneliti kondisi jembatan di New York City ditinjau dari sudut pandang manajemen rekayasa. Tujuannya adalah untuk mengoptimalkan belanja pemeliharaan, perbaikan dan rekonstruksi selama siklus hidup struktur. Catatan pemeriksaan untuk komponen jembatan mereka tinjau.

Dilakukan usaha untuk mengembangkan hubungan antara tingkat waktu penurunan dan operasi pemeliharaan komponen jembatan. Komponen jembatan yang paling signifikan untuk muncul sebagai target pemeliharaan intensif adalah sendi, bantalan, lapisan permukaan dan cat. Penelitian ini membutuhkan tingkat kerusakan tercepat yang dikenal sesuai dengan "tidak ada pemeliharaan" dari 13 komponen dan untuk peringkat kondisi jembatan secara keseluruhan. Hasil ini diperoleh dengan meninjau semua catatan yang tersedia dari kerusakan komponen dan memilih orang-orang dengan tingkat tercepat. Kehidupan komponen yang diamati terpendek tanpa perawatan telah ditetapkan oleh NYDoT.

Data hasil penelitian ini akan digunakan sebagai input probabilitas hubungan antara komponen jembatan dan komponen jembatan dengan struktur jembatan global.

- 3) Shepard & Johnson, (2001), mengajukan model penilaian kesehatan jembatan dengan metode Bridge Health Index, dan dikenal sebagai California Bridge Health Index, karena dikembangkan untuk digunakan dinegara bagian California, USA.
- 4) Bien, (2001) mengembangkan sistem fungsi Pakar, yang dapat membantu secara cepat dalam manajemen jembatan kereta Api di Negara polandia, dan digunakan pula untuk di Negara Eropa.
- 5) Attoh-Okine & Bowers, (2006), mengembangkan model jaringan Bayesian untuk kerusakan jembatan. Model ini didasarkan pada kondisi elemen jembatan seperti dek, suprastruktur dan substruktur. Memburuknya jembatan secara keseluruhan bersyarat tergantung pada kondisi dek, kondisi bangunan, dan kondisi substruktur. Kondisi dek bersyarat tergantung pada kondisi sendi dan bahan dek. Kondisi suprastruktur bersyarat adalah tergantung pada kondisi girder dan bantalan, dan kondisi bangunan bawah adalah bersyarat tergantung pada kondisi abutment. Attoh pula yang berpendapat bahwa metode Fault Tree kurang tepat untuk diterapkan padan manajemen jembatan. Bentuk jaringan Bayesian yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 2.5. Disimpulkan bahwa jaringan Bayesian lebih tepat daripada analisis pohon

kegagalan, Pengembangan model jaringan kepercayaan disajikan terbatas hanya *sejumlah kecil data kerusakan elemen jembatan yang tersedia*. Prediksi yang dibuat dari model ini dibatasi oleh pengetahuan dan pengalaman dari para ahli yang terlibat

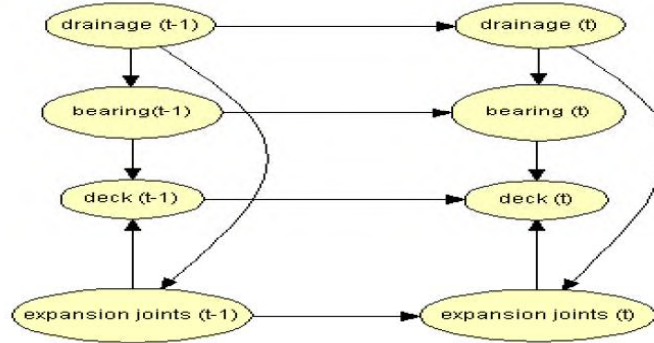


Sumber: Pourrel (2008)

Gambar 2-5 Deterioration Jembatan Beton dengan Jaringan Bayesian.

- 6) Metodologi berbasis DOOBN telah diusulkan oleh Wang (2010) mengatasi proses kerusakan jembatan menggunakan *penetapan kondisi* dan *kehandalan struktur*. Metodologi meliputi empat langkah: analisis sistem jembatan, perumusan DOOBN, parameter pembelajaran, dan kesimpulan. Dua studi kasus dilakukan untuk preliminary memvalidasi metodologi yang diusulkan. Dari studi kasus pertama, pemodelan DBN mampu memperlihatkan dependensi kegagalan antara elemen jembatan. Variabilitas temporal dalam dependensi kegagalan dan informasi pengamatan baru bisa diperhitungkan. *Data berkaitan dengan CPTs tidak tersedia sama sekali*. Oleh karena itu, dalam studi kasus ini CPTs disimulasikan dengan pertimbangan proses kemerosotan setiap elemen jembatan. Selanjutnya, CPTs diasumsikan waktu-invariant dan tindakan perawatan tidak dipertimbangkan dalam studi kasus ini.





Sumber: Wang R.(2010)

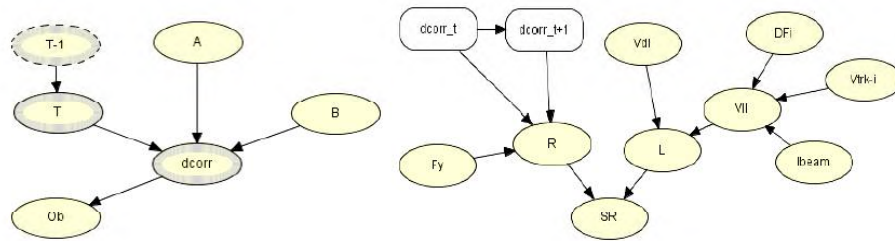
Gambar 2-6 Model dependensi kegagalan DOOBN.

Studi kasus kedua menunjukkan bahwa DOOBN dapat akurat memprediksi kehandalan struktur. Pendekatan ini memungkinkan pemodelan perilaku temporal proses kerusakan jembatan akibat korosi. Hasil dari studi kasus menggambarkan bahwa metodologi yang dikembangkan dalam penelitian ini menimbulkan potensi besar untuk prediksi kesehatan jembatan.

Penyelidikan lebih lanjut pada penerapan pendekatan di prediksi kesehatan jembatan praktis menggunakan data kehidupan nyata. Studi diperpanjang bertujuan untuk memvalidasi model kerusakan jembatan baik dari segi penetapan kondisi dan kehandalan struktur. Misalnya, skema diskritisasi dalam pembelajaran parameter mungkin tidak optimal. sumber data yang sesuai harus dipilih untuk estimasi dari CPTs dan probabilitas sebelumnya.

- 7) Wang (2011) mengusulkan model DOOBN untuk penerapan prediksi keandalan struktural, sebagai contoh dipilih gelagar jembatan baja. Hasil yang diperoleh dari pendekatan yang diusulkan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari beberapa metode perkiraan, misalnya, urutan pertama metode keandalan (FORM). Model DOOBN untuk aplikasi ini, termasuk hasil pemeriksaan korosi, diberikan pada Gambar. 8. Dalam contoh ini, pengamatan dapat berupa inspeksi visual untuk korosi atau pengukuran kedalaman korosi. Dengan variabel diskrit, estimasi CPTs dapat diperkirakan berdasarkan atas persamaan deterministik. Hasil Penelitian:

pendekatan berbasis DOOBN dapat memprediksi keandalan elemen struktural jembatan dengan akurat dan juga mampu untuk model perilaku proses kerusakan temporal elemen jembatan baja disebabkan oleh korosi. Selain itu, pendekatan yang diusulkan mengotomatisasi komputasi memperbarui Bayesian dan dengan informasi pengamatan yang kuat. Potensi aplikasi termasuk prediksi kesehatan jembatan dan manajemen terpadu untuk optimasi pemeliharaan jembatan. *Penerapan pendekatan yang diusulkan akan diteliti lebih lanjut dengan fokus pada mode kegagalan lain, dan beberapa elemen jembatan baja.*

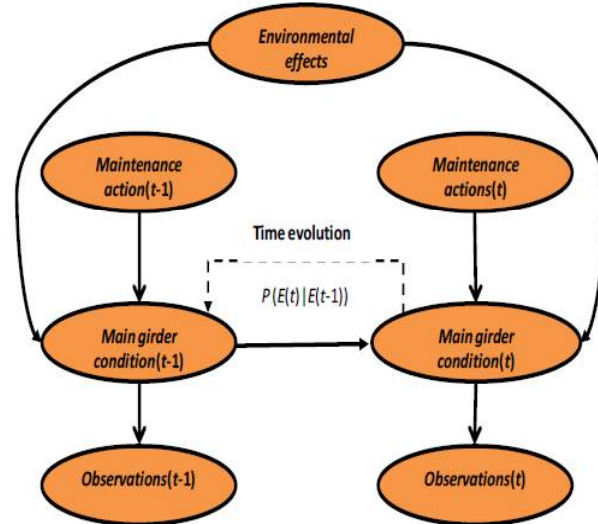


Sumber: Wang R (2011)

Gambar 2-7 Realiabiliti tegangan geser struktur girder baja dengan DOOBN

- 8) Wang, (2012), mengusulkan sebuah model baru menggunakan Dynamic Bayesian Networks (DBN) (lihat Gambar 2-8) memprediksi kondisi elemen jembatan. Dalam penelitian ini, model yang diusulkan diterapkan untuk prediksi kondisi elemen jembatan. Sebuah jembatan gelagar utama dipilih dari "Albert Bridge", sebuah jembatan kereta api yang terletak di Brisbane, Queensland. Di asumsikan kondisi evolusi lebih dari 100 tahun. dampak lingkungan, tindakan pemeliharaan dan pengamatan simulasi. Empat tingkat lingkungan: jinak, Low, Moderate dan Severe, digunakan, dan tindakan perawatan diasumsikan untuk menjadi sempurna. CPTs diperkirakan dari pengetahuan ahli. Kesimpulan Model DBNs dan parameter estimasi yang diusulkan memiliki memperbarui Bayesian, memiliki kemampuan untuk mempertimbangkan beberapa faktor kerusakan secara bersama-sama. Dua skenario telah dilakukan untuk menunjukkan kemampuan memperbarui

Bayesian. Potensi aplikasi termasuk prediksi kesehatan jembatan dan manajemen terpadu untuk optimasi pemeliharaan jembatan.



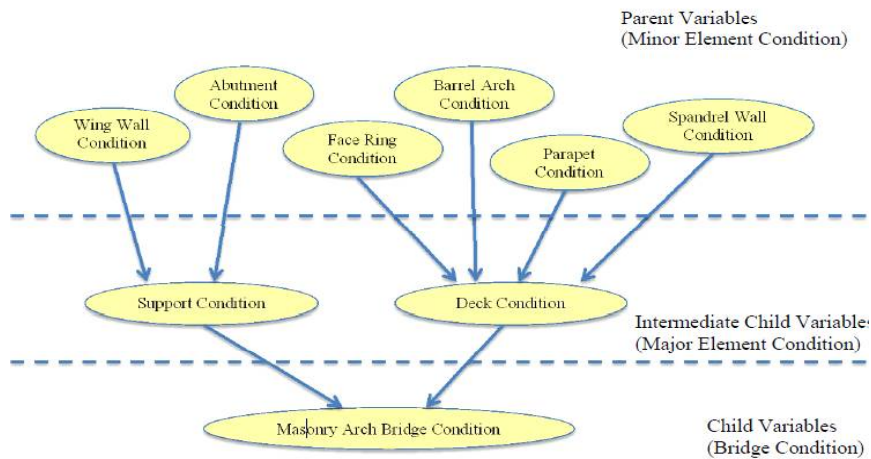
Sumber : Wang R (2012).

Gambar 2-8 Model DBNs untuk girder utama jembatan baja

9) Tien (2014), mengusulkan algoritma kompresi baru yang secara signifikan mengurangi kebutuhan penyimpanan memori untuk model BN, bersama dengan algoritma inferensi yang melakukan baik maju dan mundur inferensi pada matriks terkompresi, serta beberapa heuristik untuk meningkatkan efisiensi komputasi dari algoritma. Bersama-sama, algoritma ini memungkinkan sistem yang lebih besar yang akan dimodelkan sebagai BNS untuk analisis keandalan sistem. Selain itu, kami mengusulkan metodologi berdasarkan dinamika BN (DBN) untuk menilai respon dari struktur seperti yang berkembang melalui waktu di bawah eksitasi yang stokastik, misalnya, sebuah gerakan tanah gempa, berdasarkan sensor pengukuran yang tidak pasti. Penelitian ini menginformasikan pengambilan keputusan dalam pengelolaan struktur tunduk bahaya seismik dan untuk pengembangan dan desain sistem

10) Rafiq, (2014), mengusulkan metodologi kemudian diperpanjang untuk mengembangkan tergantung time model kerusakan menggunakan Dinamis

Bayesian Network. Kondisi elemen dalam sampel yang dipilih dari jembatan dan satu set probabilitas bersyarat untuk variabel dependen statis dan waktu, berdasarkan pengalaman pemeriksaan, digunakan sebagai masukan untuk model untuk menghasilkan, dalam hal probabilistik, profil kerusakan berdasarkan kondisi-keseluruhan untuk jembatan kelompok. Kepekaan terhadap berbagai parameter masukan, serta asumsi yang mendasarinya, pada kinerja titik-in-time dan profil kerusakan kelompok diselidiki. Bersama dengan hasil dari 'bagaimana jika' skenario, potensi metodologi yang dikembangkan ditunjukkan dalam kaitannya dengan spesifikasi kebutuhan pemantauan kesehatan struktural dan prioritas kegiatan intervensi perawatan. *Software 'Hugin Peneliti v6.9'*. Model BBN diverifikasi melalui pemeriksaan yang sederhana, menggunakan kondisi input ekstrim sewenang-wenang untuk unsur-unsur ringan. Misalnya, ketika semua elemen kecil berada dalam keadaan tunggal, baik unsur-unsur utama dan kelompok jembatan harus diharapkan dalam keadaan yang sama.



Sumber: Rafiq, (2014)

Gambar 2-9 BBN untuk jembatan pelengkung pasangan batu.

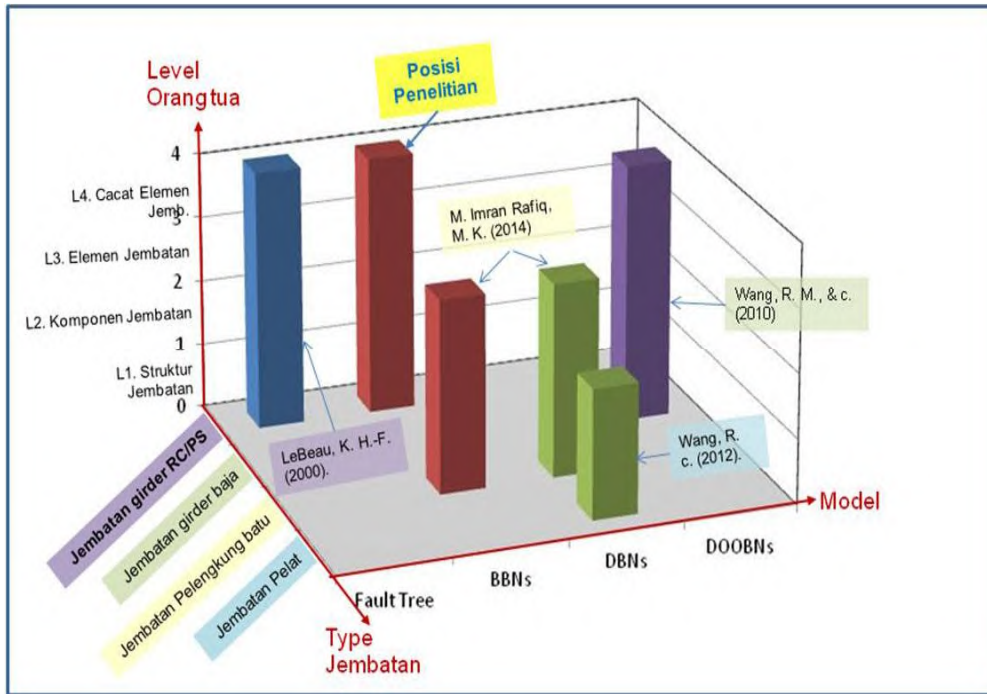
- 11) Yafei, (2013), menyajikan kerangka kerja berbasis jaringan Bayesian untuk prognosis kekuatan struktural. Ide utama adalah untuk menggunakan pengukuran untuk masing-masing komponen, termasuk kekakuan, kerusakan

korosi, dan respon beban-lendutan, untuk melakukan inferensi untuk seluruh struktur. Kerangka yang diusulkan ditunjukkan menggunakan jembatan RC yang ada. Model degradasi kekakuan yang diusulkan didasarkan pada korosi dipercepat, yang mungkin berbeda dari korosi alami di lapangan. Selain itu, seluruh pendekatan probabilistik adalah di sisi kapasitas dan ketidakpastian di sisi pengujian beban tidak dianggap. Studi masa depan diperlukan untuk memperluas metode ini untuk memprediksi kinerja struktural mempertimbangkan korelasi dari distribusi statistik dari variabel input.

#### **2.4.2 Pemetaan Konseptual Penelitian**

Dari ulasan di atas maka, dapat dirangkum penelitian tentang kinerja, kesehatan, atau yang berhubungan dengan keduanya pada jembatan dapat dilihat pada Tabel 2-2.

Berdasarkan kesimpulan dari studi literature di atas, maka belum ada penelitian tentang model kesehatan struktur jembatan yang memperhitungkan kesehatan dimulai dari cacat yang dialami/ terjadi dari setiap elemen dasar, dan dari elemen dasar akan mempengaruhi kondisi elemen jembatan dari setiap komponen jembatan, selanjutnya dari elemen jembatan akan mempengaruhi kondisi dari setiap komponen jembatan dan pada akhirnya dapat komponen jembatan akan mempengaruhi kondisi jembatan secara global sebagai satu kesatuan individu jembatan. Maka dalam penelitian ini akan memodelkan prediksi kesehatan struktur jembatan secara penuh, dengan metode jaringan Bayesian, untuk jembatan beton bertulang dengan menggunakan software GeNIe, serta mempergunakan standar (AASHTO, 2010). Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Sumber: Hasil Olahan (2016)

Gambar 2-10 Posisi Penelitian yang dilakukan

Tabel 2-2 Rangkuman Penelitian terdahulu tentang kesehatan jembatan

No	Tahun Publikasi	Nama Peneliti	Metode yang diterapkan	Tujuan Penelitian	Perapan
1	2000	K. H. LeBeau	Fault Tree	metode sistematis mengatur interaksi elemen yang berkontribusi untuk menjembatani kerusakan	Jembatan beton
2	2001	Richard W. Shepard and M.B. Johnson	California Bridge Health Index	Indeks Kesehatan jembatan	Jembatan
3	2003	Jan Bien	fungsi pakar	mendukung proses keputusan utama dalam Sistem Manajemen Jembatan	Jembatan kereta api
4	2003	Yanef		mengembangkan hubungan antara tingkat jembatan komponen penurunan waktu dan operasi pemeliharaan	Jembatan
5	2006	N.O. Attoh-Okine	BBN	mengembangkan prosedur pemodelan kerusakan baru berdasarkan jaringan keyakinan. Jaringan kepercayaan efektif menangkap dan menggambarkan hirarki, interaksi, dan ketidakpastian faktor hadir dalam proses kerusakan jembatan	Jembatan beton
6	2010	Ruizi Wang	Dynamic Object Oriented Bayesian Network (DOOBN)	bridge health prediction	Jembatan baja

7	2011	Wang R	Dynamic Object Oriented Bayesian Network (DOOBN)	Structural reliability prediction of a steel bridge element using	Jembatan baja
8	2012	Ruizi Wang	Dynamic Bayesian Networks (DBNs)	Condition deterioration prediction of bridge elements	Jembatan baja
9	2012	Saptarshi Sasmal	logika fuzzy	menangani ketidakpastian, ketidaktepatan dan penilaian subjektif (Condition Ranking and Rating of Bridges)	Jembatan
10	2012	Maria Rashidi	OSCI (overall structural condition index)	evaluasi kondisi jembatan	Jembatan
11	2013	Jürgen Hackl	BBN	kombinasi analisis keandalan struktur dan jaringan Bayesian digunakan untuk penilaian keandalan struktur beton bertulang	Elemen Jembatan beton
12	2013	Ning-Cong Xiao	logika fuzzy + Bayesian + the Maximum Entropy Approach	Estimasi Bayesian Keandalan untuk Memburuk Sistem karena terbatasnya sampel	Jembatan
13	2013	Nan Hu	Monte Carlo System	model degradasi untuk deck jembatan berdasarkan daya tahan mekanik	Dek jembatan
14	2014	Yafei Ma	BN	Model prediksi degradasi kekuatan jembatan akibat pengujian beban situ	Dek Jembatan
15	2014	Iris Tien	BN	pemodelan penilaian keandalan sistem infrastruktur	Infrastruktur
16	2014	M. Imran Rafiq	Dynamic Bayesian Belief Networks	Model prediksi kondisi jembatan	Jembatan pelengkung batu

Sumber: Hasil olahan 2016



## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Motivasi dalam penelitian ini adalah adanya usulan model prediksi kesehatan struktur jembatan berbasis jaringan Bayesian. Bentuk struktur jembatan dan dasar perencanaan yang sudah baku, maka dalam menentukan hubungan antar elemen menjadi terstruktur atau sudah lebih pasti, sehingga dalam pengembangan model tidak lagi mencari hubungan antar elemen jembatan, pengaruh cacat, pengaruh lingkungan serta pengaruh beban terhadap bentuk jaringan Bayesian. Dalam beberapa hasil penelitian sebelumnya yang sudah menampilkan struktur jaringan Bayesian untuk jembatan.

