Andri IRFAN

Penulisan buku ini disusun dengan menggunakan metode komparatif sehingga akan banyak ditemukan data yang bersumber dari studi eksplorasi, yaitu melakukan kajian pustaka, pengambilan data dan pengamatan visual dan studi eksplonatori, yaitu melalui proses pengembangan model prediksi kinerja jalan, model optimasi, dan model DSS. Model yang dikembangkan berfungsi sebagai alat evaluasi dan pengambil keputusan bagi berbagai strategi pemeliharaan perkerasan jalan untuk meningkatkan efesiensi dan kinerja jalan.



Dr. Ir. Andri Irfan Rifai, ST., MT., MA., IPM. adalah dosen senior di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Internasional Batam. Menyelesaikan jenjang pendidikan Doktoral bidang Teknik Transportasi di Universitas Indonesia dan Universidade do Minho, Portugal dengan Beasiswa LPDP. Selain mengajar selama belasan tahun di UIB, juga aktif mengajar di beberapa kampus lain seperti Program Pascasarjana Institut Sain & Teknologi Nasional Jakarta. Universitas Mercubuana Jakarta.

dan Universitas Majalengka. Dalam bidang industri konstruksi, secara aktif turut serta menyumbangkan pemikirannya melalui Badan Pengatur Jalan Tol dan Ditjen Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat. Cukup banyak pekerjaan dalam bidang infrastruktur jalan yang turut dikerjakan, diantaranya Pembangunan Jalan Akses Tanjung Priok dengan Pendanaan JICA, Pembangunan Akses Dry Port Cikarang dengan Pendanaan SBSN, serta Kegiatan Rehabilitasi dan Rekonstruksi Infrastruktur Transportasi Pasca Bencana Gempa, Tsunami, & Liquefaksi Palu dengan Pendanaan World Bank dan JICA. Da am bidang penelitian, sudah puluhan jurnal internasional yang dipublikasikan dan beberapa buku yang diterbitkan. Penggiat gowes ini pun cukup sering menjadi pembicara dalam beberapa seminar masional dan internasional yang diselenggarakan berbagai pihak.

nasmedia PENERBIT ANGGOTA IKAP

Batua Raya No. 3 Makassar 90233 Tajem Baru No. 11 Yogyakarta 55281 +62812 1313 3800 redaksi@nasmedia.id www.nasmediapustaka.co.id www.nasmedia.id



PENGEMBANGAN MODEL NGEMBANGAN MOD IMPLEMENTASI DATA MINING & ARTIFICIAL INTELLIGENCE Dr. Andri IRFAN

MANAJEMEN PERKERASAN

IMPLEMENTASI DATA MINING & ARTIFICIAL INTELLIGENCE

PENGEMBANGAN MODEL MANAJEMEN PERKERASAN

IMPLEMENTASI DATA MINING & ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Dr. Andri IRFAN

Diterbitkan oleh Nas Media Pustaka Tahun 2021

PENGEMBANGAN MODEL MANAJEMEN PERKERASAN

Implementasi Data Mining Dan Artificial Intelligence

Andri IRFAN

Copyright © A. Irfan 2021 All rights reserved

Layout : Rizaldi Salam Desain Cover : Muhammad Alim

Image Cover **Freepik.com**

Cetakan Pertama, September 2021 xiv + 309 hlm; 15.5 x 23 cm ISBN 978-623-351-158-2

Diterbitkan oleh Penerbit Nas Media Pustaka PT. Nas Media Indonesia Anggota IKAPI No. 018/SSL/2018

Jl. Batua Raya No. 3, Makassar 90233 Jl. Tajem Baru No. 11, Yogyakarta 55281 Telp. 0812-1313-3800 redaksi@nasmedia.id

www.nasmediapustaka.co.id www.nasmedia.id

Instagram : @nasmedia.id Fanspage : nasmedia.id

Dicetak oleh Percetakan CV. Nas Media Pustaka Isi di luar tanggung jawab percetakan

KATA PENGANTAR

Berbagai infrastruktur pendukung utama kebutuhan masyarakat terus dikembangkan. Termasuk diantaranya jaringan jalan yang terus didorong pemenuhan kebutuhannya. Sampai saat ini, Indonesia masih cukup tertinggal dalam pemenuhan kecukupan akan kebutuhan jalan, sehingga harus secara cepat dalam merencanakan dan membangunnya. Kecepatan pembangunan tentunnya harus diimbangi dengan kemampuan mengoperasikan dan memeliharanya. Karena kalau tidak, niscaya hasil pembangunan tersebut akan sia-sia saja. Sehingga target pemenuhan kapasitas dan kualitas infrastruktur jalan sulit terpenuhi.

Secara teori jaringan jalan direncanakan, dibangun dan dipelihara untuk memfasilitasi transportasi dengan aman, nyaman, dan efisien cukup mudah dibaca dibahas. Namun dalam implementasinya tetap memerlukan usaha luar biasa. Tidak heran, untuk mewujudkan tujuan tersebut, dalam beberapa dekade terakhir sistem manajemen perkerasan jalan di berbagai negara jalan terus dikembangkan. Dimulai di Amerika Serikat dengan melakukan pengembangan sistem manajemen perkerasan jalan melalui American Association of State Highway Officials (AASHO). Tentu saja usaha pengembangan sistem manajemen perkerasan jalan tersebut bukan hanya negara maju saja, beberapa negara berkembang pun turut andil.

Setelah lebih dari setengah abad berbagai pendekatan manajemen perkerasan jalan, tentunya cukup banyak pembelajaran yang diperoleh. Di Indonesia sebagai contoh, HDM menjadi sejenis 'panduan utama' dalam melakukan manajemen perkerasan jalan, termasuk diantaranya pemeliharaan. Namun sayang, dalam implementasinya masih cukup banyak hambatan yang mengganggu tahapan pemeliharaan tersebut, salah satunya adalah 'penyakit menahun' yang rada-rada sulit dihilangkan, yaitu beban berlebih (overload).

Dalam buku ini, akan dibahas secara bertahap bagaimana overload dapat dimodelkan untuk pemeliharaan jalan yang lebih baik. Pembahasan dimulai dengan menceritakan perkembangan big data dan data mining di dunia internasional. Selanjutnya akan diperkuat dengan pemahaman data mining, mulai dari arsitektur pemodelan, pengolahan data, sampai dengan cara melakukan interpretasi hasil olahan. Untuk lebih nyata dalam pembahasan pembaca akan ditawari rangkaian memodelkan pemeliharaan jalan, pemanfaatan data, sampai dengan contoh studi kasus penggunaan data mining untuk optimasi pemeliharaan jalan dengan beban berlebih. Diharapkan pembahasan singkat ini mendorong para praktisi dapat melakukan implementasi pemeliharan jalan lebih baik lagi.

Bicara data mining dan big data tentunya pembaca akan sedikit berpikir, 'bukankah itu keilmuan teknologi informasi?' ya! betul sekali,namun saat ini hal tersebut tidak menjadi Batasan lagi.

Data mining merupakan cabang keilmuan yang saat ini sangat pesat perkembangannya di dunia internasional. Namun sayang kecepatannya tidak diimbangi oleh ketersediaan rujukan keilmuan tersebut dalam Bahasa Indonesia. Bisa jadi, hal tersebut sedikit memperlambat implementasi pemanfaatan data mining di negara kita. Padahal pengalaman bangsa ini dalam berbagai bidang sudah sangat panjang dan lengkap, dengan sendirinya memiliki data yang cukup besar. Mestinya data tersebut dapat menjadi rujukan yang berarti dalam melanjutkan dan mengembangkan kegiatan sejenis.

Merujuk berbagai definisi resmi tentang data mining dapat dipilih kata yang paling popular yaitu penambangan atau penemuan informasi baru dengan mencari pola atau aturan tertentu dari sejumlah data yang sangat besar. Beberapa pihak mengatakan data mining disebut sebagai serangkaian proses untuk menggali nilai tambah berupa pengetahuan yang selama ini tidak diketahui secara manual dari suatu kumpulan data. Jadi tidak dapat dipersalahkan apabila ada sebagai orang yang mendefinisikan secara bebas bahwa data mining sebagai proses menemukan pola-pola dengan cara otomatis. Pola

yang ditemukan harus penuh arti dan pola tersebut dapat memberikan keuntungan, biasanya keuntungan secara ekonomi. Pendekatan ini lah yang sebenarnya sering juga disebut sebagai knowledge discovery in database, yaitu rangkaian kegiatan pengumpulan, pemakaian data, historis untuk menemukan keteraturan, pola atau hubungan dalam set data berukuran besar (big data).

Memang betul, bukan soal yang mudah dalam mengumpulkan informasi dan melakukan penambangan data yang nantinya data tersebut berguna kedepannya, Banyak sekali permasalahan yang akan ditemui saat melakukan penambangan data. Apa saja permasalahan dalam data mining tersebut? Dan apa saja yang bisa di 'data mining' kan? Tentu saja jawabannya sangat beragam dan tidak bisa dirangkum dalam buku sederhana ini. Namun melalui buku sederhana ini, penulis mencoba membahas tentang data mining sebagai bagian tak terpisahkan dari kelompok keilmuan big data sebagai upaya untuk mendorong pengkinian manajemen perkerasan jalan.