Dengan semakin populernya penentuan nilai peringkat kondisi (CR) komponen jembatan dan penetapan kondisi (CS) elemen jembatan, maka model BN yang diusulkan berdasarkan nilai penetapan kondisi dari elemen jembatan. Untuk memastikan kriteria penilaian inspeksi elemen jembatan, maka AASHTO (2010) digunakan sebagai acuan penyusunan jaringan dan metode penilaian yang digunakan. (lihat bab 2).

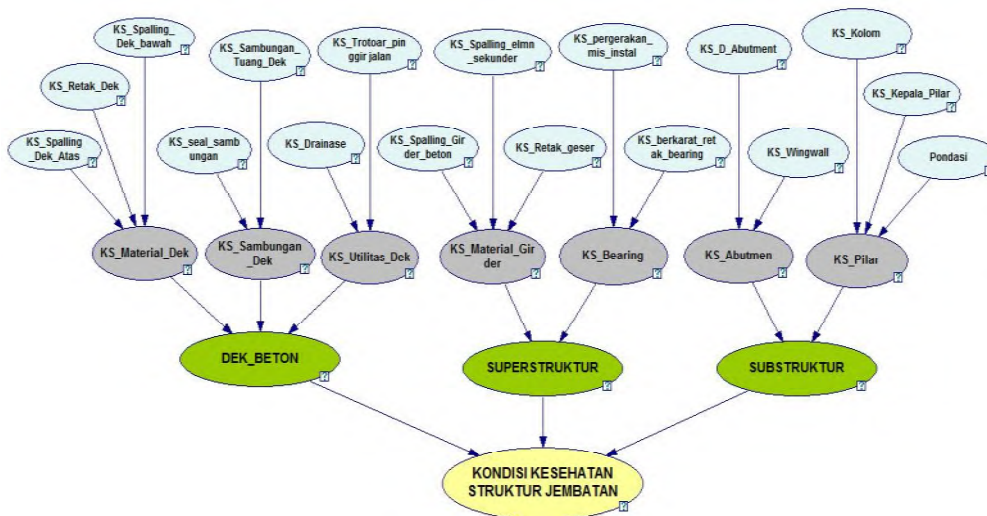
Gambar 3.1 memperlihatkan Model BN yang diusulkan dalam penelitian ini, sedangkan metode untuk mendapatkan bentuk jaringan, memverifikasi serta memvalidasi model secara garis besar akan dijelaskan pada sub bagian pada bab 3 ini.

#### **3.1 Tahapan – tahapan dalam penelitian.**

Untuk dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan dalam permasalahan dan tujuan yang telah ditetapkan pada bab satu, maka terdapat tahapan-tahapan yang harus dilakukan secara berurutan, yaitu (1) Melakukan identifikasi permasalahan, (2) penetapan tujuan yang sesuai dengan permasalahan yang ada. (3) Kajian literatur dan (4) pencarian pengumpulan data dapat dilakukan secara paralel, sehingga sehingga bisa saling menutupi kelebihan dan kekurangan dari kedua langkah tersebut. (5) Merumuskan dan mengembangkan model. Setelah model sudah terbentuk, maka langkah selanjut adalah (6) melakukan verifikasi model,

dengan tujuan untuk mengetahui apakah model yang diusulkan telah sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan. Bila model sudah sesuai dengan spesifikasi yang ada maka dilakukan langkah ke (7) yaitu melakukan validasi model. Hasil validasi harus dilakukan analisa untuk mengetahui seberapa akuratnya hasil yang dikeluarkan dan dampaknya terhadap mempermudah pengelolaan jembatan. Ini merupakan langkah ke (8). Gambar 3.2 memperlihatkan diagram alir penelitian ini dilakukan.

Gambar 3.1 adalah model yang diusulkan untuk memprediksi kesehatan struktur jembatan berbasis jaringan Bayesian. Cara atau langkah untuk menghasilkan model ini akan dijelaskan pada tahapan ke (4) dan ke (5) di sub bab berikut ini.

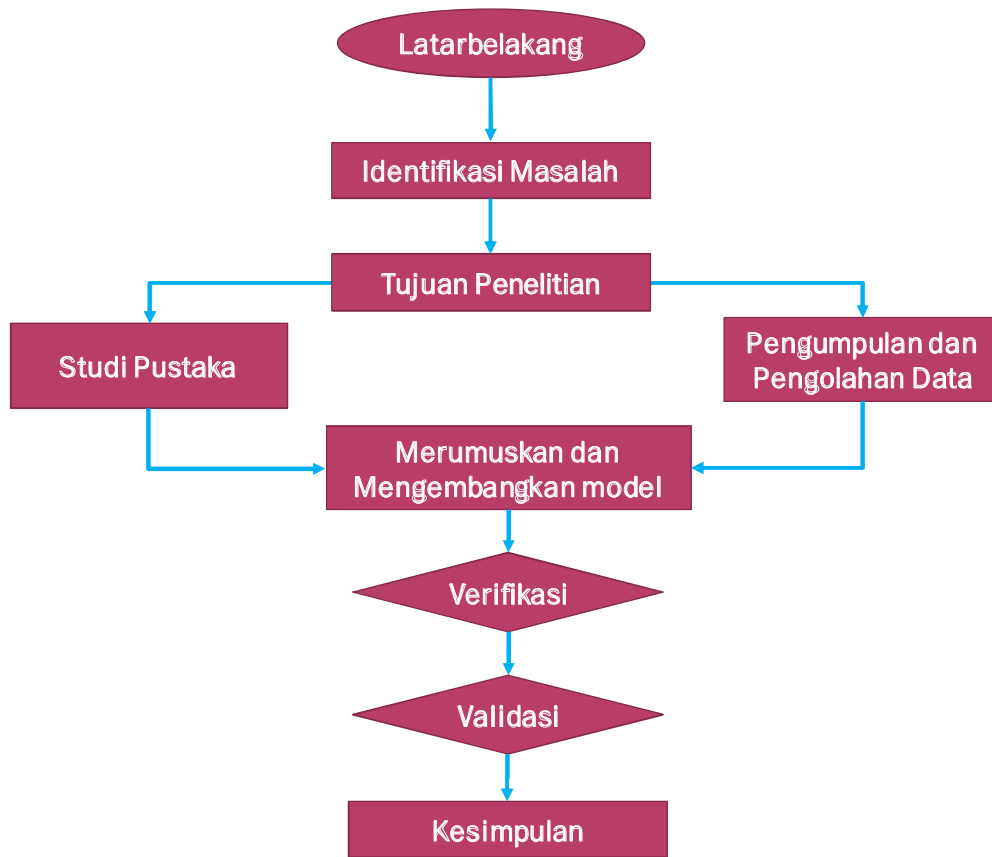


Gambar 3-1 Model BBN Prediksi kesehatan struktur jembatan yang diusulkan

### 3.1.1 Identifikasi permasalahan dan penetapan tujuan

Dari hasil analisa permasalahan yang ada pada latar belakang, bahwa model yang diinginkan meliputi komponen jembatan secara menyeluruh, bahan yang digunakan adalah beton bertulang, ditinjau dalam satu satuan waktu pemeriksaan jembatan, kelas jalan yang sama, dan mempergunakan data yang telah ada, tanpa harus melakukan pengamatan, pengambilan dan analisa data secara langsung. Dalam menjalankan perhitungan dan design mempergunakan

aplikasi komputer. Standar penentuan pernyataan kondisi elemen jembatan mengacu pada AASHTO GMBEI edisi 1 atau edisi 2.

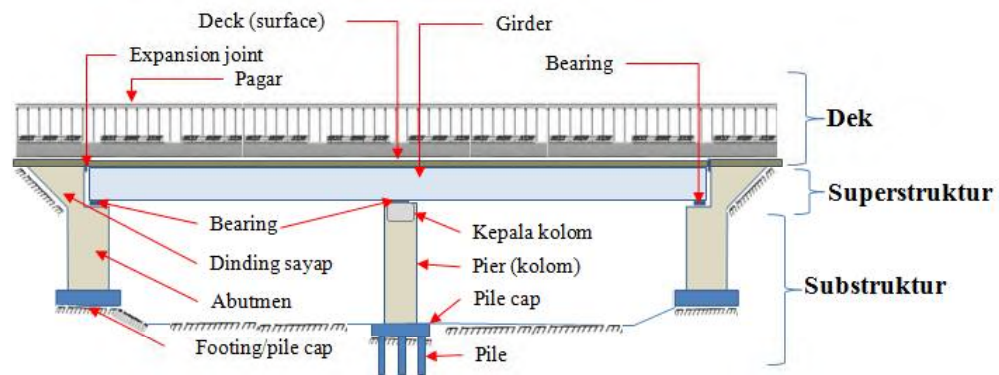


Gambar 3-2 Diagram arus metodologi penelitian

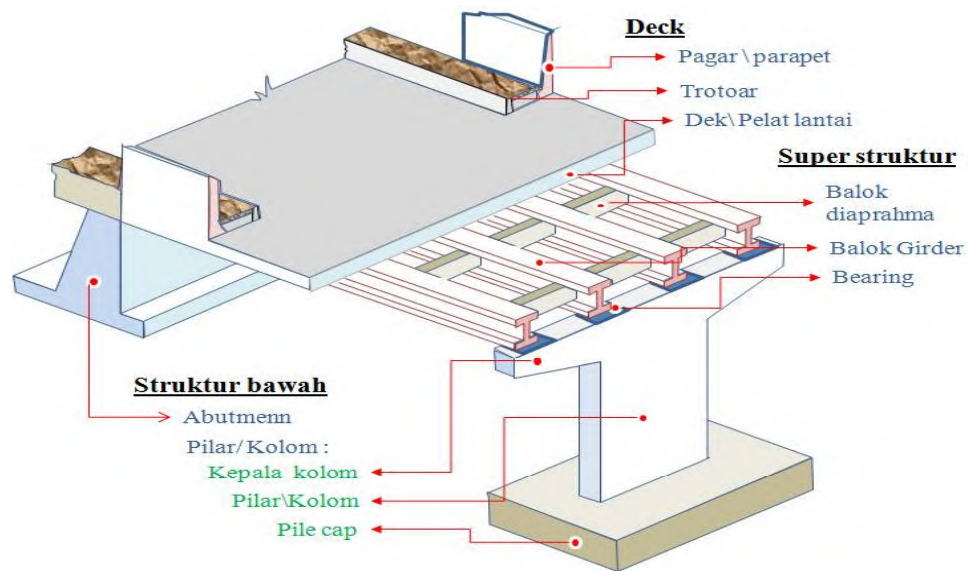
### 3.1.2 Studi Literatur.

Tahapan studi literatur yang dilakukan adalah mengumpulkan referensi seefisien dan efektif mungkin, kemudian dicari persamaan dan perbedaan yang ada. Literatur bisa berupa buku, artikel, jurnal, paper, informasi elektronik. Secara lengkap tahapan ini bisa dilihat pada bab 2.

Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 memperlihatkan potongan detail dari jembatan beton, sehingga akan lebih mudah memahami bentuk struktur jembatan yang akan dibuat model BBN nya.



Gambar 3-3 Tampak Samping Jembatan Girder Beton Bertulang



Gambar 3-4 Potongan melintang Jembatan Girder Beton Bertulang

### 3.1.3 Pengumpulan Data.

Ada tiga macam data utama yang diperlukan untuk dapat membuat model BBN yang diusulkan, yaitu: (a) data probabilitas setiap pernyataan kondisi kesehatan dari elemen dasar jembatan, (b) data probabilitas hubungan antara elemen dasar jembatan dengan elemen jembatan, (c) data probabilitas hubungan antara komponen jembatan dengan struktur jembatan global.

Data yang digunakan sesuai dengan katagori yang ditentukan, yaitu lokasi berada di Minesota, USA. Jenis material yang digunakan beton bertulang

atau prestres. Panjang bentang minimum 75 meter, dan Jembatan dibangun antara tahun 1970-1980. Data jembatan yang digunakan dapat dilihat pada lampiran 3. Data mentah dari hasil laporan inspeksi untuk 20 jembatan tentang jenis kerusakan elemen dasar dan kuantitasnya dapat dilihat pada lampiran 2. Sedangkan data peringkat kepentingan elemen dasar terhadap jembatan dapat dilihat pada Lampiran 4. Sedangkan rangkuman penetapan kondisi elemen dasar rata-rata untuk 20 jembatan contoh dapat dilihat pada lampiran 5. Untuk data yang kedua menggunakan data yang telah dibuat dari hasil penelitian Yanef B (2003). Data ini juga telah digunakan oleh New York DoT, untuk menilai kinerja jembatan. Selain itu ada juga peneliti di Indonesia yang menggunakan untuk meneliti kesehatan Jembatan di Indonesia, Gatot, (2008) dan Marsuki .(2009), mempergunakan probabilitas kerusakan elemen terhadap komponen jembatan yang telah ditetapkan New York DoT. yaitu penelitian membutuhkan tingkat tercepat yang dikenal dari kerusakan, sesuai dengan "kondisi tidak ada pemeliharaan," untuk 13 elemen serta peringkat kondisi jembatan secara keseluruhan. Hal Ini diperoleh dengan meninjau semua catatan yang tersedia dari kerusakan komponen dan memilih orang-orang dengan tingkat tercepat. Umur komponen terpendek yang diamati tanpa pemeliharaan ditunjukkan pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Probabilitas elemen utama jembatan

<b>No.</b>	<b>Nama Komponen</b>	<b>Bobot</b>
1	Dek	8
2	Permukaan Perkerasan	4
3	Sambungan	4
4	Trotoar	2
5	Curb	1
6	Gelagar utama/induk	10
7	Gelagar anak/sekunder	5
8	<i>Bearing</i>	6
9	Pilar jembatan	8
10	Abutmen	8
11	Dinding Sayap	5
12	Dinding Belakang	5
13	Dudukan Jembatan	6

Sumber : Hasil penelitian yang dilakukan oleh Yanef B (2003)

Selanjutnya LeBeau (2000), menghasilkan probabilitas untuk 32 peristiwa dasar yang berkontribusi pada kondisi elemen "miskin". Sebuah probabilitas bersyarat juga menangkap kekuatan hubungan antara anak dan variabel induknya. Dengan demikian, dapat diartikan sebagai faktor bobot relatif mewakili pentingnya setiap kondisi variabel orangtua dalam membangun kondisi variabel anak mereka. (prior data). Dan merupakan bentuk data yang ke 3. (lihat Tabel 3.2)

Tabel 3-2 Probabilitas elemen dasar, diperoleh dari wawancara

No.	Peristiwa Dasar	Probability
1	Sambungan ekspansi melebar	0.06
2	Sambungan ekspansi yang tepat	0.13
3	Penurunan Abutmen	0.07
4	Kotoran dan puing yang berlebih	0.21
5	Kerusakan sambungan dampak lalu lintas	0.12
6	Saluran dek yang tersumbat	0.44
7	Kebocoran	0.18
8	Korosi pada sambungan	0.14
9	Pemasangan sambungan yang tidak tepat	0.18
10	Retak pada dek	0.14
11	Spall pada dek	0.15
12	Korosi pada tulangan dek	0.16
13	Delamination (Deck)	0.1
14	Kondisi lapisan permukaan yang jelek	0.25
15	Pengkristalan pada dek	0.12
16	Rusak Pipa saluran pembuangan	0.43
17	Korosi pada Girder	0.16
18	Retak – fatik	0.05
19	Posisi girder yang jelek	0.14
20	Kerusakan girder karena tumbukan	0.07

21	Elemen bearing yang aus	0.36
22	Pemasangan bearing yang tidak lengkap	0.07
23	Korosi pada bearing	0.15
24	Tiang beton yang memburuk	0.14
25	Pergerakan deferensial vertikal dr abutmen	0.03
26	Pergerakan memutar dr abutmen	0.03
27	Retak dalam abutmen	0.05
28	Spall pada abutmen	0.13
29	Korosi tulangan abutmen	0.11
30	Delaminasi abutmen	0.09
31	Pengkristalan abutmen	0.06
32	Lingkungan yang parah	0.57

---

Sumber : Hasil penelitian yang dilakukan oleh LeBeau ( 2000)

### **3.1.4 Pemodelan BBN untuk jembatan beton bertulang**

Secara umum, membangun BN melibatkan empat langkah (Arthur Choi, 2012) yaitu:

1. mengidentifikasi variabel dan Penetapan kondisi elemen
2. menarik hubungan antara variabel dalam jaringan.
3. parameter jaringan dengan menentukan Tabel Probabilitas Bersyarat (CPT) yang terkait dengan setiap node.
4. melakukan algoritma inferensi

#### **3.1.4.1 Mengidentifikasi variabel dan Penetapan kondisi elemen**

Langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Kelompokkan data inspeksi lapangan yang memiliki karakter yang sama seperti umur pembangunan, waktu inspeksi, jenis material pembentuknya, pada berada dalam satu lokasi yang relative berdekatan. (lihat data lampiran 4)
2. Hitung tingkat kemunculan cacat elemen ketika dipemeriksa. Eliminir yang tingkat kemunculannya rendah, dan pertahankan yang tingkat kemunculannya

- tinggi, digunakan sebagai elemen dasar jembatan dan akan menjadi orang tua dari elemen lainnya.
3. Dibantu dengan pengelompokan elemen dan cacat yang dikeluarkan oleh AASHTO (lihat lampiran 1) untuk menggambarkan hubungan antar komponennya. (hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3-3 dan Tabel 3-4).
  4. Berdasarkan langkah ke 3, buat jaringan BN dalam hal, ini menggunakan software Genie2. Penjelasan detail ada dalam bab 4.
  5. Pada tahap akhir pemodelan akan terlihat sama dengan gambar 3.1.

Untuk mengatasi masalah CPT dan besarnya jaringan orang tua, maka menurut Langseth (2007), biasanya jumlah maksimum node orangtua untuk setiap node disarankan untuk dikendalikan di bawah tiga atau lebih sedikit.

#### **3.1.4.2 Parameter jaringan dengan menentukan Tabel Probabilitas Bersyarat (CPT) yang terkait dengan setiap node.**

Untuk menentukan parameter tabel probabilitas bersyarat, maka hal yang harus dipertimbangkan adalah tidak cukupnya data untuk pelatihan BBN dan tidak tersedianya data probabilitas bersyarat untuk mengisi CPT. Menurut Jensen (2007) bila data CPT tidak tersedia, tetapi data bersyarat utama tersedia maka nilai CPT bisa ditentukan dari probabilitas yang ada. Dengan menggunakan data yang diturunkan dari penelitian Yanev (2003) dan LeBeau (2000) serta data hasil inspeksi maka pemenuhan data untuk pelatihan BBN dapat dibuat berdasarkan kombinasi keputusan Ahli, data inspeksi dan simulasi EM, maka data simulasi yang diperlukan dapat dibuat sebesar data yang diperlukan. (Genie2 menyediakan fasilitas ini. Data probabilitas tingkat elemen dasar dapat dilihat pada Tabel 3.5. Dan untuk komponen dasar dapat dilihat pada Tabel 3.6. .



Tabel 3-3 Penetapan kondisi elemen dasar rata-rata jembatan beton di Minnesota

NAMA STRUKTUR	NAMA KOMPONEN	NAMA ELEMEN	NAMA ELEMEN DASAR	PROBABILITAS "CONDITION STATE"						
				1	2	3	4			
DEK BETON			Spalling pada Permukaan atas Dek	0.15	0.75	10.00	0.00			
			KS_Material_Dek	Retak pada Deck	0.50	0.35	0.15	0.00		
				Spalling , pengapuran Dek bawah	0.35	0.50	0.15	0.00		
				Seal sambungan	0.90	0.04	0.06	0.00		
				KS_Sambungan_Dek	Sambungan Tuang Deck	0.68	0.25	0.08	0.00	
					Pagar Beton	0.65	0.33	0.01	0.00	
					KS_Utilitas_Dek	Drainase	0.28	0.67	0.06	0.00
						Pinggir jalan & trotoar	0.29	0.71	0.00	0.00
						Girder atau Beam Beton Pratekan	0.98	0.02	0.00	0.00
						Elemen Struktural Sekunder	0.83	0.11	0.06	0.00
SUPER STRUKTUR			Retak geser	0.83	0.00	0.17	0.00			
				Bantalan ekspansi	0.80	0.20	0.00	0.00		
				KS_Bearing	bantalan tetap	0.98	0.02	0.00	0.00	
					Kolom (Pilar/ tinang) beton	0.94	0.06	0.00	0.00	
					KS_Pilar	Kepala kolom beton	0.96	0.04	0.00	0.00
						Tiang pondasi cor di tempat	0.87	0.13	0.00	0.00
						Abutment Beton bertulang	0.84	0.15	0.01	0.00
						KS_Abutmen	0.84	0.15	0.01	0.00
						Wingwall Beton bertulang	0.92	0.08	0.00	0.00
							0.92	0.08	0.00	0.00

Sumber : Hasil Olahan dari data laporan

Tabel 3-4 Penetapan kondisi elemen dasar rata-rata jembatan beton di Minnesota refisi elemen

NAMA STRUKTUR	NAMA KOMPONEN	NAMA ELEMEN	NAMA ELEMEN DASAR	PROBABILITAS "CONDITION STATE"		
				1	2	3
			Spalling pada Permukaan atas Dek	0.15	0.75	10.00
		KS_Material_Dek	Retak pada Deck	0.50	0.35	0.15
			Spalling , pengapuran Dek bawah	0.35	0.50	0.15
DEK BETON		KS_Sambungan_Dek	Seal sambungan	0.90	0.04	0.06
			Sambungan Tuang Deck	0.68	0.25	0.08
			Pagar Beton	0.65	0.33	0.01
		KS_Utilitas_Dek	Drainase	0.28	0.67	0.06
			Pinggir jalan & trotoar	0.29	0.71	0.00
SELURUH JEMBATAN			Girder atau Beam Beton Pratekan	0.98	0.02	0.00
		KS_Material_Girder	Elemen Struktural Sekunder	0.83	0.11	0.06
SUPER STRUKTUR			Retak geser	0.83	0.00	0.17
		KS_Bearing	Bantalan ekspansi	0.80	0.20	0.00
			bantalan tetap	0.98	0.02	0.00
			Kolom (Pilar/ tinang) beton	0.94	0.06	0.00
SUB STRUKTUR		KS_Pilar	Kepala kolom beton	0.96	0.04	0.00
			Tiang pondasi cor di tempat	0.87	0.13	0.00
		KS_Abutmen	Abutment Beton bertulang	0.84	0.15	0.01
			Wingwall Beton bertulang	0.92	0.08	0.00

Sumber : Hasil Olahan

Tabel 3-5 Bobot elemen dari setiap elemen dasar

Variabel	NAMA ELEMEN DASAR	Faktor Elemen	Bobot Elemen	Sumber
MA	Spalling pada Permukaan atas Dek	0.17	0.386	<i>Lebeau, K.H</i>
MR	Retak pada Deck	0.12	0.273	<i>Lebeau, K.H</i>
MB	Spalling , pengapuran Dek bawah	0.15	0.341	<i>Lebeau, K.H</i>
SS	Seal sambungan	0.1	0.385	<i>Lebeau, K.H</i>
ST	Sambungan Tuang Deck	0.16	0.615	<i>Lebeau, K.H</i>
UD	Drainase	2	0.500	Yanef B.
UT	Pinggir jalan & trotoar	2	0.500	Yanef B.
GG	Girder atau Beam Beton Pratekan	10	0.333	Yanef B.+
GS	Elemen Struktural Sekunder	5	0.167	<i>Lebeau, K.H</i>
GR	Retak geser		0.500	<i>Lebeau, K.H</i>
BE	Bantalan ekspansi- memuai/incomplete	0.43	0.741	<i>Lebeau, K.H</i>
BK	Korosi bantalan tetap	0.15	0.259	<i>Lebeau, K.H</i>
KK	Kolom (Pilar/ tinang) beton	8	0.333	Yanef B.
KP	Kepala kolom beton	8	0.333	Yanef B.
KC	Tiang pondasi cor di tempat	8	0.333	Yanef B.
AA	Abutment Beton bertulang	8	0.615	Yanef B.
AW	Wingwall Beton bertulang	5	0.385	Yanef B.

Sumber : Hasil olahan dari data penelitian Yanef dan Lebeau 2016

**Tabel 3-6** Bobot komponen dari setiap elemen jembatan

Variabel	NAMA KOMPONEN	Faktor Komponen	Bobot Komponen	Sumber
DM	Penetapan kondisi Material Dek	8	0.533	Yanef B.
DS	Penetapan kondisi Sambungan	4	0.267	Yanef B.
DU	Penetapan kondisi Kelengkapan Dek	3	0.200	Yanef B.
PG	Penetapan kondisi Material Girder	15	0.714	Yanef B.
PB	Penetapan kondisi Bearing/bantalan	6	0.286	Yanef B.
BP	Penetapan kondisi Pier/Pilar/kolom beton	8	0.500	Yanef B.
BA	Penetapan kondisi Abutmen	8	0.500	Yanef B.

Sumber : hasil olahan dari data penelitian Yanef 2016.

### 3.1.4.3 Melakukan algoritma inferensi

Ada dua jenis utama dari inferensi: kesimpulan yang tepat dan kesimpulan perkiraan. Algoritma inferensi yang tepat termasuk *polytree* dan *clustering* inferensi. Dalam penelitian ini perhitungan inferensi menggunakan software GeNIe, dan algoritma inferensi yang digunakan adalah *polytree*.

### 3.1.5 Verifikasi

Model BBN diverifikasi melalui pemeriksaan yang sederhana, menggunakan kondisi input ekstrim sewenang-wenang untuk unsur-unsur ringan. Misalnya, ketika semua elemen kecil berada dalam keadaan tunggal, baik unsur-unsur utama dan kelompok jembatan harus diharapkan dalam keadaan yang sama (Sathananthan, 2010).

Hasil model BBN kemudian dibandingkan dengan distribusi probabilitas dihitung untuk kelompok jembatan menggunakan metodologi saat disajikan dalam jaringan.

### 3.1.6 Validasi

Seperti yang dibahas dalam studi literature, maka dalam proses validasi BNs dilakukan dengan tiga cara, yaitu: (a) analisis sensitivitas, (b) perbandingan hasil dan (c) skenario pengujian. Untuk validasi sensitivitas dan scenario “bila jika” dilakukan dengan mempergunakan software. Perbandingan hasil dilakukan dengan cara membandingkan hasil inferensi model dengan hasil penilaian yang diputuskan oleh ahli. Untuk validasi model mempergunakan data inspeksi jembatan diluar data yang digunakan dalam proses pelatihan model.

Pada proses analisa penetapan kondisi hasil inferensi model yang diusulkan dengan hasil kondisi dari inpektor/ahli, maka nilai CR dari inpektor/ahli dikorelasi CR NBI dari komponen jembatan ke nilai penetapan kondisi komponen (lihat Tabel 3.7). Sedangkan untuk menentukan penetapan kondisi dari komponen jembatan yang diperoleh dari inferensi model yang di usulkan, ditetapkan berdasarkan probabilitas maksimum dari nilai probabilitas penetapan kondisi yang ada dari setiap komponen. (lihat Tabel 3.8).

Untuk menganalisa akurasi kondisi komponen jembatan, maka bandingkan nilai CS dari ahli dan CS dari model. Ada dua hasil analisa CS komponen yaitu: bila nilai CS ahli = nilai CS model, maka akurat dan bila nilai CS ahli  $\neq$  nilai CS model, maka tidak akurat.

Tabel 3-7 Panduan penilaian Kondisi Jembatan - ahli

CS - NBIS Komponen	CR - NBIS
<b>Baik</b>	9 Kondisi Sempurna
	8 Kondisi Sangat Baik
	7 Kondisi Baik
<b>Cukup</b>	6 Kondisi Memuaskan
	5 Kondisi Cukup
<b>Buruk</b>	4 Kondisi Jelek
	3 Kondisi Serius
<b>Rusak</b>	2 Kondisi Kritiis
	1 Kondisi segera gagal
	0 Kondisi Gagal
	N Kondisi Tidak bisa digunakan

Sumber : Ohio DoT (2014)

Tabel 3-8 Penilaian CS komponen - model

CS - Komponen dari model			
Kualitatif	CS	Probabilitas	CS yang digunakan
Baik	1	W%	Probabilitas maksimum
Cukup	2	X%	
Buruk	3	Y%	
Buruk		Z%	

Catatan : W, X, Y, Z adalah besarnya probabilitas.

Sumber hasil olehan 2016.

## **BAB 4**

### **STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu simulasi model, verifikasi dan validasi dengan memberikan studi kasus.

#### **4.1 Simulasi prediksi penilaian kondisi jembatan beton bertulang**

Pada tahap simulasi ini dilakukan pembangunan model Bayesian dengan menggunakan software GeNIe (GeNIe2, 2015). Dalam simulasi ini dilakukan tiga skenario dalam menggunakan penetapan kondisi elemen, yang pertama dengan menggunakan empat penetapan kondisi, sesuai dengan kondisi yang ada. Kemudian skenario yang kedua menggunakan tiga penetapan kondisi pada elemen dasar. Alasan menggunakan tiga penetapan kondisi yaitu pertama untuk mempermudah perhitungan tabel probabilitas bersyarat, dan kebetulan pada data penetapan kondisi CS4 tidak memiliki probabilitas untuk setiap elemen dasarnya. Yang kedua untuk melihat ketelitian dari dua model penilaian penetapan kondisi, dengan tujuan untuk pengembangan model lebih lanjut (untuk mengetahui fleksibilitas model). dan skenario yang ketiga dengan memasukkan nilai kondisi rata-rata dari laporan inspeksi MnDoT tahun 2015 diinputkan ke model BBN dengan tiga kondisi dan ke model BBN dengan empat penetapan kondisi. Tahapan simulasi secara lengkap dapat dilihat pada sub selanjutnya.

##### **4.1.1 Pengembangan model BBNs untuk penilaian kondisi**

###### **4.1.1.1 Mengidentifikasi variabel dan Penetapan kondisi elemen.**

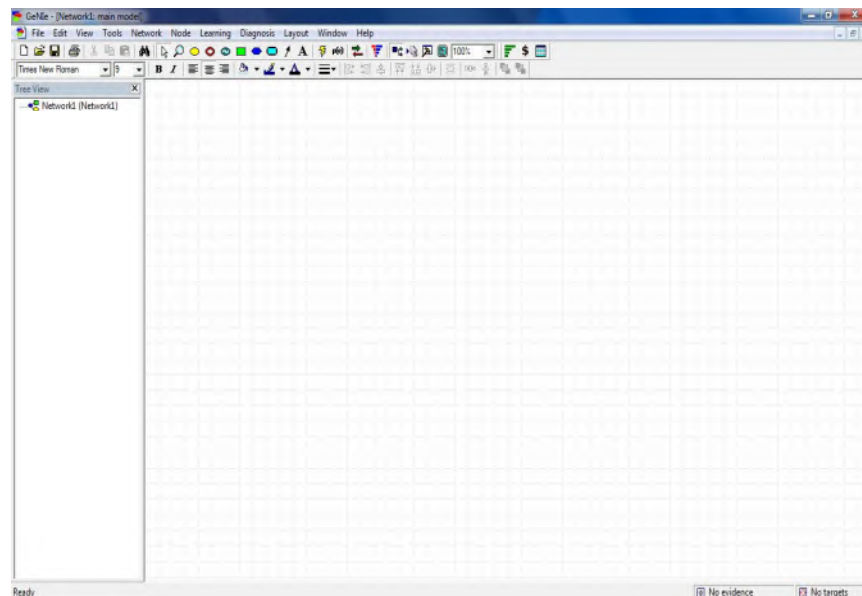
Tahap ini sudah dilakukan pada bab 3 sub 3.1.4.1. dimana data, hubungan antara variabel serta pernyataan kondisi elemen pada kondisi awal telah dilakukan, sehingga pada tahap ini, dapat dilewati. Langkah berikutnya adalah menentukan data untuk skenario bila penetapan kondisi hanya terdiri dari tiga bagian, yaitu CS1, CS2, dan CS3, maka data pada CS 4 pada tabel 3.3 di

singkirkan dan hasilnya adalah tabel 3.4 yaitu tabel refisi untuk nilai pernyataan kondisi elemen dasar adalah tiga penetapan kondisi.

#### 4.1.1.2 Menarik hubungan antara variabel dalam jaringan.

Pada tabel 3.3 dan tabel 3.4 secara tegas dan jelas bahwa elemen dasar menjadi orang tua dari elemen komponen, elemen komponen menjadi elemen jembatan secara global. Maka langkah berikutnya adalah membangun jaringan Bayesian dengan menggunakan software Genie2.

Langkah pertama adalah jalankan program Ginie, dengan tampilan awalnya sebagai berikut ;

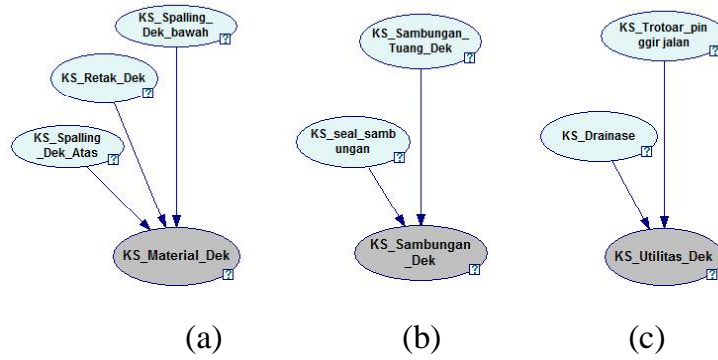


Gambar 4-1 Tampilan muka GeNIe

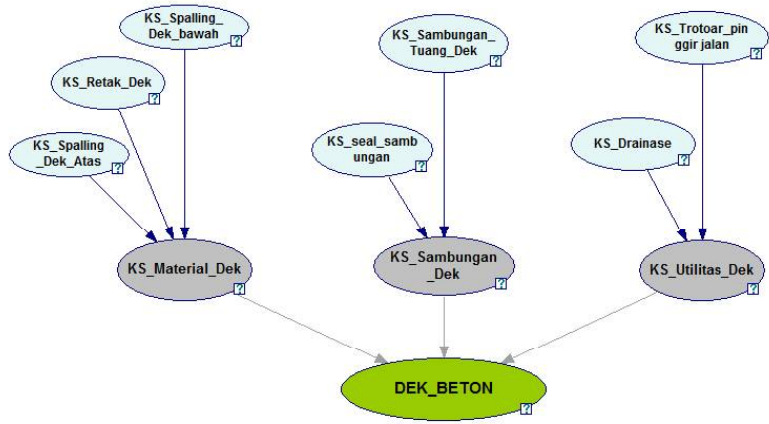
Cara penggunaan yang sangat mudah dan hampir sama bila kita menggunakan aplikasi berbasis window (Microsoft).

Langkah kedua adalah membuat hubungan jaringan, dimulai dari elemen dasar ke elemen antara (tambahan) satu demi satu. Kemudian dari elemen tambahan ke elemen utama, selanjutnya dari elemen utama ke komponen dan pada tahap akhir dari komponen ke jembatan global. BNs model untuk hierarki jembatan di tingkat yang berbeda disajikan pada Gambar 4.2 sampai Gambar 4.8.