Dalam pemahaman penulis, belum banyak peneliti dan praktisi di Indonesia yang menggunakan data mining untuk mengolah big data properti jalan. Beberapa bahasan penulis telah disarikan dalam sejumlah tulisan dan dipublikasian dalam bentuk poster, jurnal nasional, konfrensi internasional, serta jurnal internasional bereputasi. Publikasi di atas tersebut, dirasa belum dapat menyentuh beberapa kalangan, terutama praktisi yang berada di garda paling depan dalam sistem manajemen perkerasan jalan. Sehingga pada kesempatan ini penulis mencoba menyusun buku ringkas tentang data mining sistem manajemen perkerasan jalan. Kehadiran buku ini diharapkan mampu memberikan solusi sederhana dalam pemanfaatan big data data kinerja jalan untuk optimasi pemeliharaan jalan. Semoga bermanfaat!

Dr. Andri IRFAN

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
BAGIAN 1	
PERKEMBANGAN JALAN DAN PEMELIHARAAN	
JALAN DI INDONESIA	1
1.1 Klasifikasi Jalan di Indonesia	_
1.2 Pengelompokan Berdasarkan Sistem Jaringan Jalan	ı 6
1.3 Rasio Panjang Jalan di Indonesia	8
1.4 Kerusakan Jalan Di Indonesia	11
BAGIAN 2	
MODEL PREDIKSI KINERJA JALAN	15
2.1 Model Prediksi Kinerja	
2.2 Pentingnya Model Prediksi Kinerja	17
2.3 Determistic Model	19
2.4 Probabilistic Models dan Klasifikasi	21
2.4.1 Model Markov Chain	22
2.4.2 Probabilistic Regression Models	
2.5 Pendekatan Artificial Intillegence	26
BAGIAN 3	
KONDISI PERKERASAN JALAN DAN PENGARUH	
PADA MUATAN BERLEBIH	
3.1 Kondisi Perkerasan Jalan	
3.2 Metode Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan	
3.2.1 Roughness	
3.2.2 Ride Number	
3.2.3 Pavement Distress Rating	
3.3 Kondisi Perkerasan Jalan dan Muatan Berlebih	46

BAGIAN 4	
LANGKAH MENYUSUN MODEL PREDIKSI KINERJA	
JALAN	. 54
4.1 Definisi Data Mining	. 54
4.1.1 Data Mining Task	. 55
4.1.2 Algoritma Data Mining	. 59
4.2 Faktor Mempengaruhi Keberhasilan Data Mining	
Menurut Para Ahli	. 64
4.2.1 Feature Selection dalam Data Mining	. 64
4.3 Feature Selection dalam Statistik	. 68
4.3.1 Karakteristik Feature Selection	. 69
BAGIAN 5	
SISTEM MANAJEMEN PERKERASAN JALAN	. 71
5.1 Sistem Manajemen Perkerasan Jalan	. 71
5.2 Highway Development and Management	. 74
5.2.1 Sejarah Perkembangan Highway Development	
and Management	. 74
5.2.2 Model Pendekatan HDM-IV	. 75
5.2.3 Tiga Tingkat Analisa HDM-IV	. 76
5.2.4 Alat Analisa Pekerjaan HDM-IV	. 78
5.2.5 Hambatan Dalam Pelaksanaan HDM-IV	. 79
5.3 Paver Pavement Management System	. 81
5.4 Japan PMS (MLIT-PMS)	
5.5 Indonesia Integrated Road Management System	
(IIRMS)	. 84
BAGIAN 6	
KONSEP OPTIMASI BIAYA PEMELIHARAAN	. 87
6.1 Optimasi Biaya Pmeliharaan	. 87
6.2. Analisa Ekonomi Perhitungan Kelayakan	
Infrastruktur Jalan	. 90
6.2.1 Benefit Cost Analysis	. 90
6.2.2 Life-Cycle Costing Analysis	
6.2.3 Perbedaan BCA dan LCCA	97

BAGIAN 7	
OPTIMASI PENGAMBILAN KEPUTUSAN DALAM	
PEMELIHARAAN PERKERASAN DAN STRATEGI	
REHABILITASI	100
7.1 Decision Support System	100
7.2 Decision Support System	103
7.2.1 Model-Base Management System	104
7.2.2 Data-Base Management System	106
7.2.3 Display Generation and Management System	<i>n</i> 107
7.3 Pendekatan Optimimasi	108
7.3.1 Pendekatan Optimsi Dalam Sistem	
Manajemen	109
7.3.2 Penggunaan Alat Bantu Dalam Optimasi	110
7.3.3 Awal Penggunaan Pendekatan Optimasi	112
7.3.4 Genetic Algorthims Sebagai Alat Optimasi	114
7.3.5 Konsep Pendekatan Multi Object Optimizati	on116
7.5 Multi Objective Optimization Solver	119
7.6 Operation Research	120
BAGIAN 8	
STUDI KASUS; PENGEMBANGAN MODEL DECISI	ON
SUPPORT SYSTEM BERBASIS DATA MINING	
8.1 Latar Belakang Studi Kasus	122
8.2 Perumusan Masalah Studi Kasus	
8.3 Pendekatan Studi Kasus	134
8.4 Rangkaian Proses Studi Kasus	135
8.5 Prediksi Kinerja Jalan	
8.6 Sumber Data Studi Kasus	139
8.6.1 Pangkalan Data IIRMS	142
8.6.2 Alat Survei Hawkeye	143
8.7 Tahapan Prediksi Kinerja Jalan	
8.8 Tahapan Evaluasi	
8.9 Generalization Capacity	159
8.10 Analisa Sensitivitas	161

8.11 Model Optimasi Pemeliharaan Perkerasan Jalan	163
8.11.1 Model Iterasi Pemeliharaan Jalan	166
8.11.2 Biaya Pemeliharaan dan Rehabilitasi	169
8.11.3 Jenis Penanganan	169
8.11.4 Optimization Tool	170
8.12 Geographical Information System	174
8.12.1 Data Entry dan Acquisition	
8.12.2 Implementasi dan Analisa Jaringan	175
BAGIAN 9	
STUDI KASUS; PENGEMBANGAN MODEL DATA	
MINING	177
9.1 Pengantar Kondisi Perkerasan Jalan	177
9.2 Tipe Data	
9.3 Karakteristik Data	
9.4 Model Prediksi Kinerja Jalan	
9.4.1 Aktivasi ANN dan SVM	186
9.4.2 Back Propagation	188
9.4.3 Arsitektur Model	194
9.4.4 Tahapan Learning dan Test Pemodelan	197
9.4.5 Interpretasi Model	198
9.4.6 Kontribusi Variabel	204
9.4.7 Analisis Sensitivitas	208
9.5 Kesimpulan	212
BAGIAN 10	
STUDI KASUS; PENGEMBANGAN MODEL	
PEMELIHARAAN PERKERASAN JALAN	213
10.1 Pengantar Sistem Manajemen Perkerasan Jalan	213
10.2 Arsitektur Sistem	216
10.3 Aplikasi Komputasi	218
10.3.1 Sistem Data-Driven dalam Optimasi	218
10.3.2 Simulasi Optimasi	221
10.4 Perumusan Model	224

10.4.1 Definisi <i>objective functions</i> dan <i>constraint</i>	224
10.4.2 Pavement Performance Maximization	226
10.4.3 Maintenance Cost Minimization	228
10.5 Perumusan Model Genetic Algorithm	229
10.5.1 Pengertian Individu	231
10.5.2 Nilai <i>Fitness</i>	232
10.5.3 <i>Encoding</i>	233
10.6 Uji Model Optimasi	236
10.7 Kesimpulan	239
BAGIAN 11	
STUDI KASUS; IMPLEMENTASI MODEL PREDIKSI	
IRI	240
11.1 Pendahuluan	240
11.2 Muatan Berlebih	242
11.3 Pemodelan IRI	242
11.4 Analisa Model IIRMS	244
11.5 Teknik Data Mining	247
11.6 Simulalasi Model Data Mining pada Jalan dengan	
Muatan Berlebih	249
11.7 Kesimpulan	251
BAGIAN 12	
STUDI KASUS; IMPLEMENTASI MODEL OPTIMASI	
PEMELIHARAAN PERKERASAN JALAN DENGAN	
MUATAN BERLEBIH	253
12.1 Pendahuluan	253
12.2 Implementasi Optimasi GA	255
12.3 Kecimpulan	261

UPPORT SYSTEM	262
13.1 Pendahuluan	262
13.2 Pengembangan Modul GIS	262
13.2.1 Linear Reference System	267
13.2.2 Metode fitur poligon	
13.2.3 Data <i>Layer</i>	269
13.3 Analisis Spasial dan Visualisasi GIS	271
13.3.1 Analisis spasial GIS	271
13.3.2 Visualisasi	273
13.4 Analisis Interaktif Pemeliharaan	275
13.5 Kesimpulan	279
AFTAR PUSTAKA	280
ROFIL PENULIS	309



BABI

PERKEMBANGAN JALAN DAN PEMELIHARAAN JALAN DI INDONESIA

Sampai saat ini ketersediaan infrastruktur jalan di Indonesia masih dianggap kurang mencukupi. Kurangnya infrastruktur dinilai sebagai masalah terburuk kedua dalam berbisnis di Indonesia, setelah masalah birokrasi pemerintah yang tidak efisien. Menurut global competitiveness index Indonesia menduduki nomor 94 dari 134 negara dalam hal ketersediaan infrastruktur jalan. Selain itu, Indonesia tertinggal dari negara-negara ASEAN lainnya dalam hal ketersediaan jalan, baik dari segi luas maupun perbandingan dengan populasinya (Paterson, 2011). Sementara itu, kebutuhan transportasi jalan meningkat cepat dan akan terus meningkat. Agar Indonesia dapat meningkatkan daya saingnya dan mempertahankan pertumbuhan ekonominya, Indonesia harus meningkatkan transportasi antar-daerah dan perkotaan. Hal ini memerlukan pembangunan infrastruktur jalan berkapasitas tinggi.

Penyelenggaraan jalan dilaksanakan untuk mendukung sistem transportasi jalan dalam rangka memenuhi kebutuhan pelayanan arus barang dan orang. Hal tersebut ditunjukkan dengan:

1. Jaringan jalan yang telah terbentuk dan berfungsi secara meluas hampir ke seluruh pelosok tanah air, termasuk di pusat-pusat pertumbuhan, di pusat-pusat produksi dengan daerah pemasaran;

- 2. Dalam struktur pengembangan wilayah nasional telah terwujud kesatuan sistem jaringan jalan primer yang mampu mengikat dan menghubungkan pusat-pusat pertumbuhan yang utama dengan wilayah yang berada dalam pengaruh pelayanannya secara hierarki:
- 3. Jalan-jalan di pusat pertumbuhan utama telah mulai ditata untuk mewujudkan secara bertahap jaringan jalan sekunder dalam rangka mewujudkan fungsinya sebagai pusat pertumbuhan wilayah pengaruhnya;
- 4. Sebagian besar kesatuan sistem jaringan jalan serta sebagian ruas jalan dalam masing-masing sistem secara proporsional dapat melayani kelancaran arus manusia, barang dan jasa yang ada pada masing-masing wilayah yang sebagian mempunyai peluang dan potensi untuk dikembangkan guna melayani kebutuhan baik jangka panjang menengah maupun jangka panjang.

Selain harus meningkatkan pembangunan infrastruktur jalan, tidak boleh diabaikan pentingnya pemeliharaan jalan. Pemeliharaan jalan yang dilakukan saat ini nampaknya hanya berlangsung dalam jangka waktu lebih pendek dan lebih berat dari yang diharapkan jika dibandingkan dengan jumlah jalan yang harus dirawat setiap tahun dan kondisi jaringan jalan yang relatif tidak berubah (Paterson, 2011). Hal ini menunjukkan adanya peluang untuk melakukan optimasi kebijakan rancangan yang ada saat ini, dengan mengalihkan fokus dari jangka pendek ke jangka waktu yang lebih panjang dan dengan demikian meningkatkan kinerja jalan dan mengurangi biaya tahunan. Ada pula kebutuhan untuk meningkatkan manajemen kualitas desain dan konstruksi sehingga masa pakai aset yang diharapkan dapat tercapai dengan lebih baik.

Dalam melaksanakan manajemen pemeliharaan jalan, seperti telah diuraikan pada bagian sebelumnya bahwa DJBM telah bertahun-tahun menjalankan sistem manajemen perkerasan jalan dengan nama IIRMS, meskipun hanya sebagian saja yang

berhasil. Sistem tersebut telah dioperasikan dan berisi data yang penting (Hede, 2011). Namun demikian, ditemukan masalah terkait kualitas data dan belum efektifnya *output* dari sistem tersebut untuk penyusunan rencana dan program. Selain itu, IIRMS telah mencapai suatu titik persimpangan teknis di mana perlu dipertanyakan apakah IIRMS perlu dikembangkan lebih lanjut atau digantikan dengan sistem lain.

1.1 Klasifikasi Jalan di Indonesia

Menurut UU no. 38 Tahun 2004 tentang Jalan, jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap (jembatan, terowongan, ponton, lintas atas / flyover, elevated road, lintas bawah/ underpass, tempat parkir, gorong-gorong, tembok penahan, dan saluran tepi jalan) dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel. Dalam undang-undang yang sama jalan telah diklasifikasikan dalam 3 jenis secara detail. Klasifikasi tersebut yakni berdasarkan sistem jaringan jalan, fungsi jalan, maupun status jalan. Hubungan masing-masing klasifikasi dapat diringkas seperti pada tabel 1.1

Klasifikasi jalan diatur dalam berrbagai aturan turunan dari undang-undang sebagai bagian dari tugas pemerintah dalam mewujudkan layanan jalan yang optimal. Pemerintah selaku penyelenggara jalan harus menyesuaikan dengan tugas dan fungsi serta struktur pemerintahan yang berjalan. Pembagian klasifikasi dan fungsi jalan salah satunya dipisahkan menurut kewenangan pemerintah di masing-masing tingkatan. Sebagai contoh pemerintah menangani dan bertanggung jawab terhadap jalan nasional, pemerintah daerah tingkat I berwenang menangani jalan provinsi, dan seterusnya. Tentu saja pembagian tersebut dimaksudkan untuk mewujudkan pelayanan jalan yang lebih.

Tabel 1.

	KETERANGAN	JAP : Jalan Arteri Primer IKP-1 : Talan Kolektor	Primer-1 (Antar Ibukota Propinsi)		3 : Jalan Kolektor Primer-3 (Antar Ibukota Kabunaten)		Primer-4 (Ibukota Kabupaten dengan Kecamatan)			JLS : Jalan Lokal Sekunder	Jalan Lingkungan Sekunder			
	KETI	JAP IKP-1		JKP-2	JKP-3	JKP-4		JLP Jling-	JKS					
	SK Menteri SK Gubernur			SK Menteri					SK Bupati			SK Walikota		an sendiri)
Status	SK Menteri JALAN NASIONAL JAP, JKP-1, JSN, Jalan Tol JALAN PROVINSI JKP-2, JKP-3, JSP, Ruas jalan di wilayah DKI Jakarta kecuali jalan nasional				JALAN KABUPATEN JKP-4, JLP, Jling-P, JSK,	JAS, JKS, JLS, Jing-S	dan JALAN DESA Jling-P & JLP yang tidak	termasuk jalan kabupaten di dalam kawasan perdesaan		JALAN KOTA	, 170, 170, 1118-0	JALAN KHUSUS (Jalan yang dibangun oleh instansi, badan usaha, perseorangan, atau kelompok masyarakat untuk kepentingan sendiri)		
		SK Menteri								atau kelompok				
Fungsi	Arteri (JAP)	Kolektor-1 (JKP-1)	Kolektor-2 (JKP-2)	Kolektor-3 (JKP-3)	Kolektor-4 (JKP-4)	Lokal (JLP)	Lingkungan (Jling-P)	Arteri (JAS)	Kolektor (JKS)	Lokal (JLS)	Lingkungan (Jling-S)	aha, perseorangan,		
Sistem	SISTEM PRIMER (Merupakan sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional, dengan menghubungkan ssemua simpul jasa distribusi yang berwujud pusat- pusat kegiatan) SISTEM SEKUNDER (Merupakan sistem jaringan jalan dengan jaringan jalan dengan distribusi barang dan jasa untuk masyarakat di dalam kawasan perkotaan)								ın oleh instansi, badan us					
Peruntukan	JALAN UMUM (Jalan yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum)							JALAN KHUSUS (Jalan yang dibangu						

Sumber: UU 38 Tahun 2004 tentang Jalan

Sistem primer merupakan sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional, dengan menghubungkan semua simpul jasa distribusi yang berwujud pusat pusat kegiatan. Sedangkan Sistem sekunder merupakan sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk masyarakat di dalam kawasan perkotaan.



Gambar 1.1 Ilustrasi sistem jaringan jalan

Sumber: Buku Kondisi Jalan Nasional 2020, DJBM

Pembagian sistem jaringan dilakukan secara berjenjang yang terdiri dari berbagai sub-sistem. SUb-sistem tersebut diharapkan mampu berfungsi secara baik dan optimal, sehingga jaringan jalan dapat berfungsi secara utuh dan dapat melayani masyarakat pada level terbaik. Sebaliknya, apabila sub-sistem pembentuk jaringan tersebut tidak berjalan baik, maka sistem jaringan secara utuh akan berjalan tidak seimbang.