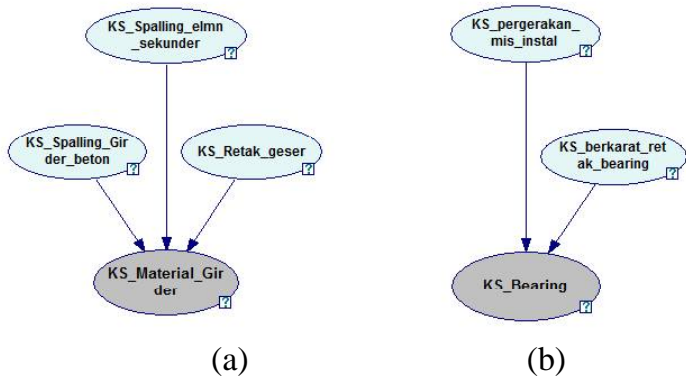




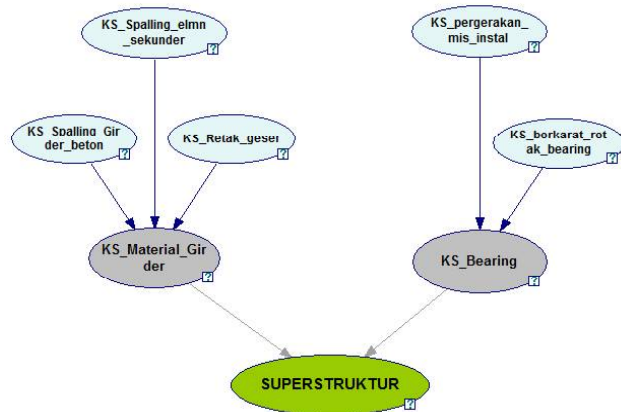
Gambar 4-2 BNN model (a) Material Dek, (b) Sambungan Dek, (c) Utilitas Dek



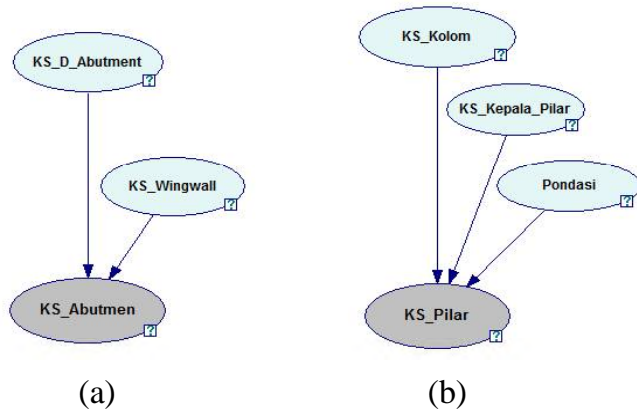
Gambar 4-3 BNN model Dek beton



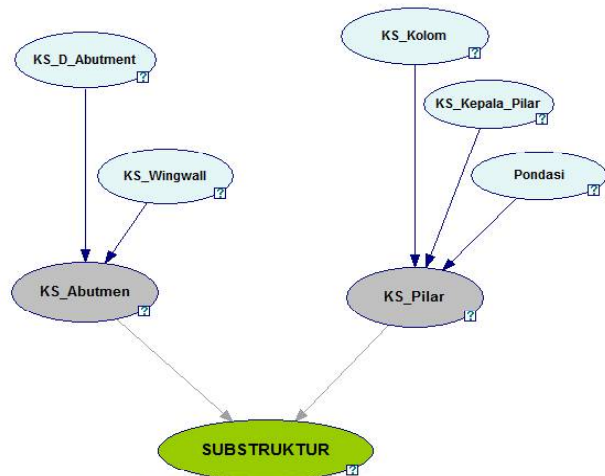
Gambar 4-4 BNN model (a) Material girder, (b) Bearing



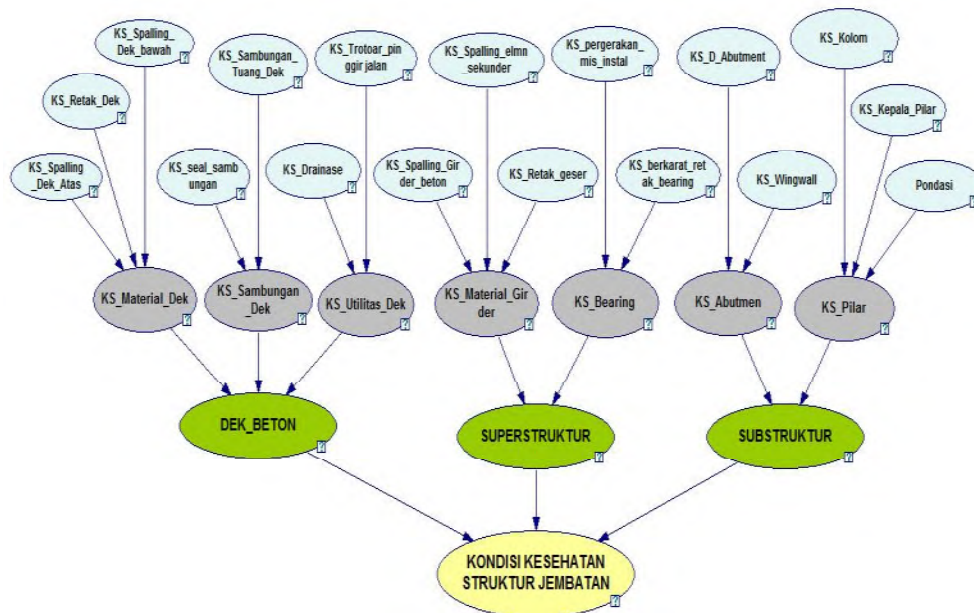
Gambar 4-5 BBNs model Superstruktur



Gambar 4-6 BBNs model (a) Abutmen dan (b) Pilar



Gambar 4-7 BBN Model Substruktur



Gambar 4-8 Sistem Keseluruhan BBN Model Jembatan beton bertulang.

#### 4.1.1.3 Estimasi CPTs untuk model BBN dari jembatan beton bertulang

Ketersediaan data kondisi elemen dasar (lihat Tabel 3.5) dan elemen jembatan (lihat Tabel 3.6), serta ketersediaan penetapan kondisi dari 20 jembatan beton (masih terbatas), maka untuk mengestimasi tabel probabilitas kondisi berdasarkan kombinasi pengetahuan ahli dan keterbatasan data. Sebelum mengestimasi CPT terlebih dahulu menentukan bobot setiap variabel elemen, dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Bobot MA} &= \text{MA}/(\text{MA} + \text{MR} + \text{MB}) \dots\dots\dots (4.1) \\ &= 0.17/(0.17+0.12+0.15) = 0.386 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bobot MR} &= \text{MR}/(\text{MA} + \text{MR} + \text{MB}) \dots\dots\dots (4.2) \\ &= 0.12/(0.17+0.12+0.15) = 0.273 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bobot MB} &= \text{MB}/(\text{MA} + \text{MR} + \text{MB}) \dots\dots\dots (4.3) \\ &= 0.15/(0.17+0.12+0.15) = 0.341 \end{aligned}$$

Hubungan ketergantungan yang ditampilkan pada tabel 3.5 – tabel 3.6, dapat menyatakan bahwa kondisi Material dek dapat dinyatakan sebagai fungsi dari

kondisi permukaan atas dek, retak pada dek dan permukaan bawah dek sebagai berikut

$$DM = 0.386 MA + 0.273 MR + 0.341 MB \dots\dots\dots(4.4)$$

Dengan formula yang sama maka semua bobot untuk setiap elemen dasar dan elemen utama dapat ditentukan. Secara lengkap dapat dilihat pada tabel 3.5, tabel 3.6., dan tabel 4.1.

Tabel 4-1 Bobot struktur dari setiap komponen jembatan

Variabel	NAMA STRUKTUR	Faktor Struktur	Bobot Struktur
DEK	Dek beton	15	0.288
SUP	Super struktur	21	0.404
SUB	Sub struktur	16	0.308

Karena variabel orang tua MA, MR dan MB dapat mencapai setiap rata-rata kondisi rata-rata sampai dengan 1, maka diputuskan untuk menetapkan fungsi distribusi seragam mulai dari 0 sampai dengan 1 sebagai non-informatif sebelumnya untuk variabel-variabel I, dan digunakan untuk mendapatkan CPT untuk DM., yaitu

$$P(DM | MA, MR, MB) = P(DM, MA, MR, MB) / P(MA, MR, MB) \dots(4.5)$$

Dimana fungsi distribusi probabilitas gabungan P(DM, MA, MR, MB) dan P(MA, MR, MB), diperkirakan melalui simulasi Monte Carlo (M. Imran Rafiq, 2014). CPT untuk dukungan node DM dalam BBN ditunjukkan pada Tabel 4-2. Demikian pula, probabilitas bersyarat untuk variabel lainnya, yaitu dek dan jembatan kelompok, telah diturunkan menggunakan faktor bobot relatif yang diberikan dalam Tabel 3-4 - tabel 3-5, yang mengarah ke hubungan yang ditunjukkan di bawah :

$$DS = 0.385 SS + 0.615 ST \dots\dots\dots(4.6)$$

$$DU = 0.5 UD + 0.5 UT \dots\dots\dots(4.7)$$

$$PG = 0.333 GG + 0.167 GS + 0.5 GR \dots\dots\dots (4.8)$$

$$PB = 0.741 BE + 0.259 BB \dots\dots\dots (4.9)$$

$$BP = 0.333 KK + 0.333KP + 0.334 KC \dots\dots\dots (4.10)$$

$$BA = 0.615 AA + 0.385 AW \dots\dots\dots (4.11)$$

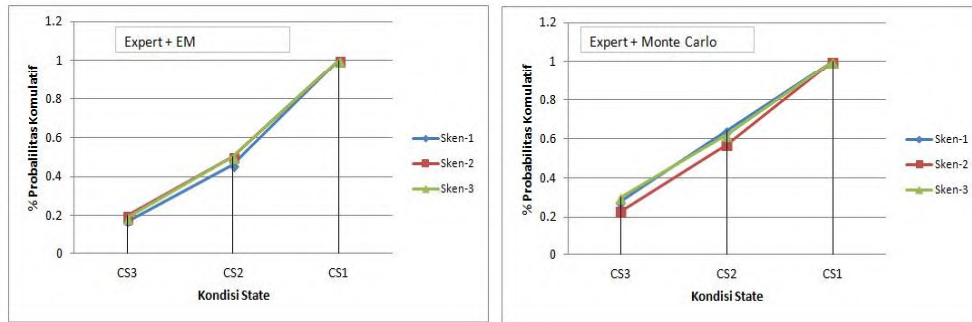
$$DEK = 0.533 DM + 0.267 PS + 0.200 DU \dots\dots\dots (4.12)$$

$$SUP = 0.714 PG + 0.286 PB \dots\dots\dots (4.13)$$

$$SUB = 0.500 BK + 0.500 BA \dots\dots\dots (4.14)$$

$$STR = 0.288 DEK + 0.404 SUP + 0.308 SUB \dots\dots\dots (4.15)$$

Dari hasil percobaan untuk distribusi probabilitas gabungan dicoba dengan menggunakan Monte Carlo (program dengan excel) dan EM yang terpasang pada GiNie diperoleh grafik pada Grafik 4-1. Nilai probabilitas penetapan kondisi dari kombinasi antara ahli dan EM memiliki perbedaan yang kecil. Dari perbandingan hasil keluaran yang didapat diputuskan pembelajaran parameter menggunakan kombinasi antara keputusan ekspert dengan EM pada aplikasi GiNie



Grafik 4-1. Nilai inferen hasil pembelajaran parameter CPT dari kombinasi Expert dengan EM dan kombinasi Expert dengan Monte Carlo

Secara keseluruhan, terdapat 28 node dan 27 link, serta 579 probabilitas bersyarat perlu ditetapkan untuk 11 CPTs. Berikut CPT untuk material dek disajikan dalam Tabel 4-2. Perhitungan CPT untuk elemen dan komponen yang lain dapat dilihat pada lampiran 6.

Tabel 4-2 CPT untuk material dek

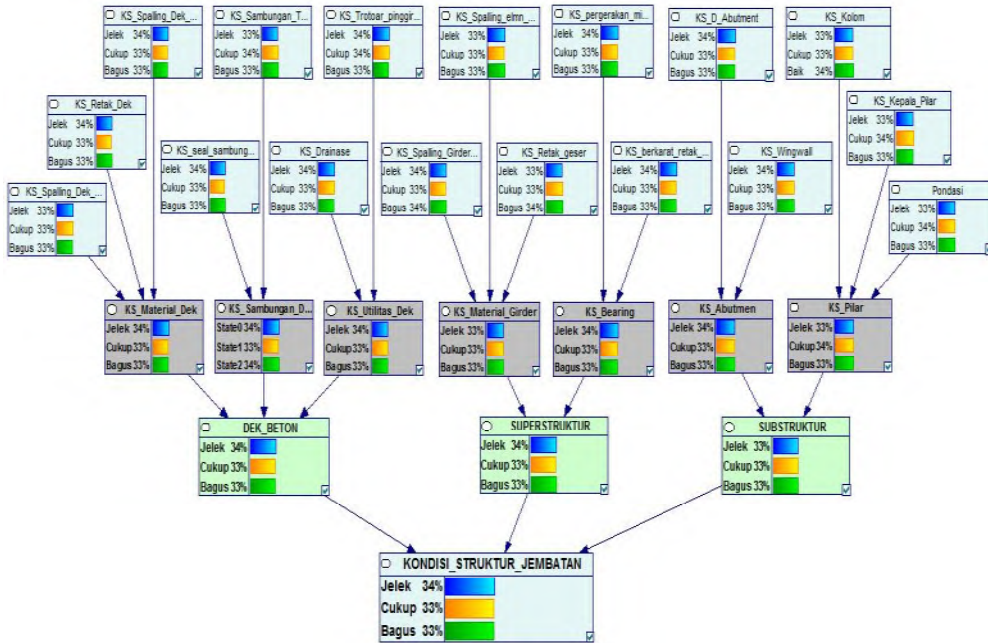
0.386	<b>MA</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.273	<b>MR</b>	1	1	1	2	2	2	3	3	3
0.341	<b>MB</b>	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>MD</b>	1	1.000	0.659	0.659	0.727	0.386	0.386	0.727	0.386	0.386
	2	0.000	0.341	0.000	0.273	0.614	0.273	0.000	0.341	0.000
	3	0.000	0.000	0.341	0.000	0.000	0.341	0.273	0.273	0.614
0.386	<b>MA</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0.273	<b>MR</b>	1	1	1	2	2	2	3	3	3
0.341	<b>MB</b>	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>MD</b>	1	0.614	0.273	0.273	0.341	0.000	0.000	0.341	0.000	0.000
	2	0.386	0.727	0.386	0.659	1.000	0.659	0.386	0.727	0.386
	3	0.000	0.000	0.341	0.000	0.000	0.341	0.273	0.273	0.614
0.386	<b>MA</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3
0.273	<b>MR</b>	1	1	1	2	2	2	3	3	3
0.341	<b>MB</b>	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>MD</b>	1	0.614	0.273	0.273	0.341	0.000	0.000	0.341	0.000	0.000
	2	0.000	0.341	0.000	0.273	0.614	0.273	0.000	0.341	0.000
	3	0.386	0.386	0.727	0.386	0.386	0.727	0.659	0.659	1.000

Distribusi probabilitas CPT dari keputusan ahli akan dihaluskan dengan pembelajaran menggunakan EM metodologi yang ada di Ginie. Begitu juga untuk CPT lainnya dilakukan dengan cara yang sama. Pada bagian akhir, CPT untuk jaringan jembatan dilakukan pembelajaran parameter secara serempak. Tabel CPT yang lain ditampilkan atas dasar permintaan.

#### 4.1.2 Hasil Prediksi penilaian kondisi dari Model BBN jembatan beton

Untuk mengetahui fleksibilitas dari model BBN yang diusulkan dilakukan dengan 3 skenario, yaitu pertama menggunakan tiga penetapan kondisi dengan nilai yang sama setiap statenya ( $=1/3$ ), kedua, menggunakan empat penetapan kondisi dengan nilai yang sama untuk setiap statenya ( $1/4$ ), dan skenario yang ketiga dengan memasukan nilai kondisi rata-rata dari laporan inspeksi MnDoT tahun 2015 diinputkan kemodel BBN dengan tiga kondisi dan ke

model BBN dengan empat penetapan kondisi. Hasil model simulasi diperlihatkan pada Gambar 4.9 dan gambar pada lampiran 7.



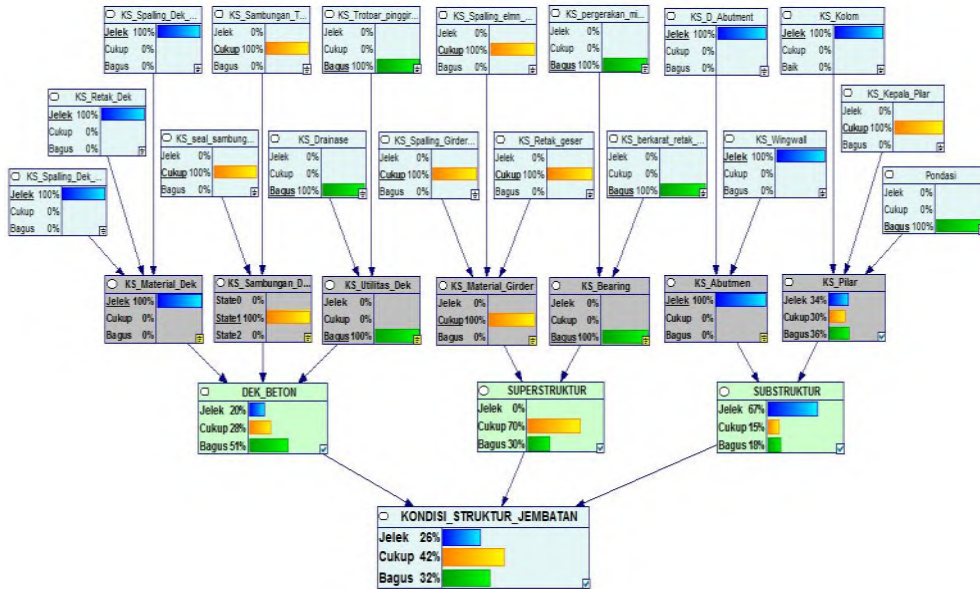
Gambar 4-9 Hasil prediksi penilain kondisi jembatan dengan 3 penetapan kondisi dan input kondisi setiap state sama

#### 4.1.3 Verifikasi dan validasi model BBN jembatan beton bertulang

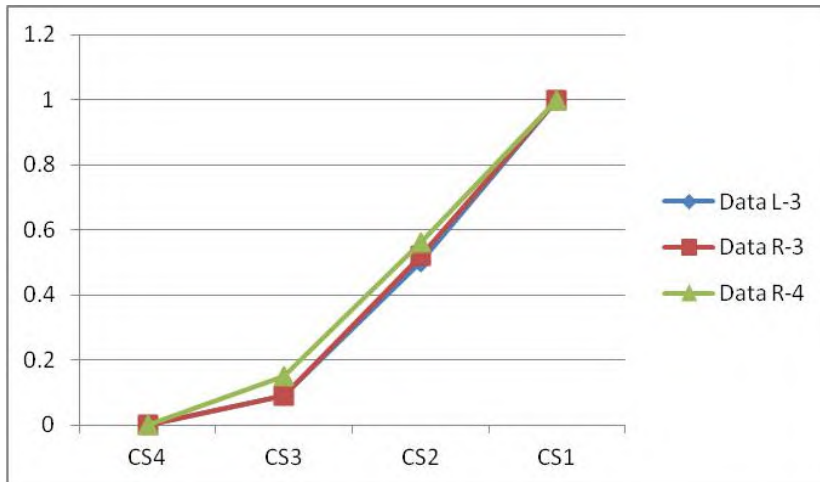
Model BBN diverifikasi melalui pemeriksaan yang sederhana, menggunakan kondisi input ekstrim sewenang-wenang untuk unsur-unsur ringan. Misalnya, ketika semua elemen kecil berada dalam keadaan tunggal, baik unsur-unsur utama dan kelompok jembatan harus diharapkan dalam keadaan yang sama (Sathananthan, 2010). Selain itu, model BBN halus dengan empat state per elemen juga dibangun dengan membagi skala menjadi empat interval yang sama. Seperti yang diharapkan kinerja kondisi yang lebih bergradasi terungkap. Kemudian

Hasil model BBN dibandingkan dengan distribusi probabilitas dihitung untuk kelompok jembatan. Seperti yang ditunjukkan pada Grafik. 4.2, perjanjian secara keseluruhan baik diamati bahkan dengan model tiga negara, dengan perbedaan kecil antara data penetapan kondisi input awal dengan data kondisi

rata-rata, menunjukkan hasil mendekati sama. Perlu dicatat bahwa model empat state memerlukan input tambahan untuk probabilitas bersyarat. Untuk tujuan ilustrasi, tiga-model negara BBN digunakan dalam bagian berikut untuk menyelidiki kepekaan dan skenario 'bagaimana jika'. (lihat Gambar 4.10)



Gambar 4-10 Model BBN menggunakan skenario “Bagaiman jika ..”