1.2 Pengelompokan Berdasarkan Sistem Jaringan Jalan

Berdasarkan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 248/KPTS/M/2015 Tentang Penetapan Ruas Jalan dalam Jaringan Jalan Primer Menurut Fungsinya sebagai Jalan Arteri (JAP) dan Jalan Kolektor-1 (JKP-1) panjang jalan nasional non tol seluruh Indonesia adalah 47.017,27 km. Jalan nasional dengan fungsinya JAP sepanjang 18.149,93 Km sedangkan fungsi JAP-1 28.867,34 km. Jalan Provinsi sepanjang 55.258 Km. Jalan Kabupaten sepanjang 427.550 Km. Sedangkan jalan tol seluruh Indonesia memiliki panjang total 2.093 km. Sedangkan perkembangan Panjang jalan nasional di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir dapat dilihat pada gambar 1.2



Gambar 1.2 Perkembangan jalan nasional

Pengelompokan jalan di Indonesia berdasarkan sistem jaringan jalan dapat dibedakan menjadi empat sub-sistem, yaitu:

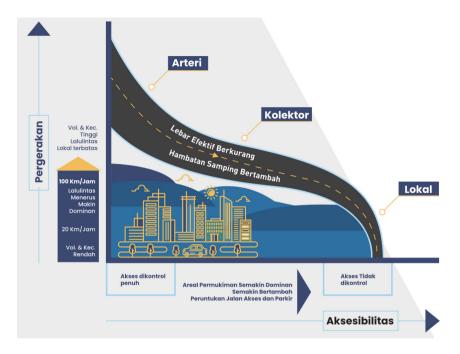
1. Jalan Arteri merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh,

kecepatan rata rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna.

- 2. Jalan Kolektor merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- 3. Jalan Lokal merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata rata rendah dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
- 4. Jalan Lingkungan berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rata rata rendah.

Ilustrasi pada gambar 1.3 dapat memberikan gambaran perbedaan fungsi dan sifat dalam sistem jaringan jalan. Jalan arteri memiliki lebar jalan yang lebih besar dengan hambatan samping yang lebih dikecil apabila dibandingkan dengan jalan kolektor dan jalan lokal. Sehingga pergerakan kendaraan yang dapat dilakukan di jalan arteri dapat lebih bebas dibandingkan dua sub system lainnya. Dalam arti lain kecepatan dan kapasitas kendaraan di jalan lokal sangat terbatas.

Walaupun dalam ilustrasi tersebut digambarkan bahwa jalan arteri memiliki lebar efektif yang paling besar, namun pada kondisi-kondisi tertentu tidak selalu terjadi. Sebagai contoh, jalan penghubung antar kota di beberapa wilayah Indonesia bagian timur, masih cukup banyak jalan kolektor dan arteri yang lebarnya masih terbatas. Hal tersebut tentu saja bukan mengabaikan fungsi jalannya, namun lebih cenderung dari kebutuhan jalan sehubungan dengan jumlah LHR yang ada. Jadi, fungsi jalan disebuah lokasi tidak bisa langsung dihubungkan dan dibandingkan dengan kondisi dan fungsi jalan di lokasi lainnya.



Gambar 1.3 Ilustrasi aksebilitas vs pergerakan dalam system jaringan jalan

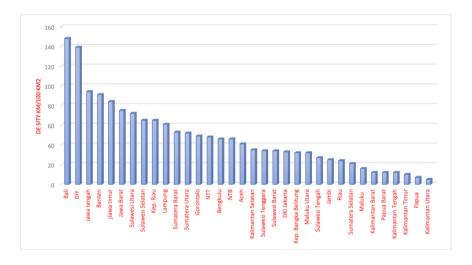
Sumber: Buku Kondisi Jalan Nasional 2020, DJBM

1.3 Rasio Panjang Jalan di Indonesia

Pertumbuhan dan sebaran penduduk yang belum merata di seluruh wilayah Republik Indonesia ditambah dengan minimnya pertumbuhan jalan menyebabkan proporsi jalan dibandingkan penduduk masih sangat rendah serta tidak merata disetiap propinsi. Rendahnya sebaran jalan, dapat menyebabkan terhambatnya pengembangan infrastruktur lainnya. Di Daerah Khusus Ibukota Jakarta misalnya, dengan panjang jalan yang hanya 1.471 km harus mampu melayani penduduk sebanyak 9.588.198, dalam arti lain setiap km jalan harus melayani 6.515 orang penduduk provinsi DKI Jakarta. Sementara Provinsi Irian

Barat setiap km jalan yang sudah terbangun hanya dibebani oleh 94 orang penduduk saja. Selanjutnya untuk rata-rata rasio penduduk nasional adalah 519 orang/km jalan.

Sementara dalam Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah 534/KPTS/M/2001 tahun 2001 ditegaskan mengenai Pedoman Penentuan Standar Pelayanan Minimal di bidang Penataan Ruang, yang disusun sebagai acuan aksesibilitas dan jaminan peruntukan ruang mengamanatkan bahwa jalan kota harus dapat memenuhi rasio Panjang jalan 0,6 km/1.000 penduduk dan rasio luas jalan 5% dari luas wilayah. Rasio luasan Panjang jalan terhadap luasan suatu wilayah menunjukan tingkat layanan jalan terhadap tata guna lahan yang ada. Sebagai gambaran pada gambar 1.4 dapat dilihat density jalan nasional disetiap provinsi yang menunjukan Panjang jalan nasional setiap 100 km² luasan provinsi (km/100km²).



Gambar 1.4 Road density jalan nasional

Sasaran yang hendak dibenahi sehubungan dengan panjang jalan adalah pemerataan dan pengembangan

pembangunan di seluruh kawasan barat dan timur Indonesia sesuai dengan potensi daerah. Namun, pemerataan pembangunan akan sulit dicapai apabila konsentrasi industri serta jasa startegis terpusat di Pulau Jawa terutama di Jabodetabek area yang tetap akan dijadikan sebagai kota metropolitan, sementara daerah luar Jawa akan tetap mengalami ketimpangan pembangunan karena tidak meratanya penduduk sehingga pembangunan akses fasilitas publik tetap terfokus di Pulau Jawa. Pulau Jawa telah menjadi pusat urbanisasi yang menyebabkan tingginya kepadatan penduduk selama 30 tahun terakhir, dengan 60,15% konsentrasi penduduk Indonesia berada di Pulau Jawa. Kondisi tersebut menyebabkan tidak seimbangnya rasio antara penyediaan infrastruktur terutama jalan dengan jumlah kendaraaan. Tercatat panjang jalan di Pulau Jawa sebesar 26,8% sementara jumlah kendaraan 65% dibanding Pulau lainnya (Azis, 2012).

Pertumbuhan jumlah penduduk mendorong ketidakseimbangan laju pertumbuhan kendaraan dengan sarana infrastruktur menyebabkan kemacetan, terutama di Jakarta sebagai pusat kegiatan ekonomi dengan rasio 98% didominasi oleh kendaraan pribadi dengan pertumbuhan 11% per tahun. Apabila program pemerintah tetap menjadikan kawasan Jabodetabek sebagai kawasan metropolitan, maka pembenahan moda transportasi umum tidak akan efektif karena jumlah masyarakat yang mampu membayar (willingness to pay) lebih banyak dibanding masyarakat yang tidak memiliki kemampuan membayar (unwillingness to pay). Oleh karena itu, peningkatan fasilitas infrastruktur di wilayah Jawa dengan terutama peningkatan panjang jalan harus dipertimbangkan dengan seksama. Hal tersebut akan menjadi moral hazard ketika kondisi jalan tidak dapat dipertahankan dengan prinsip pemeliharaan yang baik. Dengan demikian, ketika pengembangan jalan tersebut ditujukan untuk memenuhi kebutuhan jumlah penduduk, maka distribusi pembangunan harus tepat sasaran. Distribusi

pengembangan jalan dapat dilakukan dengan pendekatan kebutuhan dengan memperhatikan masterplan pembangunan secara utuh. Penyesuaian pengembangan dapat dilakukan terus secara berkesinambungan tanpa terbatas oleh waktu pelaksanaan.

1.4 Kerusakan Jalan Di Indonesia

Kerusakan perkerasan jalan itu sendiri dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu kerusakan struktural dan kerusakan fungsional. Kerusakan struktural berkaitan dengan penurunan daya dukung karena struktur perkerasan mengalami perubahan komposisi kohesitas dan homogenitas campuran bahan susunnya. Sedangkan Kerusakan fungsional yang berkaitan dengan penurunan rasa kenyamanan jalan oleh pengguna yang salah satunya disebabkan oleh perubahan cuaca antara bulan kering dan basah (TNZ, 2004) dan permukaan perkerasan yang licin sehingga berdampak penurunan kekesatan permukaan serta kemiringan permukaan jalan yang melebihi batas kritisnya dapat memperbesar kecenderungan terjadinya kecelakaan akibat selip roda kendaraan.

- 1) Dampak kerusakan yang ditimbulkan oleh beban lalu lintas tidaklah sama antara yang satu dengan yang lain. Perbedaan ini mengharuskan suatu standar yang bisa mewakili semua jenis kendaraan, sehingga semua beban yang diterima oleh srutuktur perkerasan jalan dapat disamakan dengan beban standar. Beban standar ini digunakan sebagai batasan maksimum yang diijinkan untuk suatu kendaraan. Beban yang sering digunakan sebagai batas maksimum yang diijinkan untuk kendaraan adalah beban gandar maksimum;
- Kelelahan lapisan perkerasan aspal biasanya tanda-tanda dimulainya kerusakan seacara keseluruhan (Tschegg, et al., 2011). Selanjutnya (B.C. Ministry of Transportation, 2007) dan (Beskou & Theodorakopoulos, 2011) menyebutkan

tentang sifat elastisitas aspal ini disebabkan aspal merupakan bahan *rheologic* dan *thermoplasthic* yang sifat fisiknya sangat dipengaruhi oleh perubahan beban dan temperatur udara. Sedangkan perkerasan *rigid* bersifat kaku karena bahan susunannya terdiri atas berbagai ukuran agregat pecah yang dihubungkan oleh bahan ikat yang mengeras seperti *cement portland* (Boucher, 2007). Sifat kaku lebih ditentukan oleh proses pengerasan *cement portland* karena fisik bahan semen tidak mengalami perubahan wujud ketika menerima beban dan perubahan cuaca;

3) Fungsi jalan harus dapat diukur secara kuantitatif, atau paling tidak dapat ditransformasikan menjadi terukur, seperti halnya disebutkan dalam tulisannya (Paterson, 2007) dan (Beskou & Theodorakopoulos, 2011) menyimpulkan bahwa konstruksi perkerasan jalan agar dapat mampu memberikan rasa aman dan nyaman kepada pemakai jalan, maka harus memenuhi syarat-syarat teknis kekuatan strktural dan fungsi lalu lintas. Penurunan nilai struktural diindikasikan dengan terjadinya kerusakan dini perkerasan di awal umur pelayanan, seperti retak (cracking), lubang (pothole), penurunan (deformation), bekas alur roda kendaraan (rutting), pelepasan butiran permukaan perkerasan (ravelling) dan permukaan yang keriting (corrugation). Kehandalan lapisan yang dipengaruhi oleh ketebalan lapisan dan karakteristik fisik lainnya merupakan input distribusi parameter dalam memantau tingkat layan jalan seutuhnya (Chou & Le, 2011). Nilai fungsional berkaitan dengan performansi permukaan jalan dalam melayani lalu lintas kendaraan dengan aman dan nyaman yang meliputi aspek-aspek teknis, antara lain: kerataan, kekesatan dan kemiringan permukaan. Penurunan nilai fungsional diindikasikan dengan penurunan tingkat keamanan dan kenyamanan berkendaraan karena kondisi performansi hasil pemeliharaan berkala maupun peningkatan

- jalan kurang memenuhi standar indek performansi yang disyaratkan (Mulyono, 2002) dan (Ditjen Bina Marga, 2006).
- 4) (Bennett, 2006) menyebutkan kinerja berkaitan erat dengan sesuatu yang dijadikan acuan untuk menilai kekuatan struktural dan fungsional konstruksi jalan dalam mendukung beban lalu lintas kendaraan, bertahan terhadap pengaruh perubahan cuaca terutama air hujan atau genangan air serta tidak terjadi penyimpangan prosedur kerja di lapangan. Dimensi mutu konstruksi jalan menurut (Bennett, 2006) dan (Paterson, 2007) merupakan gabungan dari beberapa kondisi yang terdiri dari performansi (performance) permukaan yang berkaitan dengan aspek fungsional perkerasan jalan, antara lain: kondisi kerataan (nilai IRI), kemiringan melintang dan memanjang, kondisi kelicinan, kekesatan (nilai SCRIM) dan keamanan berkendaraan; kehandalan (reliability) yang berkaitan dengan aspek struktural perkerasan jalan, antara lain: kondisi daya dukung (rating PCI), dan genangan air permukaan (lama waktu hydroplaning); konformansi (conformance) yang berkaitan dengan tingkat pencapaian mutu konstruksi terhadap spesifikasi teknis yang telah disepakati sebelumnya, antara lain: standar mutu; ketepatan mutu, volume dan waktu pengujian; dan daya tahan yang berkaitan dengan ukuran masa atau waktu operasional perkerasan jalan untuk mendukung dan melayani beban lalu lintas kendaraan, indikasinya adalah jumlah dan jenis kerusakan struktural yang terjadi di awal umur pelayanan, antara lain: cracking, pothole, rutting, deformation, ravelling, corrugation dan bleeding.

Data kerusakan yang terdokumentasi dengan akurat dan terstruktur sangat bermanfaat dan memiliki nilai penting dalam pelaksanaan manajemen pemeliharaan berkelanjutan. Dengan data yang akurat, akan mudah dalam melakukan pemetaan dan pemodelan optimasi manajemen pemeliharan perkerasan.

Andri IRFAN

Proses mengacu kepada pengumpulan data dan penggunaan *output* dalam beragam proses usaha instansi yang bersangkutan harus akurat dan dapat dipertanaggungjawabkan serta hasilnya harus digunakan secara efektif dalam pengambilan keputusan organisasi (Hede, 2011).

BAB II

MODEL PREDIKSI KINERJA JALAN

2.1 Model Prediksi Kinerja

Model prediksi kinerja jalan adalah gambaran matematis dari perubahan nilai dan variabel kondisi lapis perkerasan yang digunakan dalam mengukur kinerja lapis perkerasan (Hudson, et al., 1979). Atribut atau variabel yang mampu disusun dalam bentuk deskripsi matematis dapat digunakan untuk melakukan prediksi kinerja jalan masa depan berdasarkan kondisi saat ini. Model prediksi kinerja jalan dapat mengungkapkan keadaan masa depan kondisi lapis perkerasan sebagai fungsi dari berbagai variabel struktur perkerasan, usia, beban lalu lintas, dan variabel lingkungan (Si, et al., 2014)

Model prediksi kinerja jalan mampu menghasilkan model perkiraan kondisi pekerasan yang bersifat tunggal, seperti PCI berdasarkan *distress* yang terjadi pada lapis perkerasan (Lee, et al., 2013), atau indeks kondisi lapis perkerasan secara keseluruhan (kombinasi dari semua *distress* dan kualitas berkendara), seperti PSI (Shah, et al., 2013). Selanjutnya, dalam penelitian ini direkomendasikan untuk melakukan pemodelan dengan mengumpulkan variabel secara utuh. Pemodelan dengan *distress* tunggal yang disusun dengan membandingkan model *distress*

keseluruhan akan membantu menyusun model perkiraan yang lebih baik. Model yang disusun harus mampu memberikan saran kepada lembaga penyelenggara jalan untuk menangani *distress* tunggal secara terpisah, sekaligus penanganan keseluruhan *distress* untuk penanganan pemeliharaan dan rehabilitasi secara lebih luas (Alavi, et al., 2015).

Setelah jenis model prediksi kinerja jalan ditetapkan dan dijalankan, kondisi perkerasan pada masa lampau masih diperlukan untuk evaluasi hasil model perkiraan yang dihasilkan. Dalam implementasinya model kurva sering digunakan untuk menggambarkan secara lengkap proses perubahan dan model perkiraan kondisi lapisan perkerasan tersebut (Anastasopoulos & Mannering, 2014). Model prediksi kinerja jalan umumnya digunakan untuk memperkirakan perubahan kondisi lapis perkerasan selama beberapa periode waktu ke depan. Hasil perkiraan tersebut menjadi dasar untuk menetapkan model pemeliharaan dan rehabilitasi lapis perkerasan. Sebagaimana diketahui bahwa akurasi model prediksi kinerja jalan adalah hal yang sangat penting dalam sistem manajemen perkerasan jalan. Keberhasilan sistem manajemen perkerasan jalan sebagian besar tergantung pada model ini. Model prediksi yang baik dapat membuat sistem manajemen perkerasan jalan lebih baik serta dapat memberikan usulan anggaran yang optimal (Beg & Banerjee, 2015).

Lembaga penyelenggara jalan memiliki tugas untuk mengetahui dan melakukan analisis kebutuhan pemeliharaan dan rehabilitasi perkerasan jalan. Dalam analisis kebutuhan, data dan informasi dari kondisi lapis perkerasan digabungkan dengan informasi lain untuk menentukan waktu dan jenis pemeliharaan yang dibutuhkan. Analisis kebutuhan didasarkan pada periode waktu yang dipilih atau sampai kondisi turun ke tingkat ambang batas. Model prediksi kinerja jalan digunakan untuk meramalkan kondisi selama periode analisis dengan skenario ada dan tidak

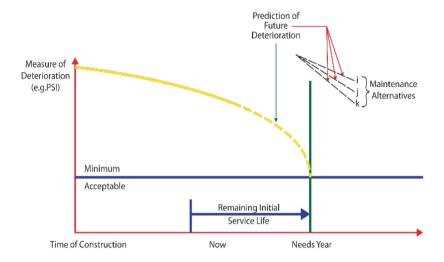
ada pemeliharaan yang diterapkan (Chang, et al., 2015). Ketika proses analisis mengidentifikasi bagian yang membutuhkan pemeliharaan, model prediksi lain digunakan untuk menunjukkan dampak yang diharapkan pada kondisi bagian yang dipelihara tersebut. Kedua model ini bersama-sama diharapkan dapat menggambarkan kebutuhan pemeliharaan dan rehabilitasi secara utuh.

2.2 Pentingnya Model Prediksi Kinerja

Model prediksi kinerja jalan sangat penting dalam proses pengambilan keputusan dan menjawab atas pertanyaan apa, di mana, dan kapan, sehubungan dengan kebutuhan pemeliharaan Sederhananya, model prediksi kinerja rehabilitasi. jalan memungkinkan stake holder dapat menentukan jenis pemeliharaan dan rehabilitasi yang diterapkan; lokasi segmen dan jaringan; serta waktu pelaksanaan pemeliharaan dan rehabilitasi (Hosten, et al., 2015). Beberapa penelitian membedakan antara model prediksi kinerja jalan berdasarkan definisi khusus untuk langkah-langkah yang dipilih dari kondisi yang dikembangkan (Hudson, Haas, & Uddin, 1997). Penulis lain membahas model prediksi kinerja jalan dan performance curve sebagai kesamaan yang tidak membedakan antara keduanya. Dalam tulisan ini dibedakan secara tegas tentang model prediksi kinerja jalan dengan performace curve.