Grafik 4-2. Perbandingan hasil inferen Model BBN menggunakan data pembelajaran dengan CS sama di setiap state (3 kondisi setiap state-Data L-3), CS berdasarkan hasil laporan MnDoT (Data R-3), dan 4 CS dalam setiap state dengan data input CS laporan MnDoT (Data R-4)



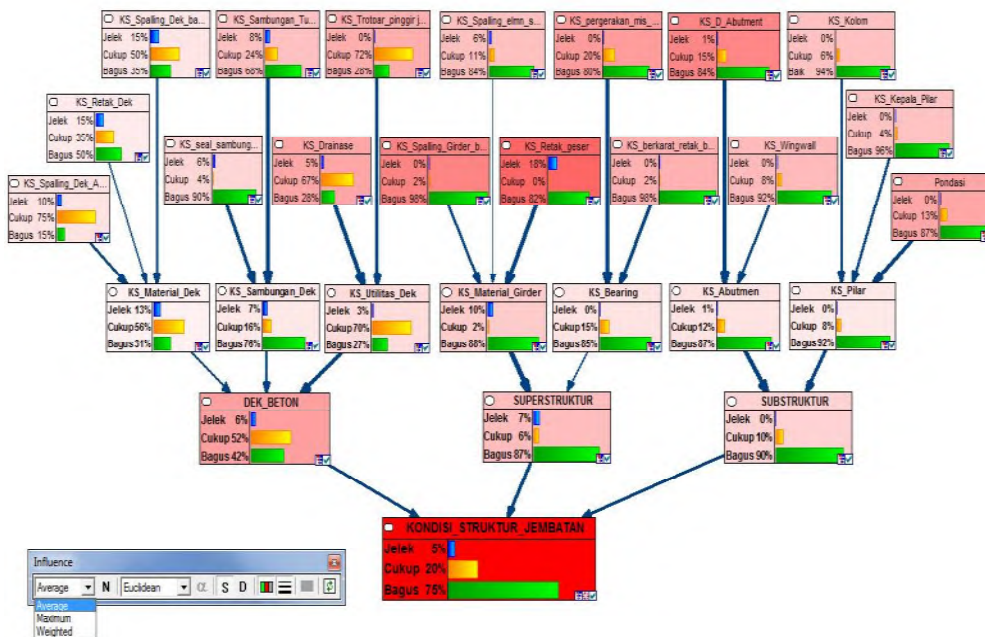
Untuk melakukan validasi model BBN jembatan beton bertulang dilakukan dengan cara analisa sensitivitas dan scenario “bagaimana jika”. Dalam Genie telah disediakan tool untuk mengetahui tingkat sensitivitas elemen terhadap target elemen yang diinginkan. Sebagai contoh, pada kondisi pertama BBN model memperlihatkan tingkat sensitivitas setiap elemen, semakin terang warna latar belakang memperlihatkan tingkat sensitivitas yang semakin kecil, atau semakin tebal warna latarbelakang node, maka semakin besar sensitivitas elemen tersebut terhadap elemen yang lain. Begitu juga ketebalan garis memperlihatkan besar kecilnya pengaruh terhadap elemen anaknya. Semakin tipis garisnya maka semakin kecil mempengaruhi kondisi anaknya, begitu pula sebaliknya. Untuk menguji tingkat pengaruh dan sensitivitas, scenario “bagaimana jika” akan dipergunakan. Lihat gambar 4.11.

Pada kasus pertama dipilih satu elemen dasar yang memiliki sensitivitas dan pengaruh yang kecil, dipilih elemen dasar KS\_Retak\_Dek dianggap seratus persen jelek, bagaimana pengaruhnya terhadap target anaknya, dalam hal ini kita pilih targetnya adalah Dek\_Beton.

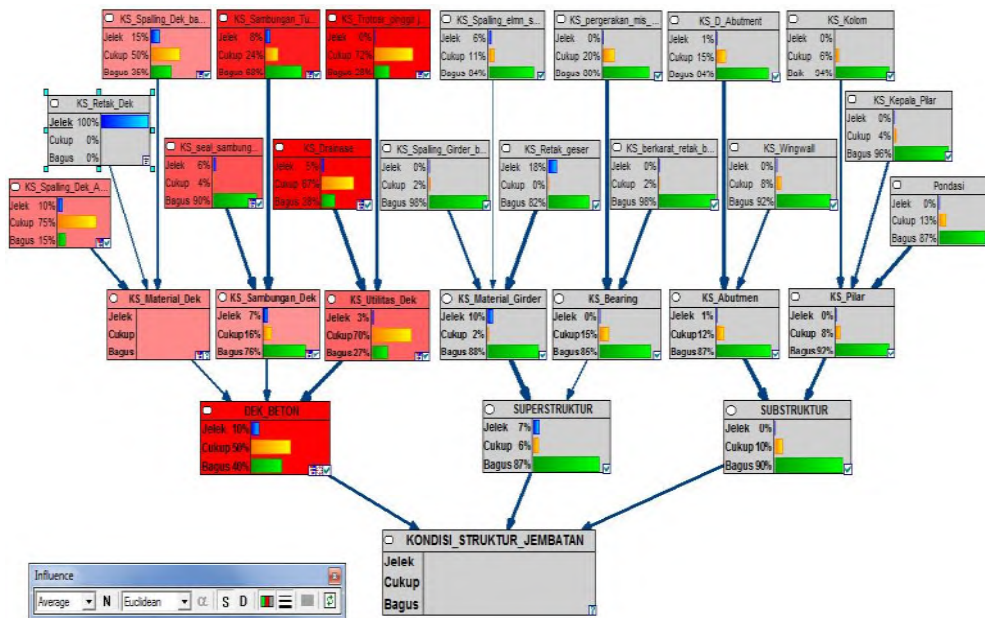
Pada kasus kedua dipilih satu elemen dasar yang memiliki sensitivitas dan pengaruh yang besar, dipilih elemen dasar KS\_Sambungan dianggap seratus persen jelek, bagaimana pengaruhnya terhadap target anaknya, dalam hal ini kita pilih targetnya adalah Dek\_Beton. (lihat Gambar 4.12)

Pembuktian, dari kasus pertama perubahan kondisi jelek pada node anak Dek\_beton bertambah dari 6% menjadi sekitar 10%, artinya pengaruh hampir 200% (lihat Gambar 4.13). Pada kasus kedua kondisi dek beton berubah statusnya, state kondisi jelek dari 6 % menjadi 22%, artinya bila KS\_sambungan menjadi jelek akan mempengaruhi kerusakan komponen dek turun hingga mendekati 400%. Artinya bila dilakukan perawatan hanya berdasarkan besarnya kondisi elemen jembatan, bukan dari tingkat sensitivitas atau tingkat pengaruhnya terhadap node anak akan mengakibatkan pembuatan keputusan yang salah.

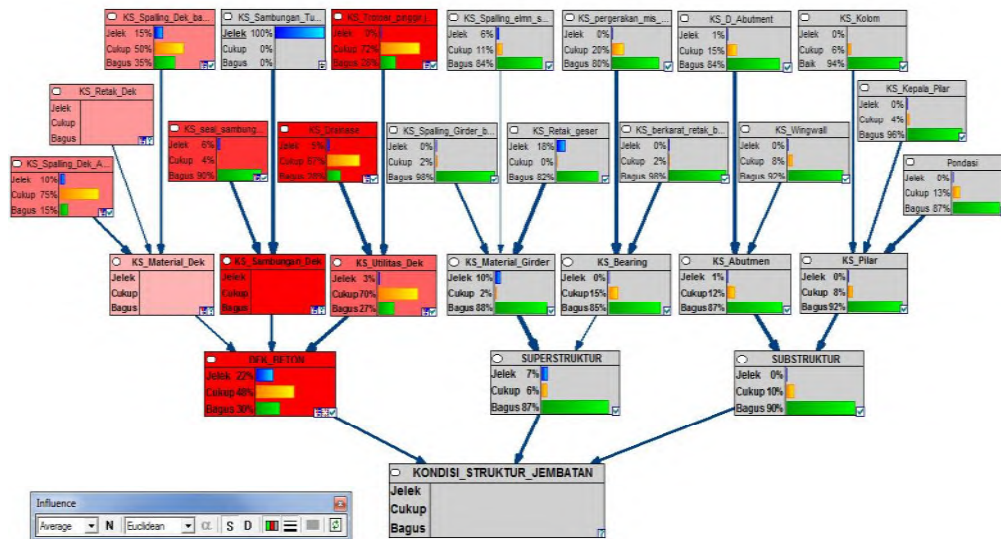
Kesimpulannya model BBN jembatan beton ini dapat menjawab tujuan dibuatnya model prediksi kesehatan struktur jembatan beton bertulang.



Gambar 4-11 Model BBN dalam tampilan sensitivitas dan tingkat pengaruh elemen orang tua.



Gambar 4-12 Model BBN bagaimana jika elemen KS\_Retak dek 100% jelek, dan dampaknya terhadap Dek Beton



Gambar 4-13. Model BBN bagaimana jika elemen KS\_SambunganT 100% jelek, dan dampaknya terhadap Dek Beton

#### 4.1.4 Ringkasan

Tujuan dari bab ini adalah untuk mengembangkan Model prediksi kesehatan jembatan didasarkan pada BBNs berlaku umum dengan tingkat prediksi penetapan kondisi. Model yang diusulkan ditandai dengan pemodelan probabilistik jembatan kerusakan dengan cara hirarkis, dan diuraikan melalui tiga langkah: pertimbangan pemodelan, pengembangan BBN dan estimasi parameter.

#### 4.2 Validasi : Studi Kasus

Prediksi penilaian kesehatan struktur jembatan beton bertulang *COON RAPIDS BLVD over NB EAST RIVER* yang berlokasi di Anoka Conuty, Minnesota (lihat Gambar 4.14) dipakai sebagai studi kasus untuk memvalidasi model yang diusulkan. Data yang digunakan dalam studi kasus ini adalah laporan inventori struktur Mn/DOT tahun 2014 yang di unduh dari MnDOT (2015) pada tanggal 9 Januari 2016. MnDOT (2015) melaporkan penilaian peringkat kondisi NBI struktur jembatan Coon terakhir (2014) secara global dalam kondisi cukup (NBI CR = 5) dengan uraian sebagai berikut: *dek* dengan kondisi *cukup* (NBI CR = 5), *superstruktur* dengan kondisi *baik* (NBI CR = 7), dan *substruktur* dengan kondisi *cukup* (NBI CR = 5), hasil pemeriksaan jembatan Coon secara lengkap

dapat di lihat pada lampiran 1. Validasi model yang diusulkan digunakan untuk menganalisa tingkat ketelitian/akurasi penilaian peringkat kondisi jembatan, dan proses validasi model secara detail dijelaskan pada subbab ini.



Gambar 4-14 Jembatan 02522 - COON RAPIDS BLVD overes NB EAST RIVER, Anoka-Minnesota

#### **4.2.1 Identifikasi variabel dan penetapan kondisi jembatan *Coon Rapid Blvd***

##### **Identifikasi variabel jembatan Coon.**

Berdasarkan data laporan MnDOT tentang inventarisasi struktur jembatan Coon, maka identifikasi variabel model dapat ditentukan. Pada Tabel 4-3, memperlihatkan rangkuman komponen dan elemen dari jembatan Coon. Perbedaan antara elemen jembatan Coon dengan jembatan model adalah tidak terdapatnya data penetapan kondisi untuk elemen tiang pondasi cor ditempat pada jembatan Coon, sedangkan pada jembatan model yang diusulkan terdapat elemen tiang pondasi cor ditempat. (lihat Tabel 4-4). Untuk mengetahui akurasi prediksi kesehatan struktur jembatan Coon, maka digunakan dua skenario model yang

akan dianalisa dan dipilih model yang terbaik tingkat akurasi prediksinya. Kedua skenario tersebut adalah:

- Skenario A, model Bayesian disamakan dengan model yang digunakan dalam verifikasi model dengan memasukan nilai penetapan kondisi untuk tiang pondasi cor ditempat diasumsikan bernilai baik 100%. (pada kenyataannya belum tentu).
- Skenario B, model Bayesian yang digunakan meniadakan elemen tiang pondasi cor ditempat, sesuai dengan hasil laporan inspektor.

Dari skenario A dan skenario B, maka diperoleh variabel yang akan digunakan dalam model Bayesian. Perbedaan variabel antara skenario A dan B adalah pada variabel yang mempengaruhi komponen substruktur, khususnya pada elemen pilar.

Tabel 4-3 Komponen dan Elemen Jembatan Coon

NAMA STRUKTUR	NAMA KOMPONEN	NAMA ELEMEN DASAR (Cacat)
SELURUH JEMBATAN	DEK BETON	Spalling pada Permukaan atas Dek
		Retak pada Deck
		Spalling , pengapuran Dek bawah
		Seal sambungan
		Sambungan Tuang Deck
		Pagar Beton
		Drainase
	SUPER STRUKTUR	Pinggir jalan & trotoar
		Girder atau Beam Beton Pratekan
		Elemen Struktural Sekunder
		Retak geser
		Bantalan ekspansi
		bantalan tetap
		SUB STRUKTUR
Kepala kolom beton		
Abutment Beton bertulang		
Wingwall Beton bertulang		

Sumber : hasil olahan (2016)

Tabel 4-4 Kondisi elemen Jembatan Coon dan Jembatan Model

NAMA KOMPONEN	NAMA ELEMEN DASAR (Cacat)	Kondisi Elemen	
		Model	Coon
DEK BETON	Spalling pada Permukaan atas Dek	Y	Y
	Retak pada Deck	Y	Y
	Spalling , pengapuran Dek bawah	Y	Y
	Seal sambungan	Y	Y
	Sambungan Tuang Deck	Y	Y
	Pagar Beton	Y	Y
	Drainase	Y	Y
	Pinggir jalan & trotoar	Y	Y
SUPER STRUKTUR	Girder atau Beam Beton Pratekan	Y	Y
	Elemen Struktural Sekunder	Y	Y
	Retak geser	Y	Y
	Bantalan ekspansi	Y	Y
	bantalan tetap	Y	Y
SUB STRUKTUR	Kolom (Pilar/ tinang) beton	Y	Y
	Kepala kolom beton	Y	Y
	<i>Tiang pondasi cor di tempat*</i>	<i>Y</i>	<i>T</i>
	Abutment Beton bertulang	Y	Y
	Wingwall Beton bertulang	Y	Y

Catatan:\* optional. Sumber hasil olahan data inspeksi 2016

### Penetapan Kondisi elemen jembatan Coon.

Penetapan kondisi untuk komponen dan elemen jembatan Coon mempergunakan empat kelas yaitu penetapan kondisi *bagus* (CS1), penetapan kondisi *cukup* (CS2), penetapan kondisi *buruk atau jelek* (CS3) dan penetapan kondisi *rusak* (CS4), yang mengacu pada AASHTO. Terdapat dua tabel penetapan kondisi elemen jembatan Coon yaitu penetapan kondisi untuk skenario A dan skenario B. Pada skenario A data penetapan kondisi diperoleh dari hasil laporan inventarisasi struktur MnDOT tahun 2015 dengan menambahkan asumsi penetapan kondisi elemen tiang pondasi cor ditempat adalah bagus (CS 1). Pada skenario B data penetapan kondisi diperoleh dari hasil laporan inventarisasi struktur MnDOT tahun 2015 secara langsung. (lihat Tabel 4-5)

Tabel 4-5 Data penetapan kondisi untuk elemen dasar jembatan Coon.

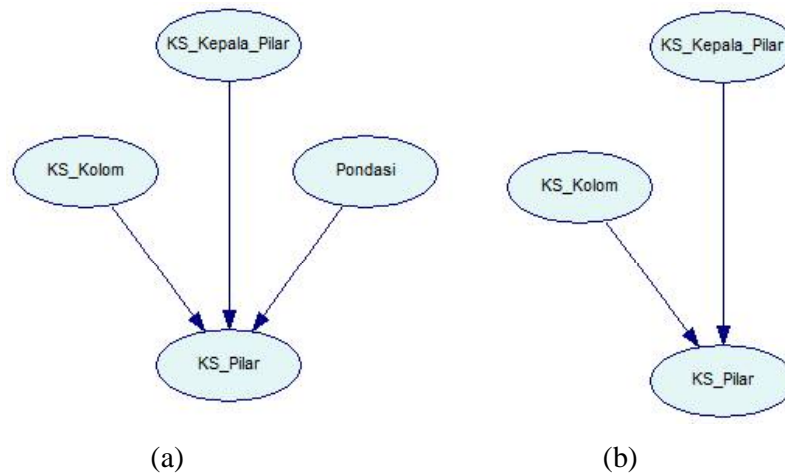
NAMA ELEMEN	NAMA ELEMEN DASAR	PROBABILITAS "CONDITION STATE"			
		1	2	3	4
KS_Material_Dek	Spalling pada Permukaan atas Dek	0.00	0.00	1.00	0.00
	Retak pada Deck	0.00	0.00	1.00	0.00
	Spalling , pengapuran Dek bawah	0.00	1.00	0.00	0.00
KS_Sambungan_Dek	Seal sambungan	0.97	0.03	0.00	0.00
	Sambungan Tuang Deck	0.00	0.99	0.01	0.00
KS_Utilitas_Dek	Pagar Beton	0.89	0.08	0.03	0.00
	Drainase	0.00	1.00	0.00	0.00
	Pinggir jalan & trotoar	1.00	0.00	0.00	0.00
KS_Material_Girder	Girder atau Beam Beton Pratekan	1.00	0.00	0.00	0.00
	Elemen Struktural Sekunder	1.00	0.00	0.00	0.00
	Retak geser	1.00	0.00	0.00	0.00
KS_Bearing	Bantalan ekspansi	0.00	1.00	0.00	0.00
	bantalan tetap	0.00	1.00	0.00	0.00
KS_Pilar	Kolom (Pilar/ tiang) beton	0.00	1.00	0.00	0.00
	Kepala kolom beton	1.00	0.00	0.00	0.00
	<i>Tiang pondasi cor di tempat*</i>	<i>1.00</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>
Penetapan kondisi Abutmen	Abutment Beton bertulang	0.00	0.50	0.50	0.00
	Wingwall Beton bertulang	0.00	1.00	0.00	0.00

Sumber MnDOT (2015)

NB.\* Asumsi nilai penetapan kondisi untuk skenario A

#### 4.2.2 Hubungan antara variabel dalam jaringan

Berdasarkan variabel yang ada pada model skenario A dan B, maka kita dapat menggambarkan hubungan antara variabel dalam jaringan Bayesian. Karena variabel jaringan pada jembatan Coon pada skenario A dan variabel jaringan pada jembatan model yang diusulkan tidak terdapat perbedaan, maka hubungan variabel dalam jaringan jembatan model dapat langsung diterapkan untuk jembatan Coon (lihat Gambar 4.8). Berbeda dengan skenario A, pada skenario B harus melakukan modifikasi hubungan variabel untuk elemen pilar. Pemodelan untuk kasus pondasi mempengaruhi pilar disajikan pada Gambar 4.15.(a), sedangkan pemodelan pilar tanpa dipengaruhi oleh pondasi dapat dilihat pada Gambar 4.15. (b)



Gambar 4-15 BBN kondisi pilar, (a) skenario A dan (b) skenario B

#### 4.2.3 Estimasi parameter (Menentukan *Condition Probability Tables /CPT*)

Pada bagian ini, parameter estimasi untuk model BNN pada skenario A memerlukan 1664 probabilitas untuk mengisi CPT sistem model. Untuk menentukan nilai CPT tersebut, dibutuhkan data CS dari jembatan Coon (Tabel 4.5) dan data ahli (lihat Tabel 4.1, Tabel 3-5, dan Tabel 3-6). Selanjutnya dengan mempergunakan persamaan (4.1) sampai dengan persamaan (4.15) akan diperoleh nilai CPT untuk skenario A, secara lengkap dapat dilihat pada lampiran 3. Proses pembelajaran parameter telah dilakukan pada subbab 4.1.1.3.