Telah dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa metode terbaik mengelola risiko terkait dengan pemeliharaan jangka panjang adalah dapat mengukur kondisi kinerja perkerasan saat ini dan masa depan. Tujuan utama dari model prediksi kinerja jalan adalah untuk memprediksi kondisi masa depan ketika kondisi sekarang diketahui dengan menambahkan skenario pemeliharaan dan rehabilitasi yang dipilih (Alyami & Tighe, 2013). Berbagai jenis distress, seperti roughness, rut, crack, atau indeks, dapat

digunakan sebagai masukan untuk model ini. Model prediksi kinerja jalan pun diperlukan untuk memperkirakan kebutuhan dan waktu pemeliharaan bagian dalam jaringan jalan yang luas. Gambar 2.1 adalah ilustrasi bagaimana model prediksi kinerja jalan implementasikan untuk memperkirakan tingkat kerusakan dalam kurun waktu tertentu, perkiraan umur layan, dan alternatif pemeliharaan dan rehabilitasi. Jenis pemeliharaan dan rehabilitasi yang dipilih dapat menentukan perbedaan tingkat kinerja jalan.



Gambar 2.1 Model prediksi kinerja jalan dan *deterioration curve*Sumber: FHWA, 2002

Klasifikasi model prediksi kinerja jalan sudah mulai dikembangkan sejak beberapa dekade, salah satunya adalah penelitian Mahoney (1990), merupakan hasil penelitian lanjut yang dilakukan oleh Lytton (1987). Model prediksi kinerja jalan dapat diklasifikasi menjadi *deterministic* dan *probabilistic*. Dalam perkembangannya, ada beberapa kombinasi lintas ilmu di dalam pengembangan model prediksi kinerja jalan, salah satunya

AI, yang telah mampu membantu menyusun model prediksi dalam berbagai bidang disiplin ilmu (Neves, et al., 2012).

2.3 Determistic Model

Deterministic model memerlukan satu set input kondisi lapis perkerasan untuk menghasilkan satu nilai output. Deterministic model biasanya ditampilkan sebagai fungsi regresi linier sebagai bentuk yang paling sederhana, namun bisa juga menggunakan fungsi eksponensial dan lainnya untuk mendapatkan model yang lebih akurat (Amin, 2015). Deterministic model ini antara lain mechanistic, empirical, mechanistic-empirical atau berbasis expert opinion. Mechanistic model misalnya menggunakan pendekatan mekanis dan fisika. Sebagai contoh dalam pemodelan kerusakan jalan, hubungan antara crack, rut, pothole dan roughness dapat digunakan tersendiri atau secara bersama-sama (Buttlar & Paulino, 2015).

Regresi linier berganda adalah salah satu bentuk yang paling sederhana dari *deterministic model* dan dapat digunakan ketika lebih dari satu faktor yang mempengaruhi variabel dependen. Model ini masih terus berkembang, adapun model prediksinya dapat mengikuti persamaan:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n$$
 2.1

Dimana $b_0, b_1, ..., b_n$ adalah angka koefisien, y adalah perkiran variabel dependen, dan $x_1, ..., x_n$ nilai variabel independen. Dalam perihal pavement deterioration, y adalah kondisi lapis permukaan jalan secara umum, dan $x_1, ..., x_n$ faktor yang mempengaruhi kondisi lapis perkerasan. Untuk mendapatkan nilai koefisien $b_0, b_1, ..., b_n$ metode least squares biasa digunakan (Dong, et al., 2014).

Berbagai persamaan, sebagian besar didasarkan pada analisis regresi yang dikembangkan untuk memprediksi kinerja

jalan. Empirical model dibatasi oleh ruang lingkup pangkalan data yang digunakan dalam perkembangannya. Jenis-jenis persamaan regresi hanya berlaku dalam kondisi tertentu dan tidak dapat diterapkan ketika kondisi sebenarnya berbeda. Salah satu contoh yang paling terkenal dari model empiris adalah HDM-IV yang dikembangkan oleh world bank (Nassiri, et al., 2013). Awalnya perkembangan HDM hanya di negara-negara berkembang saja, namun belakangan berdasarkan penelitian Buttlar & Paulino (2015) beberapa negara industri mulai menunjukkan minat untuk menerapkan model ini lebih luas lagi. Dalam rangka memperluas lingkup HDM termasuk didalamnya memberi kemampuan tambahan seperti model kemacetan lalu lintas, dampak iklim dingin, keselamatan jalan dan dampak lingkungan. Hingga saat ini HDM-IV telah memiliki aplikasi yang cukup lengkap meliputi tingkat strategis, tingkat program, dan tingkat pelaksanaan. Selain aplikasi tersebut, HDM juga memiliki modul prediksi kinerja jalan dengan berbagai jenis distress. Kerali (2000) dalam tulisannya menyebutkan model roughness dapat digambarkan sebagai berikut:

ΔRI = perubahan nilai *roughness* selama masa periode tertentu

 K_{gp} = nilai kalibrasi

ΔRI_s = perubahan nilai *roughness* akibat *structural*deterioration, diantaranya dipengaruhi fungsi umur
rencana, jumlah equivalent standard axles dan

structural number

 ΔRI_c = perubahan nilai roughness akibat cracking

 ΔRI_r = perubahan nilai roughness akibat rutting

 ΔRI_t = perubahan nilai roughness akibat potholing

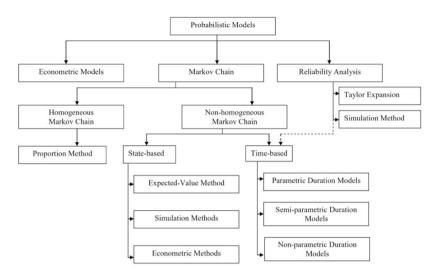
 ΔRI_e = perubahan nilai *roughness* akibat lingkungan

2.4 Probabilistic Models dan Klasifikasi

Dalam sistem manajemen perkerasan jalan, selain dikenal deterministic model juga dikenal dengan probabilistic model. Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa dalam deterministic model, kondisi kinerja perkerasan masa mendatang diperkirakan sebagai nilai serviceability dengan indeks tertentu, sedangkan probabilistic model melakukan prediksi kinerja perkerasan dengan memberikan beberapa probabilitas yang mungkin terjadi dengan proses acak (Panagopoulou & Chassiakos, 2012).

Sampai saat ini cukup banyak *probabilistic model* yang telah dikembangkan dalam berbagai sistem manajemen perkerasan jalan. Model-model yang dikembangkan sebelumnya dapat diringkas menjadi tiga kategori: *econometric models*, *markov chain models*, dan *reliability analysis*. Setiap kategori mencakup berbagai klasifikasi yang lebih spesifik. Misalnya, *markov chain models* terdiri dari *homogeneous* dan *non-homogeneous markov chain models* (Tabatabaee & Ziyadi, 2013). Rincian klasifikasi dapat dilihat pada gambar 2.2.

Dalam perkembangannya, penggunaan econometric models untuk memodelkan korelasi antara pavement distress dengan variabel yang mempengaruhinya semakin banyak digunakan (Porras-Alvarado, et al., 2014). Dalam tulisannya Li (2012) telah menggunakan pendekatan econometric model dengan markov chain model untuk melakukan perbandingan pengukuran berbasis AASHO road test data.



Gambar 2.3 Klasifikasi probabilistic model

2.4.1 Model Markov Chain

Klasifikasi lain probabilistic model yang populer adalah markov chain model. Puterman (2014) membuktikan efektivitas penggunaan marcov chains model. Model ini telah digunakan untuk model kinerja jalan di berbagai sistem manajemen perkerasan jalan. Markov model sering dianggap tidak memiliki fleksibilitas dan dianggap membatasi kemampuan ketika menyusun model mengenai model kinerja, terutama karena "memoryless" dan asumsi distribusi eksponensial untuk kasus-kasus tertentu. Pendekatan model dengan mengikuti distribusi weibull dapat membuat lebih fleksibel dibandingkan dengan markov chain model tradisional (Thomas & Sobanjo, 2012). Model semi-markov tidak memiliki "memoryless" jika distribusi tidak eksponensial. Dalam beberapa penelitian yang berhubungan dengan sistem manajemen perkerasan jalan, disebutkan bahwa

pendekatan *semi-markov* lebih memiliki nilai fleksibilitas dibandingkan dengan *markov chain model* (Puterman, 2014).

Seperti diuraikan di bagian sebelumnya bahwa probabilistic model yang paling populer digunakan untuk model kinerja perkerasan adalah markov chain model. Model tersebut memberikan probabilitas, p_{ij} pada kondisi i dengan time-step t, akan dinyatakan dalam kondisi j pada time-step (t+1). Pendekatan transisi probabilitas tersebut dapat dilihat dalam bentuk matriks transisi berikut ini:

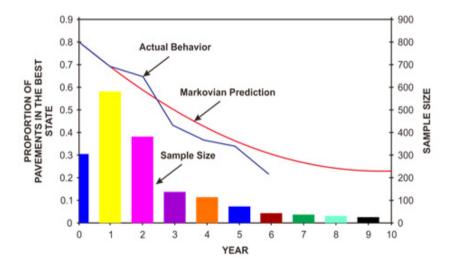
$$P^{t,t+1} = P(X_{t+1} = j | X_t = i) = \begin{bmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{i1} & \cdots & P_{ij} \end{bmatrix}$$
 2.3

$$dimana P_{ij} \geq 0; i,j \geq 1; \sum\nolimits_{k=1}^{j} P_{i,k} = 1$$

Proses transisi markov dapat berupa homogen atau non-homogen. Dalam transisi homogen, variabel seperti beban lalu lintas, kondisi lingkungan, kondisi material, dan lain lain dianggap konstan selama periode analisis, dan untuk alasan ini probabilitas matriks (P) tidak berubah pada semua tahap. Dalam aplikasi praktis dalam sistem manajemen perkerasan jalan, model non-homogen yang umum digunakan (Zhang & Gao, 2012). *Markov chain model* digunakan untuk memprediksi kinerja jalan karena kemampuannya dalam menerjemahkan kondisi waktu dan ketidakpastian pada proses penurunan kinerja perkerasan jalan.

Jika sifat tetap pada sistem manajemen perkerasan jalan dapat diubah ke dalam berbagai bentuk dan bersifat probabilistik pada interval waktu tertentu, maka pendekatan tersebut adalah proses stokastik. *Markov chain model* adalah salah satu proses stokastik, yang memiliki sifat probabilitas transisi dari kondisi

saat ini ke keadaan berikutnya tergantung pada kondisi saat ini dan bukan kondisi yang direncanakan. Dalam melakukan analisis, *markov chain* dapat digunakan jika semua kondisi telah ditelaah dan didefinisikan, kemudian dapat dimasukkan ke dalam persamaan *markov chain*. Kalibrasi berbagai kondisi tertentu dapat lebih lanjut dimasukkan ke dalam persamaan *markov chain*. Keberhasilan pendekatan ini sangat tergantung dari pengumpulan data pada kondisi yang terjadi dengan implementasi sistem manajemen perkerasan jalan yang telah disusun (Lin & Makis, 2015). *Data series* yang baik, dapat menyusun model dengan optimal. Sebaliknya kondisi *data series* yang susunannya tidak tertata baik, maka model yang dikembangkan kemungkinan memiliki beberapa kekurangan.



Gambar 2.4 Markovian chain model

Sumber: (Wang, et al., 1993)

Arizona's Department of Transportation telah menggunakan aplikasi sistem manajemen perkerasan jalan

dengan pendekatan *markov chain model*, terutama untuk modul prediksi kondisi dan kebutuhan perbaikan lapis perkerasan. Hasil aplikasi yang dibangun dapat dilihat pada gambar 2.5, pada rentang waktu yang sama terlihat penurunan kinerja perkerasan jalan yang berbeda untuk berbagai pendekatan dengan mempertimbangkan *data series*. Shahin (2005) telah melakukan studi aplikasi *markov chain* pada sejumlah kondisi dengan harapan probabilitas berbagai kondisi dapat dipetakan dengan baik, sehingga sistem manajemen perkerasan jalan dapat memilih lokasi dan segmen yang harus mendapatkan perhatian utama.

2.4.2 Probabilistic Regression Models

Probabilistic model lain yang umum digunakan adalah logistic regression. Tidak seperti regresi linier berganda, yang menunjukan keadaan distress pavement merupakan output dari model tersebut, logistic regression memberikan probabilitas penurunan kondisi dalam keadaan tertentu dengan menambahkan variabel independen (Harvey, et al., 2012). Probabilitas yang terjadi dapat ditulis dalam fungsi logistik:

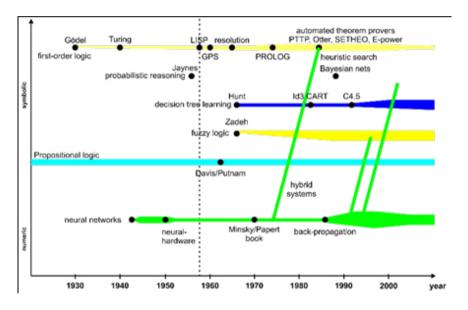
Dimana, P adalah probabilitas kondisi tertentu sehubungan model prediksi kinerja jalan atau y; x_i adalah faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi lapis perkerasan dan b_i adalah perkiraan koefisien regresi. Persamaan ini mengikuti biner Y bahwa probabilitas model prediksi kinerja jalan tersebut tidak dalam kondisi y adalah (1-p). Untuk mendapatkan nilai koefisien regresi, metode *maximum likelihood* umumnya digunakan. Model *logistic regression* dapat diperluas untuk mencakup lebih dari satu kategori variabel dependen dengan menggunakan *logistic regression* ordinal.

Model probabilistik sangat mirip dengan model logistic regression. Perbedaan antara keduanya ditemukan dalam fungsi distribusi yang mendasari, dalam model logistic regression, regresinya mengikuti fungsi distribusi logistik, sedangkan dalam probabilistic model menggunakan pendekatan distribusi standar normal. Hal ini menyebabkan model logistic regression memiliki kecenderungan persamaan ikutan daripada probabilistic model. Kedua model mendapatkan hasil yang sama, tetapi model logistic regression memiliki dua keunggulan dibandingkan model probabilistic (Kim, et al., 2013). Model logistic regression menggunakan komputasi sederhana dan operasi matematika dalam menyusun persamaan mudah dipahami. Operasi matematika dengan atribut yang lebih banyak, dapat memanfaatkan aplikasi komputer untuk menyederhanakan penulisan formulanya. Berbagai aplikasi komputer dan pemrograman telah banyak digunakan dalam penulisan formula model sistem manajemen perkerasan (Buttlar & Paulino, 2015).

2.5 Pendekatan Artificial Intillegence

Metode *soft computing* dilakukan dengan meniru proses yang ditemukan di alam, seperti otak dan seleksi alam (Tinoco, et al., 2014). Teknik *soft computing* memungkinkan melakukan pengolahan data untuk mengurangi ketidakpastian, tidak tepat, dan ambigu. Pada pertengahan awal 1960-an cabang baru ilmu komputer mulai menarik perhatian sebagian besar ilmuwan. Cabang baru ini, disebut sebagai AI, dapat didefinisikan sebagai studi tentang bagaimana menjadikan komputer dapat mendorong kualitas pekerjaan orang bisa lebih baik. Untuk mencapai tujuan tersebut, komputer dikembangkan dengan cara meniru perilaku manusia. Pada tahun 1970-an AI lebih terfokus pada pengembangan *expert system* yang disusun untuk mendukung pengambilan keputusan melalui pendapat para ahli yang dikomputasi. Kemudian, di tahun 1990-an perkembangan AI

terjadi pergeseran, yaitu mempelajari berbagai masalah langsung dari data (Liao, et al., 2012). Sampai saat ini AI terus berkembang dan meliputi beberapa metode dan solusi pada lintas ilmu. Pada gambar 2.5 dapat dilihat perkembangan AI dalam berbagai area keilmuan.



Gambar 2.5 Perkembangan Artificial Intellegence

Sumber: (Ertel, 2009)

Perkembangan industri teknologi informasi yang sangat cepat, keilmuan dalam pengumpulan data pun tumbuh pesat. Pangkalan data dalam ukuran besar tidak menjadi masalah apabila dapat memanfaatkan teknologi komputer dengan berbagai aplikasi utama dan pendukungnya. Semua data yang telah dikumpulkan dan disimpan dalam pangkalan data yang baik dapat menjadi pengetahuan yang sangat berharga (misalnya trend model, behavior model) yang dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan dan optimasi sebuah

tindakan (Liu, et al., 2010). Statistik klasik memiliki keterbatasan untuk melakukan analisis data dengan jumlah besar atau ketika fungsi hubungan yang kompleks antara variabel data. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, perlu dikembangkan alat bantu analisis data berbasis komputer dengan kemampuan yang lebih besar dan bersifat otomatis (Rahman, et al., 2014). Perkembangan pendekatan semi-otomatis dalam berbagai bidang ilmu, beberapa dekade terakhir telah terjadi peningkatan dan lintas disiplin ilmu, seperti AI, statistik dan sistem informasi. Bidang ini secara formal didefinisikan sebagai *knowledge discovery from database* (KDD). Wang (2012) menyebutkan dalam perkembangannya KDD semakin dikenal dengan istilah DM. Selanjutnya dalam buku ini, terminologi DM sering digunakan sebagai sinonim dari KDD.