Dengan langkah yang sama, maka penentuan nilai CPT untuk skenario B dapat dilakukan dengan beberapa penyesuaian, seperti:

- Bobot elemen dasar menggunakan Tabel 4.1 dengan merubah bobot elemen dasar pilar dengan Tabel 4.6, sedangkan Tabel 3-5 dan Tabel 3-6 tetap digunakan.
- Persamaan untuk menentukan nilai probabilitas pilar BP (4.10) menjadi

$$BP = 0.5 KK + 0.5 KC \quad \dots\dots\dots (4.16)$$

Tabel 4-6 Bobot elemen dasar untuk pilar tidak dipengaruhi pondasi

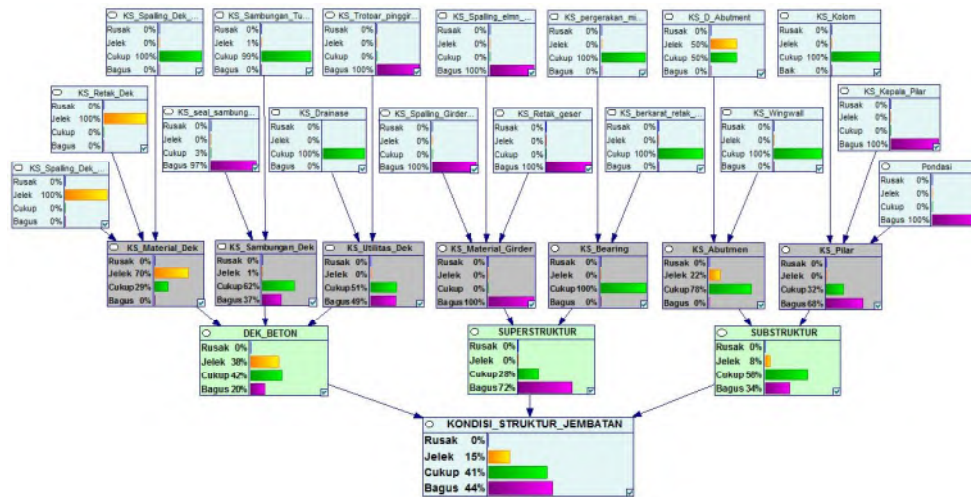
Variabel	NAMA ELEMEN DASAR	Faktor Elemen	Bobot Elemen	Sumber
KK	Kolom (Pilar/ tinang) beton	8	0.500	Yanef B.
KP	Kepala kolom beton	8	0.500	Yanef B.



#### 4.2.4 Hasil Prediksi penilaian kondisi dari Model BBN jembatan beton

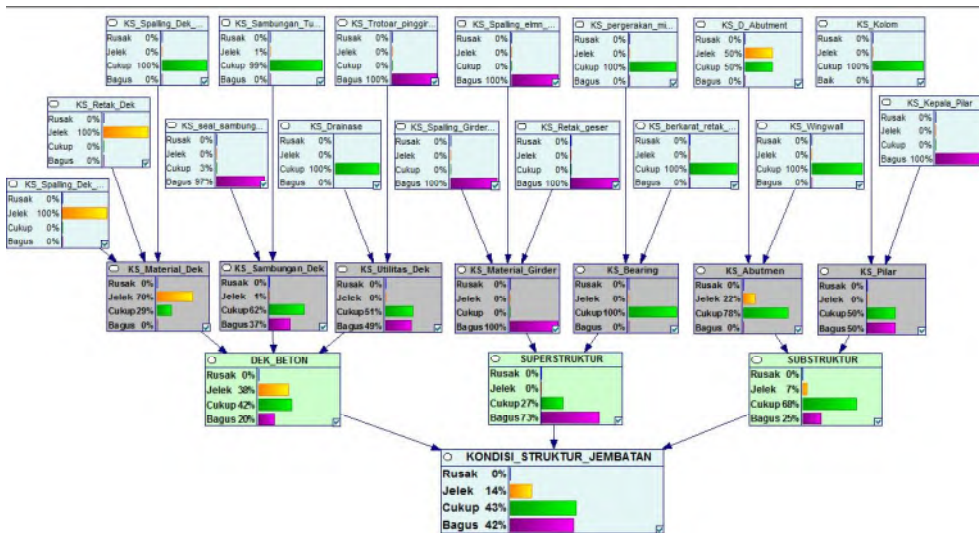
Dengan menggunakan software Genie, maka proses inferensi dapat dilakukan dengan cepat. Adapun hasil yang diperoleh adalah :

- Pada skenario A, hasil estimasi prediksi penilaian kondisi jembatan adalah pada komponen Dek (CS4 = 0, CS3 = 38, CS2 = 42, CS1 = 20), komponen superstruktur (CS4 = 0, CS3 = 0, CS2 = 27, CS1 = 73) dan pada komponen substruktur (CS4 = 0, CS3 = 8, CS2 = 58, CS1 = 34) serta untuk jembatan secara keseluruhan (CS4 = 0, CS3 = 15, CS2 = 41, CS1 = 44). lihat Gambar 4.16.



Gambar 4-16 Hasil Prediksi penilaian kondisi jembatan model BBN – skenario A, pilar dipengaruhi oleh pondasi

Pada skenario B hasil estimasi prediksi penilaian kondisi jembatan adalah pada komponen Dek (CS4 = 0, CS3 = 38, CS2 = 42, CS1 = 20), komponen superstruktur (CS4 = 0, CS3 = 0, CS2 = 27, CS1 = 73) dan pada komponen substruktur (CS4 = 0, CS3 = 7, CS2 = 68, CS1 = 25) serta untuk jembatan secara keseluruhan (CS4 = 0, CS3 = 14, CS2 = 42, CS1 = 43), lihat gambar 4.17



Gambar 4-17 Hasil Prediksi penilaian kondisi jembatan model BBN – skenario B, pilar tanpa dipengaruhi oleh pondasi

### 4.3 Hasil dan pembahasan

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan model BBN untuk jembatan Coon adalah pada skenario A dan skenario B, kondisi elemen jembatan untuk komponen dek adalah sama yaitu kondisi buruk 38%, kondisi cukup 42%, kondisi baik 20%, kemudian kondisi komponen superstruktur adalah kondisi cukup 27% dan kondisi baik 73%. Selanjutnya untuk komponen substruktur kondisi buruk (skenario A, skenario B) = (8% , 7%), kondisi cukup ( 58%, 56%), kondisi baik (34%, 25%). Kemudian kondisi untuk struktur jembatan Coon secara keseluruhan adalah kondisi buruk (15%, 14%), kondisi cukup (41%, 43%), dan kondisi baik (44%, 42%). Untuk lebih detail dapat pada Tabel 4.7

Tabel 4-7 Rangkuman prediksi penilaian kondisi jembatan Coon

HIRARKI STRUKTUR	CR - Ahli MnDOT		CS - Model BBN		
	Kualitatif	Kuantitatif	Kualitatif	Kuantitatif	
				Skenario A	Skenario B
Dek	Cukup	5	Rusak		
			Buruk	38%	38%
			Cukup	42%	42%
			Baik	20%	20%
Suprastruktur	Baik	7	Rusak		
			Buruk		
			Cukup	28%	28%
			Baik	72%	72%
Substruktur	Cukup	5	Rusak		
			Buruk	8%	7%
			Cukup	58%	68%
			Baik	34%	25%
Struktur Jembatan	Cukup	5*	Rusak		
			Buruk	15%	14%
			Cukup	41%	43%
			Baik	44%	42%

NB. \* NBI Apraisal rating for structure evaluation

#### 4.3.1 Evaluasi kondisi kesehatan jembatan berdasarkan Panduan Penilaian kondisi jembatan.

Proses penilaian prediksi kesehatan struktur jembatan pada tingkat komponen berdasarkan salah satu cacat/kerusakan komponen jembatan yang terbesar/maksimum dan diberi peringkat kondisi menurut standar NBI. Sedangkan prediksi penetapan kondisi elemen berdasarkan persentase kerusakan dari setiap kondisi kerusakannya terhadap seluruh/total kerusakan setiap komponen/elemen jembatan. Sehingga untuk menganalisa tingkat akurasi prediksi kesehatan struktur jembatan dilakukan dengan cara penilaian yang sama antara peringkat kondisi (CR NBI) dengan penetapan kondisi (CS BME). Satuan penilaian kondisi yang sama antara CR NBI dengan CS BME adalah penilaian secara kualitatif. Penilaian akhir penetapan kondisi dari setiap komponen jembatan ditentukan dari nilai probabilitas maksimum yang terjadi.

- Analisa Skenario A.

Pada Tabel 4.8, memperlihatkan hasil analisa akurasi model prediksi kesehatan jembatan dengan penilaian prediksi dari inspektor/ahli. Pada komponen utama jembatan Coon seperti: dek, superstruktur dan substruktur memiliki tingkat akurasi prediksi kesehatan jembatan yang tinggi (100%). Sedangkan untuk kondisi kesehatan jembatan Coon secara global menunjukkan hasil yang tidak akurat, hal ini disebabkan perbedaan nilai probabilitas kondisi baik (44%) dan kondisi cukup (41%) memiliki selisih 3% artinya relatife kecil. Faktor keberadaan tiang pondasi yang diasumsikan ada pilar jembatan dengan penilaian kondisi 100% baik turut berpengaruh terhadap hasil akhir penilaian model. Bila nilai kondisi tiang pondasi dinilai cukup, tentunya hasil akhir dari model BNN kesehatan jembatan Coon akan sama dengan penilaian dari inspektor.

Kesimpulan dari model prediksi kesehatan struktur jembatan berbasis jaringan Bayesian memiliki tingkat akurasi kurang lebih 97% dari penilaian ahli (tingkat penyimpangan diperkirakan 3% pada kondisi jembatan global).

Tabel 4-8 Analisa Model prediksi kesehatan struktur jembatan Coon dengan skenario A

HIRARKI STRUKTUR	Analisa CS Model			CS Model	CS - Ahli	Akurasi (Y/T)
	Kuali tatif	Kuan tatif	Prob. Maks			
DEK	Rusak			Cukup	Cukup	Y
	Buruk	38%	42%			
	<b>Cukup</b>	<b>42%</b>				
	Baik	20%				
SUPER STRUKTUR	Rusak				Baik	Baik
	Buruk		72%			
	Cukup	28%				
	<b>Baik</b>	<b>72%</b>				
SUB STRUKTUR	Rusak				Cukup	Cukup
	Buruk	8%	58%			
	<b>Cukup</b>	<b>58%</b>				
	Baik	34%				
STRUKTUR JEMBATAN	Rusak				Baik	Cukup
	Buruk	15%	44%			
	Cukup	41%				
	<b>Baik</b>	<b>44%</b>				

- Analisa Skenario B.

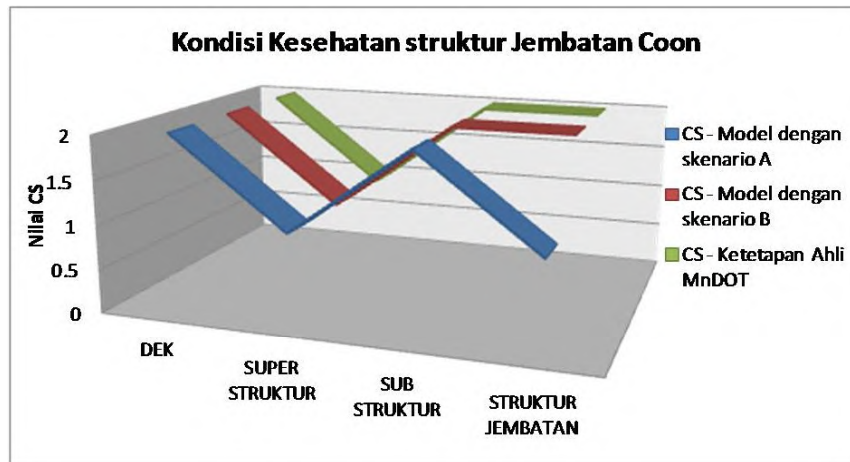
Pada Tabel 4-9, memperlihatkan hasil analisa akurasi model prediksi kesehatan jembatan dengan penilaian prediksi dari inspektor/ahli. Pada komponen utama jembatan Coon seperti: dek, superstruktur dan substruktur serta jembatan global memiliki tingkat akurasi prediksi kesehatan jembatan yang tinggi.

Kesimpulan dari model prediksi kesehatan struktur jembatan berbasis jaringan Bayesian memiliki tingkat akurasi tinggi (100%). Artinya model yang diusulkan akan menghasilkan nilai yang sama dengan penilaian yang ditetapkan oleh inspektor/ahli.

Tabel 4-9 Analisa Model prediksi kesehatan struktur jembatan Coon dengan skenario B

HIRARKI STRUKTUR	Analisa CS Model			CS Model	CS - Ahli	Akurasi (Y/T)
	Kuali tatif	Kuan tatif	Prob. Maks			
DEK	Rusak		42%	Cukup	Cukup	Y
	Buruk	38%				
	<b>Cukup</b>	<b>42%</b>				
	Baik	20%				
SUPER STRUKTUR	Rusak		72%	Baik	Baik	Y
	Buruk					
	Cukup	28%				
	<b>Baik</b>	<b>72%</b>				
SUB STRUKTUR	Rusak		68%	Cukup	Cukup	Y
	Buruk	7%				
	<b>Cukup</b>	<b>68%</b>				
	Baik	25%				
STRUKTUR JEMBATAN	Rusak		44%	Cukup	Cukup	Y
	Buruk	14%				
	<b>Cukup</b>	<b>44%</b>				
	Baik	42%				

Resume dari kedua skenario model prediksi kesehatan struktur jembatan yang di usulkan, maka skenario B (pemodelan jaringan Bayesian sesuai dengan jumlah variabel yang dimiliki oleh jembatan Coon) memiliki tingkat akurasi penilaian yang lebih baik yaitu 100%. (lihat Grafik 4.3).



Grafik 4-3 Penilaian Penetapan kondisi Kesehatan Jembatan Coon Hasil Olahan (2016)

Hasil yang dapat diambil dari kedua validasi model adalah untuk prediksi kesehatan struktur jembatan ditingkat komponen adalah 100% sama dengan penilai yang dibuat oleh ahli, sedangkan untuk prediksi kesehatan jembatan ditingkat global adalah berkisar 97% sampai 100% dari penilaian yang dibuat oleh ahli.

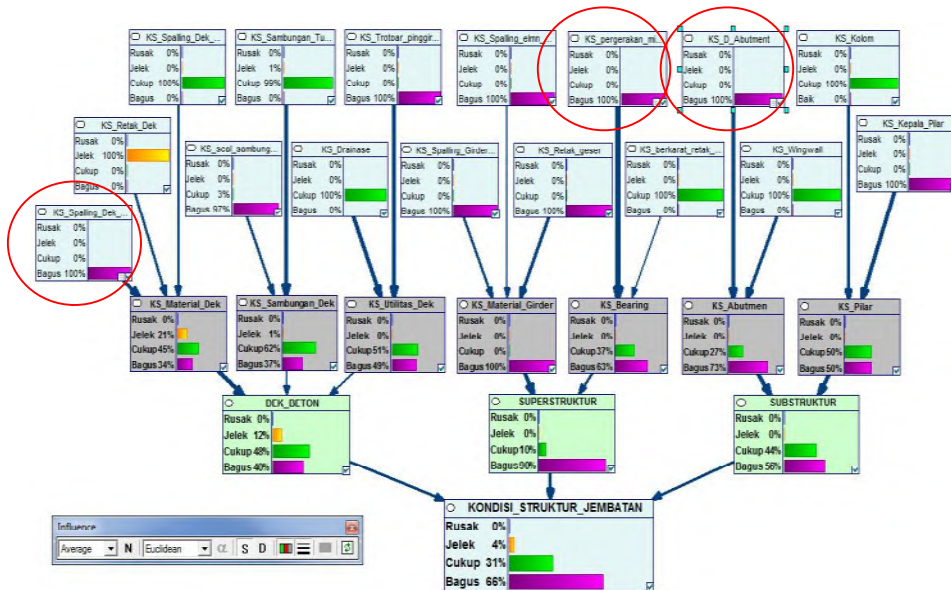
#### 4.3.2 Manfaat BBN model yang diusulkan.

Dari perbedaan bentuk keluaran prediksi kesehatan jembatan antara model penilaian yang diusulkan dengan penilaian ahli, akan memiliki dampak langsung dari keputusan yang diambil manajer jembatan dalam mengelola jembatan. Sebagai contoh, pengambilan keputusan manajemen berdasarkan hasil penilaian inspektur/ahli, komponen dek dan komponen substruktur kondisinya diperbaiki dari kondisi cukup ( $CR = 5$ ) menjadi kondisi baik ( $CR = 7$ ). Dampak dari keputusan ini adalah perbaikan semua elemen dasar komponen dek dan substruktur, karena semua elemen dasar mengalami perbaikan, maka biaya perbaikan/perawatan dan pengelolaan jembatan akan menjadi besar. Keputusan ini akan berbeda hasilnya bila menggunakan model prediksi kesehatan struktur jembatan yang diusulkan. Pada model BNN yang diusulkan memerlukan biaya perbaikan/perawatan dan pengelolaan jembatan dengan biaya yang relatif lebih

efisien dibandingkan dengan cara di atas. Hal ini dapat dilakukan dengan mencoba skenario “bagaimana jika” (penetapan kondisi pada Gambar 4.21 di rubah menjadi Gambar 4.22) yaitu sebagai berikut:

- Bagaimana jika *kondisi elemen dek atas* dari *komponen dek* diperbaiki menjadi *kondisi baik 100%* dari *kondisi buruk 100%*,
- Bagaimana jika *elemen bearing yang tidak pada posisinya* pada komponen superstruktur diperbaiki dari *kondisi cukup 100%* menjadi *kondisi baik 100%*,
- Bagaimana jika dipilih satu elemen dari *substruktur* yaitu *elemen abutmen* diperbaiki dari *kondisi awalnya cukup 50%* dan *jelek 50%* menjadi *baik 100%*.

Hasil akhir kondisi kesehatan struktur jembatan Coon secara keseluruhan adalah; untuk *kondisi jelek* dari 14% menjadi 4%, kemudian *kondisi cukup* dari 43% menjadi 31%, dan *kondisi baik* dari 42% menjadi 66%. (lihat gambar 4.21). Artinya kondisi global jembatan meningkat dari *penetapan kondisi cukup* menjadi *penetapan kondisi baik*, hanya dengan memilih 3 elemen dasar yang memiliki *kondisi yang kurang* kemudian dilakukan perawatan/perbaikan satu atau 2 tingkat ke penetapan kondisi yang lebih baik.



Gambar 4-18 Penerapan skenario “bagaiman jika” untuk perbaikan kondisi struktur jembatan Coon

Dari hasil analisa di atas akan dapat dianalisa berapa besar biaya perbaikan yang paling ekonomis sesuai dengan keterbatasan anggaran perawatan jembatan yang disediakan oleh pemilik jembatan. Hal ini akan dibahas dalam penelitian berikutnya.

Analisa perkiraan kondisi kesehatan jembatan diatas baru dilakukan dalam kondisi satu satuan waktu yang tetap, dan belum mempertimbangkan dengan perubahan waktu yang ada, serta data yang ada untuk proses pembelajaran masih sangat terbatas, padahal data statistik dari historis data akan lebih akurat, dibandingkan dengan pendapat ahli yang masih ada komponen subyektifnya. Kekurangan pada sistem ini mungkin akan terjawab bila di analisa dalam keadaan dinamis. Dan ini merupakan pekerjaan yang harus dilakukan untuk waktu selanjutnya



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kehandalan model prediksi kesehatan jembatan berbasis jaringan Bayesian yang diusulkan adalah sebagai berikut:

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model prediksi kesehatan struktur jembatan yang diusulkan adalah: (a) penilaian pada tingkat komponen hasilnya keluaran dari model sebesar 100% sama dengan penilaian yang dibuat oleh ahli; (b) penilaian pada tingkat jembatan global hasilnya adalah 97% sampai 100% sama dengan nilai yang ditetapkan oleh ahli. Model yang diusulkan dapat melacak kebelakang untuk mencari tahu penyebab utama/kritis dari kerusakan komponen/elemen jembatan, sehingga akan memudahkan manajer dalam pengelolaan jembatan berkaitan dengan perawatan, perbaikan, atau penggantian struktur jembatan.

#### **5.2 Saran**

Perlunya memasukan unsur perubahan kondisi dari waktu-kewaktu, sehingga model ini dapat disempurnakan ke metode dinamis BN. Dan penilaian/penetapan kondisi elemen jembatan yang dilakukan secara kuantitatif membuka peluang untuk penilaian kesehatan jembatan mempergunakan sensor dan pada bagian selanjutnya dapat menggabungkan dua sistem pengelolaan jembatan yaitu *Structural Healt Monitoring (SHM)* dengan *Bridge Management System (BMS)*.

*laman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

Lampiran 1 Hirarki komponen dan elemen jembatan serta jenis cacat

COMPONENT	ELEMENT	DEFECT
<b>Decks</b>	<b>Deck</b>	
	Top Flange	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Delamination /Spall/Patched Area</li> <li>● Exposed Rebar</li> <li>● Efflorescence / Rust Staining</li> <li>● Cracking</li> <li>● Abrasion / Wear</li> <li>● Damage</li> </ul>
<b>Joints</b>		
	Strip Seal Expansion Joint	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Leakage</li> <li>● Seal Adhesion</li> <li>● Seal Damage</li> <li>● Seal Cracking</li> <li>● Debris Impaction</li> <li>● Adjacent Deck or Header</li> <li>● Metal Deterioration or Damage</li> <li>● Damage</li> </ul>
	Pourable Joint Seal	
	Compression Joint Seal	
	Assembly Joint/Seal (Modular)	
	Open Expansion Joint	
	Assembly Joint without Seal	
	Other Joint	
<b>Super structures</b>	<b>Girder/Beam</b>	
	Open Girder/Beam	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Delamination / Spall/ Patched Area</li> <li>● Exposed Rebar</li> <li>● Efflorescence / Rust Staining</li> <li>● Cracking</li> </ul>
	Floor Beam	

<b>Bearings</b>	Elastomeric	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Damage</li> <li>● Corrosion</li> <li>● Connection</li> <li>● Movement</li> <li>● Alignment</li> <li>● Bulging, Splitting or Tearing</li> <li>● Loss of Bearing Area</li> <li>● Damage</li> </ul>
	Movable (roller, sliding, etc.)	
	Enclosed/Concealed	
	Fixed	
	Pot	
	Disk	
	Other	
<b>Sub structures</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Delamination /Spall/Patched Area</li> <li>● Exposed Rebar</li> <li>● Efflorescence / Rust Staining</li> <li>● Cracking</li> <li>● Abrasion / Wear</li> <li>● Settlement</li> <li>● Scour</li> <li>● Damage</li> </ul>
Pier Wall		
Abutment		
Pile Cap/Footing		
Pier Cap		

*Catatan : Elemen NBEs tulisan berwarna hitam dan elemen MBEs tulisan berwarna biru. Sumber : AASHTO (2013)*

Lampiran 2. Tabel Data Mentah Laporan Inspeksi MnDoT

No	Kode	Jenis Cacat Pada Elemen	Bridge ID: 04012			
			CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377	<b>Deck</b> Low Slump Overlay (Concrete Deck with Uncoated Rebar or Epoxy Rebar)	23,793			
2	358	<b>Deck Smart Flags</b> Concrete Deck Cracking	1			
3	359	Concrete Deck Efflorescence		1		
4	300	<b>Deck Joints</b> Strip Seal Expansion Joint	146			
5	301	Pourable Joint Seal	1040	120		
7	331	<b>Bridge Railings</b> R Concrete or other Bridge Railing	370	370		
8	984	<b>Miscellaneous</b> Deck & Approach Drainage	1			
	986	Sidewalk, Curb, & Median	1			
9	109	<b>Superstructure Elemen</b> Prestressed or Post-Tensioned Concrete Elements	3000			
10	380	Secondary Structural Elements				
11	362	<b>Superstructure Smart Flags</b> Traffic Impact (Impact Damage)				
12	964	Critical Finding	1			
13	965	Concrete Shear Cracking				
14	310	<b>Bearings</b> Elastomeric Bearing	38	14		
15	311	Moveable Bearing (roller, sliding, etc.)				
16	313	Fixed Bearing	12			
17	205	<b>Substructure</b> Reinforced Concrete Column or Pile	12			
18	210	Reinforced Concrete Pier Wall				
19	215	Reinforced Concrete Abutment	131	15		
20	234	Reinforced Concrete Pier Cap	197	22		
21	387	Reinforced Concrete Wingwall	4			
22	382	Cast-In-Place (CIP) Piling				

Sumber: Hasil rangkuman data laporan inspeksi Minesota DoT (2016)

No	Kode	Bridge ID: 07023				Bridge ID: 13811			
		CS1	CS2	CS3	CS4	CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377		38150				14484		
2	358		1				1		
3	359		1					1	
4	300	243	100			102			
5	301		343			51		51	
7	331		682			734			
8	984	1					1		
	986						1		
9	109	4056				1688			
10	380	167	1					1	
11	362		1						
12	964	1				1			
13	965								
14	310								
15	311	63				34	2		
16	313	20				4			
17	205	23		1		9			
18	210								
19	215	146	48	35		85	20		
20	234	319	20	5		154			
21	387	4							
22	382								

No	Kode	Bridge ID: 19055				Bridge ID: 19056			
		CS1	CS2	CS3	CS4	CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377		24242				22369		
2	358	1				1			
3	359	1				1			
4	300	117		5		116	4		
5	301	269		36		120	180		
7	331	420	419			198	394	197	
8	984		1				1		
	986		1						
9	109	3271	33			2930	16		
10	380	1				1			
11	362								
12	964	1				1			
13	965	1				1			
14	310	46				41			
15	311								
16	313	20				19			
17	205	8	1			8	1		
18	210								
19	215	77	40			81	30		
20	234	168	7			153	14		
21	387	4							
22	382								

No	Kode	Bridge ID: 19859				Bridge ID: 22805			
		CS1	CS2	CS3	CS4	CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377		49370				15769		
2	358			1			1		
3	359		1					1	
4	300	315	5			145			
5	301			470		145			
7	331	602	602				792		
8	984 986		1				1		
9	109	5240				1860	10		
10	380	1				76	2		
11	362								
12	964	1				1			
13	965								
14	310	62	4			19			
15	311					9			
16	313	36				10			
17	205	25				8	1		
18	210								
19	215	45				80	17		
20	234	460	10			130	16		
21	387	4				4			
22	382								



No	Kode	Bridge ID: 22806				Bridge ID: 22819			
		CS1	CS2	CS3	CS4	CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377	13663					14058		
2	358	1				1			
3	359	1					1		
4	300	88				133			
5	301	140	80			113			
7	331	683		3					
8	984 986		1					1	
9	109	1552	12			1500	76		
10	380	58				58			
11	362	1							
12	964	1				1			
13	965								
14	310								
15	311		26			26			
16	313	10				10			
17	205	8	1			8	1		
18	210								
19	215	70	18			60	29		
20	234	132				130	3		
21	387	4				4			
22	382								

No	Kode	Bridge ID: 22826				Bridge ID: 24834			
		CS1	CS2	CS3	CS4	CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377		16546				12753		
2	358			1			1		
3	359	1					1		
4	300	72	16			82			
5	301			220		377	17	1	
7	331		746			549	21		
8	984		1				1		
	986						1		
9	109	1885	27			1587	3		
10	380	58				68	1		
11	362								
12	964	1				1			
13	965					1			
14	310	27	1						
15	311					36			
16	313	10	2			6			
17	205	6				9			
18	210								
19	215	70	22			64	25		
20	234	123	15			127	7		
21	387	4				3	1		
22	382								

No	Kode	Bridge ID: 27130				Bridge ID: 27302			
		CS1	CS2	CS3	CS4	CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377		23030				29959		
2	358		1				1		
3	359		1				1		
4	300	155				97			
5	301	441				193	92	6	
7	331	1				1600	89		
8	984 986		1				1		
9	109	3073				4212			
10	380	1				1			
11	362								
12	964	1				1			
13	965					1			
14	310					20			
15	311	57							
16	313	5				40			
17	205	12	4						
18	210					60			
19	215	154	1			67	4		
20	234	284	3			173	2		
21	387					2	2		
22	382								

No	Kode	Bridge ID: 27799				Bridge ID: 27831			
		CS1	CS2	CS3	CS4	CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377		57457					415396	
2	358	1						1	
3	359		1					1	
4	300	442				1745	20	3	
5	301	663	1			1268		500	
7	331	1111	395			10766	192		
8	984		1						1
	986		1	702					
9	109	6870	1			35686	749	5	1
10	380		1						
11	362		1			1			
12	964	1				1			
13	965								
14	310	18				110			
15	311	123					872	10	
16	313	100				439			
17	205	73	11			120	14		
18	210								
19	215	188	38			212	15		
20	234	856	11			5787	306	31	
21	387	1	1			4			
22	382					357	100	1	

No	Kode	Bridge ID: 31022S				Bridge ID: 83005			
		CS1	CS2	CS3	CS4	CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377		44275			19,863			
2	358		1			1			
3	359		1			1			
4	300	215				175	3		
5	301	507	80	75			180		
7	331		1957	45		658			
8	984 986		1			1			
9	109	5694		59		2171			
10	380		1			79			
11	362								
12	964	1				1			
13	965					26			
14	310					26			
15	311	43	14			11			
16	313	43	14			15			
17	205	30	1			9			
18	210								
19	215	127	15	1		121			
20	234	458	20			168	13		
21	387	2				4			
22	382								

No	Kode	Bridge ID: 83023				Bridge ID: 83027			
		CS1	CS2	CS3	CS4	CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377			26131			26978		
2	358	1				1			
3	359	1				1			
4	300	68	136	68		272			
5	301	220	52			272			
7	331	702				726			
8	984 986	1					1		
9	109	3156	3			3172	6		
10	380	100				126			
11	362								
12	964	1				1			
13	965	29				34			
14	310	39	7			48			
15	311								
16	313	18				20			
17	205	11		1		12			
18	210								
19	215	160	3	18		181			
20	234	272				272			
21	387	4				4			
22	382								

No	Kode	Bridge ID: 83023				Bridge ID: 83027			
		CS1	CS2	CS3	CS4	CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377			26131			26978		
2	358	1				1			
3	359	1				1			
4	300	68	136	68		272			
5	301	220	52			272			
7	331	702				726			
8	984 986	1					1		
9	109	3156	3			3172	6		
10	380	100				126			
11	362								
12	964	1				1			
13	965	29				34			
14	310	39	7			48			
15	311								
16	313	18				20			
17	205	11		1		12			
18	210								
19	215	160	3	18		181			
20	234	272				272			
21	387	4				4			
22	382								

No	Kode	Bridge ID: 86811			
		CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377		16716		
2	358	1			
3	359		1		
4	300	96	2		
5	301	76	60	15	
7	331	669			
8	984	1			
	986	1			
9	109	1689	10		
10	380	1			
11	362				
12	964	1			
13	965	1			
14	310				
15	311	18			
16	313	18			
17	205	9			
18	210				
19	215	91	8		
20	234	140	11		
21	387	4			
22	382				



Lampiran 3 Tabel Data Tahun dibangun-di periksa dan panjang bentang

No	ID Jembatan	Tahun dibangun	Tahun Inspeksi	Panjang Bentang Utama [meter]	Panjang Jembatan [meter]	Jumlah Bentang
1	04012	1979	2012	33	114	4
2	07023	1976	2013	34	105	4
3	13811	1970	2012	31	101	4
4	19055	1978	2013	34	122	4
5	19056	1978	2013	34	114	4
6	19859	1979	2012	34	186	6
7	22805	1976	2011	32	122	4
8	22806	1974	2013	30	106	4
9	22819	1973	2011	30	108	4
10	22826	1976	2011	34	115	4
11	24834	1971	2013	27	88	4
12	27130	1972	2012	34	136	5
13	27302	2010	2014	44	261	6
14	27799	1968/1986	2013	19	160	9
15	27831	1967/1977	2013	20	842	50
16	31022S	1976	2013	34	308	10
17	83005	1975	2012	30	102	4
18	83023	1977	2012	34	109	4
19	83027	1977	2012	35	112	4
20	86811	1973	2013	32	103	4
		Mean		31.75	170.7	
		Panjang Max		44		
		Panjang Min		19		
<b>Data Jembatan untuk Validasi</b>						
<b>1</b>	<b>Bridge ID: 02522</b>	<b>1972</b>	<b>2103</b>	<b>28</b>	<b>101</b>	<b>4</b>

Sumber : Hasil Olahan (2016)

Lampiran 4 Tabel Tingkat kepentingan elemen dasar terhadap jembatan

No	Kode	Jenis Cacat Pada Elemen	Jumlah
1	22/377	Low Slump Overlay (Concrete Deck with Uncoated Rebar or Epoxy Rebar)	20
2	358	Concrete Deck Cracking	20
3	359	Concrete Deck Efflorescence	20
4	300	Strip Seal Expansion Joint	20
5	301	Pourable Joint Seal	20
6	331	R Concrete or other Bridge Railing	19
7	984	Deck & Approach Drainage	19
8	986	Sidewalk, Curb, & Median	7
9	109	Prestressed or Post-Tensioned Concrete Elements	20
10	380	Secondary Structural Elements	18
11	362	Traffic Impact (Impact Damage)	4
12	964	Critical Finding	20
13	965	Concrete Shear Cracking	8
14	310	Elastomeric Bearing	12
15	311	Moveable Bearing (roller, sliding, etc.)	12
16	313	Fixed Bearing	20
17	205	Reinforced Concrete Column or Pile	19
18	210	Reinforced Concrete Pier Wall	1
19	215	Reinforced Concrete Abutment	20
20	234	Reinforced Concrete Pier Cap	20
21	387	Reinforced Concrete Wingwall	17
22	382	Cast-In-Place (CIP) Piling	1

Sumber: Hasil olahan 2016

Lampiran 5 Rangkuman pernyataan Kondisi elemen dasar Jembatan (20 sampel)

No	Kode	Jenis Cacat Pada Elemen	Rata-Rata Pernyataan Kondisi			
			CS1	CS2	CS3	CS4
1	22/377	Low Slump Overlay (Concrete Deck with Uncoated Rebar or Epoxy Rebar)	15%	75%	10%	
2	358	Concrete Deck Cracking	50%	35%	15%	
3	359	Concrete Deck Efflorescence	35%	50%	15%	
4	300	Strip Seal Expansion Joint	93%	5%	1%	
5	301	Pourable Joint Seal	64%	21%	16%	
7	331	R Concrete or other Bridge Railing	65%	33%	1%	
8	984	Deck & Approach Drainage	26%	63%	5%	5%
	986	Sidewalk, Curb, & Median	29%	57%	14%	
9	109	Prestressed or Post-Tensioned Concrete Elements	99%	1%	0%	0%
10	380	Secondary Structural Elements	83%	11%	6%	
11	362	Traffic Impact (Impact Damage)	50%	50%		
12	964	Critical Finding	100%			
13	965	Concrete Shear Cracking	100%			
14	310	Elastomeric Bearing	96%	4%		
15	311	Moveable Bearing (roller, sliding, etc.)	81%	19%	0%	
16	313	Fixed Bearing	98%	2%		
17	205	Reinforced Concrete Column or Pile	94%	6%	1%	
18	210	Reinforced Concrete Pier Wall	100%			
19	215	Reinforced Concrete Abutment	85%	14%	1%	
20	234	Reinforced Concrete Pier Cap	96%	4%	0%	
21	387	Reinforced Concrete Wingwall	93%	7%		
22	382	Cast-In-Place (CIP) Piling	78%	22%	0%	

Sumber: Hasil olahan 2016





### 4.3. ELEMEN SAMBUNGAN DEK

a). CPT berdasarkan penilaian ahli

0.385	Seal sambungan	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1
0.615	Sambungan Tuang Deck	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	1
<b>C</b>		1.000	0.385	0.385	0.385	0.615	0.000	0.000	0.000	0.615	0	0	0	0.615	0	0	0	0
		0.000	0.615	0.000	0.000	0.385	1.000	0.385	0.385	0.000	0.615	0	0	0	0.615	0	0	0
		0.000	0.000	0.615	0.000	0.000	0.000	0.615	0.000	0.385	0.385	1	0.385	0	0	0.615	0	0
		0.000	0.000	0.000	0.615	0.000	0.000	0.615	0.000	0	0	0	0.615	0.385	0.385	0.385	0.385	1

### 4.2. ELEMEN UTILITAS DEK

a). CPT berdasarkan penilaian ahli

0.500	Drainase	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1
0.500	Pinggir jalan & trotoar	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	1
<b>C</b>		1.000	0.500	0.500	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0	0	0	0.5	0	0	0	0
		0.000	0.500	0.000	0.000	0.500	1.000	0.500	0.500	0.000	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0
		0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.500	0.5	1	0.5	0	0	0.5	0	0
		0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.500	0.000	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1









<i>KS_Spalling_Girder_beton</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>KS_Spalling_elimm_sekunder</i>	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
<i>KS_Retak_geser</i>	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2
<b>D</b>	4	0.667	0.167	0.167	0.167	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000
	3	0.000	0.500	0.000	0.000	0.167	0.667	0.167	0.167	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000
	2	0.333	0.333	0.833	0.333	0.333	0.833	0.333	0.833	0.500	1.000	0.500	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.833	0.333
	1	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.667

<i>KS_Spalling_Girder_beton</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<i>KS_Spalling_elimm_sekunder</i>	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
<i>KS_Retak_geser</i>	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	
<b>D</b>	4	0.667	0.167	0.167	0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	
	3	0.000	0.500	0.000	0.167	0.667	0.167	0.167	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	
	2	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.500	0.000	0.167	0.667	0.667	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	
	1	0.333	0.333	0.333	0.833	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.500	0.500	1.000

### 3.3. ELEMEN BEARING

a). CPT berdasarkan penilaian ahli

0.741	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1
0.259	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
<b>C</b>	4	1.000	0.741	0.741	0.741	0.259	0.000	0.000	0.259	0	0	0	0.259	0	0	0
	3	0.000	0.259	0.000	0.000	0.741	1.000	0.741	0.000	0.259	0	0	0	0	0.259	0
	2	0.000	0.000	0.259	0.000	0.000	0.259	0.000	0.741	0.741	1	0.741	0	0	0.259	0
	1	0.000	0.000	0.000	0.259	0.000	0.000	0.259	0.000	0	0	0.259	0.741	0.741	0.741	1

### 3. KOMPONEN SUPERSTRUKTUR

a). CPT berdasarkan penilaian ahli

0.714	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1
0.286	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
<b>C</b>	4	1.000	0.714	0.714	0.714	0.286	0.000	0.000	0.286	0	0	0	0.286	0	0	0
	3	0.000	0.286	0.000	0.000	0.714	1.000	0.714	0.000	0.286	0	0	0	0.286	0	0
	2	0.000	0.000	0.286	0.000	0.000	0.286	0.000	0.714	0.714	1	0.714	0	0	0.286	0
	1	0.000	0.000	0.000	0.286	0.000	0.000	0.286	0.000	0	0	0.286	0.714	0.714	0.714	1







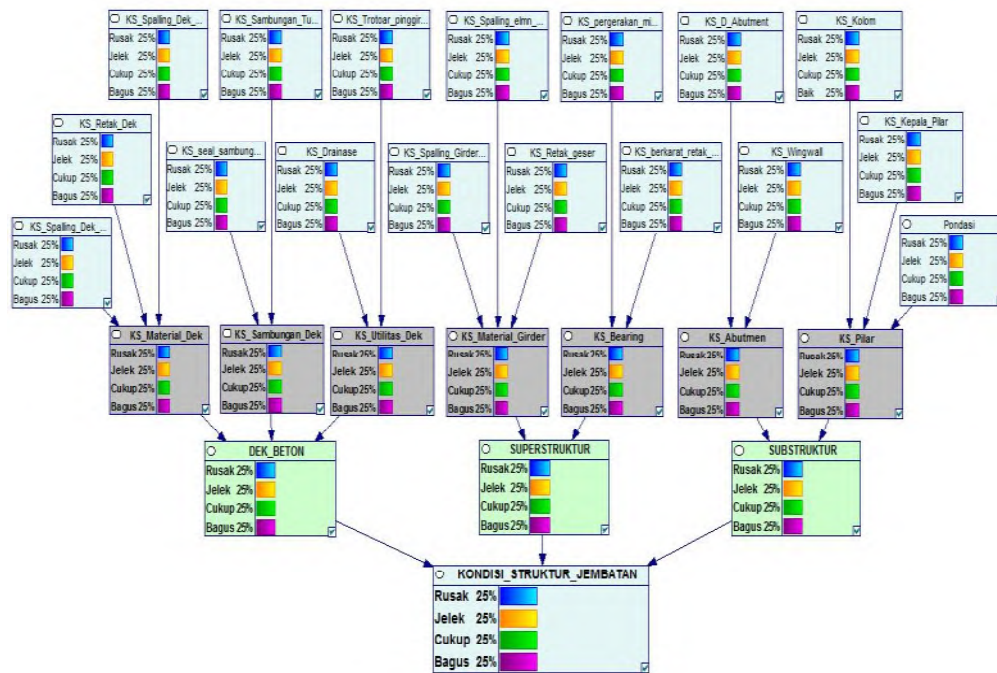


0.288	DEK	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0.404	SUP	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
0.308	SUB	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	1	1
4		0.712	0.404	0.404	0.404	0.308	0	0	0.308	0	0	0	0.308	0	0	0.308	0	0	0
3		0	0.308	0	0	0.404	0.712	0.404	0.404	0	0.308	0	0	0	0	0.308	0	0	0
2		0.288	0.288	0.596	0.288	0.288	0.288	0.596	0.288	0.692	0.692	1	0.692	0.288	0.288	0.288	0.596	0.288	0.288
1		0	0	0	0.308	0	0	0	0.308	0	0	0	0.308	0.404	0.404	0.404	0.404	0.404	0.712

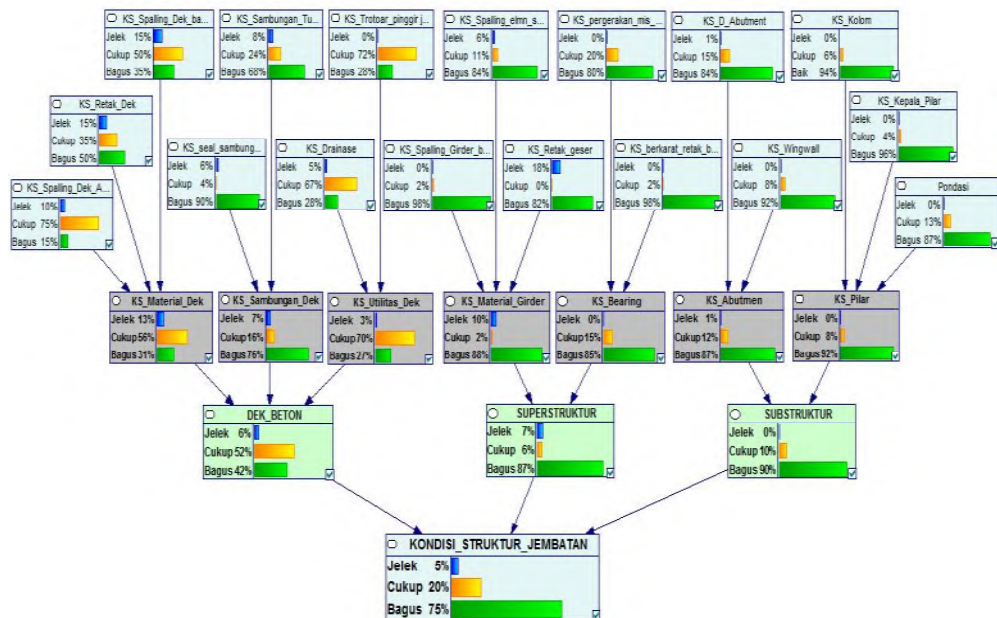
0.288	DEK	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.404	SUP	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
0.308	SUB	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	1	1
4		0.712	0.404	0.404	0.404	0.308	0	0	0.308	0	0	0	0.308	0	0	0.308	0	0	0
3		0	0.308	0	0	0.404	0.712	0.404	0.404	0	0.308	0	0.308	0	0	0.308	0	0	0
2		0	0	0.308	0	0	0	0.308	0	0.404	0.404	0.712	0.404	0	0.308	0	0	0	0
1		0.288	0.288	0.288	0.596	0.288	0.288	0.288	0.288	0.596	0.288	0.288	0.288	0.596	0.288	0.288	0.596	0.692	0.692



## Lampiran 7 Prediksi penilaian kondisi jembatan



Gambar 5-1 Hasil prediksi penilain kondisi jembatan dengan 4 penetapan kondisi dan input kondisi setiap state sama



Gambar 5-2 Hasil prediksi penilain kondisi jembatan dengan 3 penetapan kondisi dan input penetapan kondisi rata-rata hasil laporan MnDoT 2015



Gambar 5-3 Hasil prediksi penilain kondisi jembatan dengan 4 penetapan kondisi dan input penetapan kondisi rata-rata hasil laporan MnDoT 2015

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kehandalan model prediksi kesehatan jembatan berbasis jaringan Bayesian yang diusulkan adalah sebagai berikut:

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model prediksi kesehatan struktur jembatan yang diusulkan adalah: (a) penilaian pada tingkat komponen hasilnya keluaran dari model sebesar 100% sama dengan penilaian yang dibuat oleh ahli; (b) penilaian pada tingkat jembatan global hasilnya adalah 97% sampai 100% sama dengan nilai yang ditetapkan oleh ahli. Model yang diusulkan dapat melacak kebelakang untuk mencari tahu penyebab utama/kritis dari kerusakan komponen/elemen jembatan, sehingga akan memudahkan manajer dalam pengelolaan jembatan berkaitan dengan perawatan, perbaikan, atau penggantian struktur jembatan.

#### **5.2 Saran**

Perlunya memasukan unsur perubahan kondisi dari waktu-kewaktu, sehingga model ini dapat disempurnakan ke metode dinamis BN. Dan penilaian/penetapan kondisi elemen jembatan yang dilakukan secara kuantitatif membuka peluang untuk penilaian kesehatan jembatan mempergunakan sensor dan pada bagian selanjutnya dapat menggabungkan dua sistem pengelolaan jembatan yaitu *Structural Healt Monitoring (SHM)* dengan *Bridge Management System (BMS)*.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1994). *Manual for condition evaluation of Bridges*. Washington D.C: AASHTO.
- AASHTO. (2005). *Pontis Release 4.4 User's Manual*. Washington, D.C: AASHTO.
- AASHTO. (2010). *AASHTO Bridge Element Inspection Manual , 1st Edition*. USA: AASHTO.
- AASHTO. (2013). *The Manual for Bridge Evaluation, interim revisions'' . 2st Edition*. Washington, D.C: AASHTO.
- Agrawal A. K, A. K. (2010). Deterioration Rates of Typical Bridge Elements in New York. *Journal of Bridge Engineering, Vol. 15, No. 4*, 4-419–429.
- Agrawal, A. K., Kawaguchi, A., & Chen, Z. (2008). *Bridge Element Deterioration Rates*. New York: The City College of New York. Department of Civil Engineering.
- Aktan, A. E., Catbas, F. N., Grimmelsman, K. A., & Pervizpour, M. (2002). *Development of a Model Health Monitoring Guide for Major Bridges*. Drexel Intelligent Infrastructure and Transportation Safety Institute.
- Alharbi, M. (2014). *Context-aware Personal Learning Environment. Unpublished PhD Thesis*. United Kingdom: Software Technology Research Laboratory (STRL), De Montfort University.
- Attoh-Okine, N. O., & Bowers, S. (2006). A Bayesian belief network model for bridge deterioration. *Proc. ICE: Bridge Engineering, 159(2)*, 69-76.
- Basak, A., Brinster, I., & Mengshoel, O. J. (2012, December 1-6). MapReduce for Bayesian Network Parameter Learning using the EM Algorithm. *Proc. of Big Learning: Algorithms, Systems and Tools*.
- Bektas, B. A. (2015). *Next Generation Bridge Management Tools and .* Ames, Iowa: Institute for Transportation, Iowa State University.

- Bien, J. (1999). Expert Functions in Bridge Management Systems. *INTERNATIONAL BRIDGE MANAGEMENT CONFERENCE*. Denver, Colorado: TRB Transportation Research Circular.
- Bien, J., & Sawicki, M. (1995). Monitoring of railway bridges in Poland. *IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte*, 1515-1520.
- Bojidar, Y., & Life, R. B. (2003). Cycle Performance of Bridge Components in New York City. *9th International Bridge Management Conference*. Orlando: Transportation Research Board.
- Bu, G., Lee, J., Guan, H., Blumenstein, M., & Loo, Y.-C. (2012). Performance Prediction of Concrete Elements in Bridge Substructures using Integrated Deterioration Method. *Innovative Infrastructures - Toward Human Urbanism*.
- Cain, J. (2001). *Planning improvements in natural resources management : Guidelines for using Bayesian networks to support the planning and management of development programmes in the water sector and beyond*. UK: Centre for Ecology & Hydrology Crowmarsh Gifford, Wallingford, Oxon.
- Cheng, J., Greiner, R., Kelly, o., Bell, D., & Liu, W. (2002). Learning Bayesian Networks from data: An efficient approach based. *Artificial Intelligence* 137, 43–90.
- Choi, A., Darwiche, A., Zheng, L., & Mengshoel, O. J. (2012). A tutorial on Bayesian networks for system health management. *Journal Machine Learning and Knowledge Discovery for Engineering Systems Health Management, Volume 10*, 1-29.
- Dabous, S. A., & Alkass, S. (2010). A multi-attribute ranking method for bridge management. *Journal of Engineering, Construction and Architectural Management* 17 (3), 282–291.
- Dabous, S. A., & Alkass, S. (2010). A stochastic method for condition rating of concrete bridges. *Construction Research Congress* (pp. 558-567). Canada: ASCE.

- Dempster A., N. L. (1977). Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 1-38.
- DJ. (2015, 12 16). *Data Jembatan*. Retrieved from Data Jembatan: <http://www.datajembatan.com/>
- Dombrovskaya, M. (2014). Using Bayesian Belief Networks with Monte Carlo Simulation Modeling. *ICEAA Conference*. Denver, CO: ICEAA.
- DoT, O. (2014). *Manual of Bridge Inspection (v.8)*. Ohio: ORC.
- Druzdzel, M. J. (1999). SMILE: Structural Modeling, Inference, and Learning Engine and GeNIe: A Development Environment for Graphical Decision-Theoretic Models. . *the Sixteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-99)* (pp. 902-903). Orlando, FL: AAAI.
- Farrar, M. M., & Newton, B. (2014). The AASHTO Manual for Bridge Element Inspection. *ASPIRE, Winter 2014*, 10-11.
- FHWA. (2012). *Bridge Inspector's Reference Manual*. U.S. Department of Transportation, FHWA NHI.
- Friis-Hansen, A. (2000). *Bayesian Networksasa Decision Support Tool*. Denmark: Department of Naval Architecture and Offshore Engineering. Technical University of Denmark.
- G. Celeux, F. C. (2006). Designing a Bayesian network for preventive maintenance from expert opinions in a rapid and reliable way. *Reliability Engineering & System Safety*, 91(7), 849-856.
- Garcia, R. R. (2013, January 1). *Introduction to Bridge Element Inspection Basic Overview*. Retrieved from Minnesota Department of Transportation: <http://www.dot.state.mn.us/bridge>
- GeNIe2. (2015, Juni 4). *Decision Systems Laboratory*. Retrieved from University of Pittsburgh: <http://genie.sis.pitt.edu/>
- Hackl, J. (2013). *Generic Framework for Stochastic Modeling of Reinforced Concrete Deterioration Caused by Corrosion. Unpublish Master's Thesis*. Norwegia: Department of Structural Engineering, Norwegian University of Science and Technology.

- Hasan, M. S., Setunge, S., Law, D. W., & Yew-Chin Koay, Y. (2015, February 1). Forecasting Deterioration of Bridge Components from Visual Inspection Data. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology Vol. 7*, pp. 40-44.
- Heckerman, D. (2008). A Tutorial on learning with Bayesian Networks. In *Innovations in Bayesian Networks* (pp. 33-82). Berlin Heidelberg: Springer.
- Hu, N., Haider, S. W., & Burgueño, R. (2013). *DEVELOPMENT AND VALIDATION OF DETERIORATION MODELS FOR CONCRETE BRIDGE DECKS – Phase 2: Mechanics-based Degradation Models*. Michigan: Michigan State University.
- Hulst, J. (2006). *Modeling physiological processes with dynamic Bayesian networks, Unpublished Msc*. Delft: Faculty of Electrical Engineering, Mathematics, and Computer Science, Man-Machine Interaction Group, Delft University of Technology.
- Kelton, A. M. (1991). *Simulation Modeling And Simulation, second edition*. McGraw-Hill, InC.
- Koiter, J. R. (2006). *Visualizing Inference in Bayesian Networks. PhD thesis*. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology.
- Lamine, F. B., Kalti, K., & Mahjoub, M. A. (2010). The threshold EM algorithm for parameter learning in bayesian network with incomplete data. (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. XXX, No. XXX*, 1-6.
- Langseth, H. a. (2007). Bayesian networks in reliability. *Reliability Engineering & System Safety*,. 92(1), 92-108.
- Laskey, K. B. (1995). Sensitivity analysis for probability assessments in Bayesian Networks. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions*, 901-909.
- LeBeau, K. H.-F. (2000). A Fault Tree Model of Bridge Deterioration . *PMC2000* (p. 8th ASCE Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability). Notre Dame: University of Notre Dame.

- Lee, J. (2007). *A methodology for developing bridge condition rating models based on limited inspection records. Phd thesis*. Gold Coast campus, Australia. : Griffith School of Engineering, Griffith University.
- Li Li, L. S. (2014). Deterioration Prediction of Urban Bridges on Network Level Using Markov-Chain Model, . *Mathematical Problems in Engineering, Volume 2014*, 1-10.
- Ma, Y., Wang, L., Zhang, J., Xiang, Y., & Liu, Y. (2013). Bridge Remaining Strength Prediction Integrated with Bayesian Network and In Situ Load Testing. *Journal of Bridge Engineering, ASCE*, 1-11.
- Maria, A. (1997). Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 29th Conference on Winter Simulation*, (pp. 7-13). Atlanta, Georgia .
- Markow, M. J., & Hyman, W. A. (2009). *Bridge Management Systems for Transportation Agency Decision Making*. WASHINGTON, D.C.: NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM.
- Marsuki M., A. T. (2009). Penilaian Kondisi Jembatan Dengan Metode NYSDoT (Studi Kasus 3 Jembatan Di Kota Kendari). *Jurnal Civil Engineering Forum Teknik Sipil Vol 19, No 1*, 1000-1008.
- McLinn, J. (2010, September). Major Bridge Collapses in the US, and Around the World. *IEEE Transaction on Reliability, Volume 59, Number 3*, pp. 449-482.
- MnDOT. (2015, December,20). *bridgereport*. Retrieved from Minesota Department of Transportation: <http://dotapp7.dot.state.mn.us/bridgereports/>
- Morcous, G. (2006). Performance Prediction of Bridge Deck Systems Using Markov Chains. *Journal of Performance of Constructed Facilities 20(2)*, pp. 0887-3828.
- Murphy., K. P. (2002). *Dynamic Bayesian Networks, representation, inference and learning, PhD Thesis*. California: University of California- Berkeley.
- Noble, T. K. (2009). *Bayesian Networks An Introduction, First edition*. John Wiley & Sons, Ltd. .
- Ohio-DoT. (2014). *Manual of Bridge Inspection*. Ohio: Ohio Department of Transportation.



- Pearl, J. (1988). *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Rafiq, M. I., Chryssanthopoulos, M. K., & Sathanathan, S. (2014). Bridge Condition Modelling and Prediction Using Dynamic Bayesian Belief Networks. *Structure and Infrastructure Engineering*, 11 (1), 38-50.
- Rashidi, M., & Gibson, P. (2011). Proposal of a Methodology for Bridge Condition Assessment. *Australasian Transport Research Forum* (pp. 1-13). Adelaide, Australia: <http://www.patrec.org/atrf.aspx>.
- Ravirala, V. a. (1995). State increment method of life-cycle cost analysis for highway management. *Journal of Infrastructure Systems*, 1(3), 151-159.
- Sasmal, S., Ramanjaneyulu, K., & Iyer, N. R. (2012). Condition Ranking and Rating of Bridges Using Fuzzy Logic. In P. E. (Ed.), *Fuzzy Logic - Emerging Technologies and Applications*. InTech.
- Shepard, R. W., & Johnson, M. B. (2001). California Bridge Health Index: A Diagnostic Tool To Maximize Bridge Longevity, Investment. *TR NEWS*, pp. 6-11.
- Sohn, H., Farrar, C. R., Hemez, F., & Czarnecki, J. (2004). *A Review of Structural Health Monitoring Literature form 1996-2001*. LA-13976-MS. Los Alamos National Laboratory.
- Subagio, G., Triwiyono, A., & Satyarno, I. (2008, September). Sistem Informasi Manajemen Jembatan berbasis Web Dengan Metode Bridge Condition Rating (Studi Kasus Pengelolaan Jembatan di Kabupaten Garut). *Civil Engineering Forum Teknik Sipil Vol 18, No 3*, pp. 947-958.
- Sugono, D. (2008). *Kamus Bahasa Indonesia*. Jakarta: Departemen Pendidikan Indonesia.
- Suryanita, R., & Adnan, A. (2013). Application of Neural Networks in Bridge Health Prediction based on Acceleration and Displacement Data Domain. *The International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists*. Hong Kong: IMECS.

- Tarighat, A. (2012). Fuzzy Inference System as a Tool for Management of Concrete Bridges. In D. M. (Ed.), *Fuzzy Inference System - Theory and Applications* (pp. 447-471). China: InTech.
- Tien, I. (2014). *Bayesian Network Methods for Modeling and Reliability Assessment of Infrastructure Systems, Unpublished PhD Thesis*. Berkeley.: Civil and Environmental Engineering. University of California.
- Wang, R. M. (2010). Preliminary study on bridge health prediction using Dynamic Objective Oriented Bayesian Network (DOOBN). *WCEAM 2010 : Fifth World Congress on Engineering Asset Management*,. Brisbane, Qld: World Congress on Engineering Asset Management,.
- Wang, R. M. (2011). Structural reliability prediction of a steel bridge element using Dynamic Object Oriented Bayesian Network (DOOBN). In Huang, Hong-Zhong, Zuo, Ming J., Jia, Xisheng, & Liu, Yu (Eds.) *Proceedings of International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering IEEE* (pp. 7-12.). Xi'An, China: <http://eprints.qut.edu.au/41791/>.
- Wang, R. M. (2012). Condition deterioration prediction of bridge elements using Dynamic Bayesian Network (DBNs). In *2012 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*. Chengdu, Sichuan: IEEE Explore, University of Electronic Science and Technology, (In Press).
- Wong, K.-Y. (2007). Design of a structural health monitoring system for long-span bridges. *Structure and Infrastructure Engineering*, 169-185.
- Yanev, B. (2007). *Bridge Management*. New Jersey,: John Wiley & Sons, Inc.

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan dikota Jakarta, pada tanggal 2 April 1963, merupakan anak ke 4 dari 8 bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh antara lain SD Tanjung Grogol, dilanjutkan ke SMP Negeri 83 Jakarta, SMA Negeri 16 Jakarta. Untuk jenjang perguruan tinggi, mulai dari Diploma III Politeknik Universitas Indonesia, dilanjutkan ke jenjang S1 di Universitas Diponegoro dan pada tahun 2013 mengikuti pendidikan jenjang Magister Program Manajemen Proyek Konstruksi – Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Sejak tahun 1989 bekerja di Politeknik Universitas Indonesia hingga sekarang sebagai tenaga pengajar, dengan keahlian di manajemen konstruksi. Selama mengajar telah melakukan beberapa penelitian dibidang material teknologi dan manajemen proyek. Dan menjabat Pembantu Direktur Bidang kerjasama Politeknik Negeri Jakarta pada tahun 2008-2012.

Untuk korespondensi dapat dihubungi di [agungb13@gmail.com](mailto:agungb13@gmail.com).