BAB III

KONDISI PERKERASAN JALAN DAN PENGARUH PADA MUATAN BERLEBIH

3.1 Kondisi Perkerasan Jalan

Kondisi perkerasan adalah ungkapan umum untuk menggambarkan kemampuan lapis perkerasan dalam mempertahankan kinerja tertentu dibawah beban lalu lintas dan lingkungan yang terjadi. Hal ini biasanya diwakili oleh berbagai jenis indeks kondisi seperti PSI, present serviceability rating (PSR), mean panel rating (MPR), pavement condition index (PCI), pavement condition rating (PCR), ride number (RN), profile index (PI), dan IRI. Indeks-indeks tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori. Kategori pertama berbasis roughness dan kategori berbasis distress. Evaluasi kinerja perkerasan adalah tahapan yang kompleks dan penting untuk seluruh proses perencanaan perkerasan, pemeliharaan dan rehabilitasi, serta proses manajemen secara keseluruhan. Secara umum, komponen utama dari kinerja jalan melibatkan evaluasi terhadap roughness, distress, friction dan structure.

Konsep kinerja perkerasan jalan modern mulai dikembangkan oleh AASHO (Carey & Irick, 1960). Sebelumnya, tidak ada definisi yang diterima secara luas tentang kinerja perkerasan yang bisa dipertimbangkan dalam perancangan

lapis perkerasan. Seperti diuraikan sebelumnya bahwa PSI dikembangkan di AASHO, didasarkan pada kondisi *roughness* dan *distress* seperti *rutting*, *crack*, *pothole* dan *patching*. Huang (2004) menguraikan bahwa prosedur yang digunakan untuk merumuskan PSI dapat dirangkum ke dalam langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Penentuan definisi.
- 2) Penentuan *rating*.
- 3) Melakukan rating training.
- 4) Penentuan dan pemilihan pavement for rating.
- 5) Melakukan field rating.
- 6) Menyusun replicating rating.
- 7) Melakukan validasi *rating panel*.
- 8) Pengukuran kondisi lapangan.
- 9) Penyusunan dan pengolahan data hasil pengukuran.
- 10) Mengembangkan model dan menyusun persamaan prediksi kondisi *rating*.

Parameter final yang dipilih untuk digunakan dalam model PSI dikembangkan melalui uji fisik perkerasan yang memiliki *varians* kemiringan rata-rata untuk profil memanjang, kedalaman *rut* untuk profil melintang, crack, *pothole* dan *patch* untuk kondisi kerusakan permukaan.

3.2 Metode Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan

Metode lain untuk mengevaluasi kondisi perkerasan adalah dengan menggunakan *roughness* atau profil longitudinal. *Roughness* dapat diukur langsung atau tidak langsung. Salah

satu indeks *roughness* yang banyak digunakan adalah IRI. Pengukuran IRI adalah rangkuman profil longitudinal di jalur roda yang dihitung dari data elevasi permukaan. *Average rectified slope* (ARS), yang merupakan rasio akumulasi gerak suspensi dengan jarak yang ditempuh pada kecepatan 50 km/jam, digunakan untuk mendefinisikan ketidakrataan jalan.

Distress perkerasan dapat dikategorikan menurut jenis perkerasan serta dievaluasi berdasarkan tingkat kerusakan dan luasannya (SHRP, 1993). Jenis perkerasan dapat dikelompokkan sebagai perkerasan lentur (flexible pavement), perkerasan kaku (rigid pavement), dan perkerasan komposit. Distress termasuk rutting, raveling, bleeding, dan cracking serta pengukuran lain dari kerusakan. Tingkat distress dapat diidentifikasi sebagai rendah (low), sedang (moderate), atau tinggi (high); sedangkan sebarannya biasa digambarkan sebagai luasan atau perbandingan luas (%). Berbagai foto dan grafik seringkali digunakan untuk menggambarkan dan membantu mengidentifikasi tingkat kerusakan dan luasannya dalam bentuk manual.

Penelitian Saraf (1998) menyebutkan di Ohio, *distress index* lebih sering dilakukan dengan pendekatan PCR yang digunakan untuk mencerminkan dampak gabungan dari semua jenis *distress*, tingkat kerusakan dan luasannya. Salah satu komponen yang dimasukan kedalam PCR adalah kekesatan. Kekesatan permukaan didefinisikan sebagai gaya yang diberikan oleh permukaan jalan ketika roda bergerak dan menekan sepanjang permukaan perkerasan. Lapis perkerasan yang handal mampu memberikan kekesatan yang cukup aman, bahkan dalam kondisi permukaan jalan basah. Metode yang paling alami untuk menentukan kekesatan adalah menggerakkan sebuah mobil di permukaan perkerasan, mengunci roda setelah kecepatan yang diinginkan tercapai, dan mengukur seberapa jauh *slide* kendaraan sampai dengan berhenti penuh (ASTM E445) (Huang, 2004).

Kapasitas struktural perkerasan dapat dievaluasi dengan baik dengan non-destructive test (NDT) atau destructive test (DT). Metode yang digunakan dalam sebuah NDT meliputi defleksi pengukuran beban tertentu, penggunaan gelombang atau frekuensi, hammer test, ground-penetrating radar, dan impedance. Back-calculated modulus perkerasan berdasarkan data lendutan digunakan secara luas oleh berbagai penyelenggara perkerasan jalan, meskipun metode back-calculated mungkin tidak menghasilkan solusi secara khusus. Namun tentunya berbagai pendekatan tetap dilakukan dengan menambah faktorfaktor lain yang dibutuhkan untuk mendapatkan solusi terbaik, dengan mempertimbangkan kondisi lalu lintas, material, dan drainase. Pelaksanaan evaluasi perkerasan ini memang rumit, sulit untuk secara akurat mempertimbangkan semua faktor pada waktu yang sama, sehingga masih diperlukan sebuah metode dan tools yang dapat melakukan pendekatan tersebut secara lebih akurat

Untuk mendapatkan pangkalan data yang handal, dimulai dengan pelaksanaan survei yang tepat. Beberapa aspek prosedur survei kondisi perkerasan seperti disebutkan oleh Davies & Sorenson (2000), adalah

- 1. Penyelenggara harus mengevaluasi jenis *distress* yang dikumpulkan selama survei untuk menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi jenis pemeliharaan dan rehabilitasi.
- 2. Penyelenggara harus mengevaluasi prosedur yang digunakan untuk mengkonversi informasi *distress* perkerasan menjadi indeks kondisi perkerasan. Jika semua informasi *distress* dikompilasi ke dalam satu indeks komposit tunggal, maka sistem manajemen perkerasan jalan yang menggunakan indeks individu yang digunakan sebagai dasar pemeliharaan dan rehabilitasi.

3. Penyelenggara harus tetap melakukan *review* untuk semua tahapan pelaksanaan sistem manajemen perkerasan jalan, sehingga terus dilakukan perbaikan terhadap berbagai kelemahan yang teridentifikasi.

3.2.1 Roughness

Dari sudut pandang pengemudi mobil, *roughness* perkerasan adalah fenomena yang dialami oleh penumpang dan pengemudi kendaraan. Menurut definisi dari ASTM, *roughness* adalah penyimpangan dari kerataan permukaan perkerasan dengan dimensi karakteristik yang mempengaruhi pergerakan kendaraan, kualitas berkendaraan, beban dinamis, dan drainase. Sebagai contoh, profil memanjang, profil melintang, dan kemiringan badan jalan. Definisi tersebut mencakup faktor-faktor yang berkontribusi terhadap ketidakrataan jalan. Namun hal tersebut belum bisa memberikan definisi kuantitatif yang tepat untuk *roughness*, sehingga masih diperlukan pengukuran dan metode analisis untuk mengukur distorsi permukaan perkerasan.

Setelah metode pengukuran dan analisis ditentukan, penyelenggara jalan dapat membangun skala interpretasi untuk menentukan skala *roughness* (Arhin, et al., 2015). Pada saat yang sama, *roughness* dapat diukur dengan gelombang multi frekuensi yang memiliki panjang gelombang dan amplitudo tertentu. Ada beberapa penyebab perubahan *roughness*, yaitu beban lalu lintas, dampak lingkungan, material perkerasan dan penyimpangan konstruksi. Semua jenis lapis perkerasan memiliki penyimpangan selama konstruksi, sehingga walaupun perkerasan baru yang belum dibuka untuk lalu lintas tetap memiliki nilai *roughness*. *Roughness* biasanya meningkat akibat pengaruh beban lalu lintas dan lingkungan. Panjang atau pendeknya *roughness* biasanya disebabkan oleh *distress* perkerasan, yaitu *depression* dan *crack* (Baek, et al., 2014).

a. International Roughness Index

Kualitas berkendaraan atau roughness merupakan ukuran penting dalam mengukur kemampuan kinerja jalan didefinisikan sebagai kemampuan untuk mengakomodasi kenyamanan pengguna jalan pada tingkat yang wajar (TAC, 1997). Roughness dalam hal ini didefinisikan sebagai distorsi dari permukaan perkerasan yang memberikan kontribusi tingkat kenyamanan pengguna jalan (Hudson, et al., 1997). Tinggi rendahnya *roughness* sangat terkait dengan amplitudo dan frekuensi distorsi perkerasan, karakteristik suspensi kendaraan, dan kecepatan kendaraan. Apabila dilihat dari arti bahasa roughness lebih cenderung diartikan kerataan, namun sesungguhnya yang diukur adalah ketidakrataannya atau simpangan dari amplitude permukaan jalan. Nilai yang dijadikan acuan didalam roughness index adalah nilai simpangan berbanding panjang jalan yang dinilai. Semakin kecil simpangan yang terjadi atau dalam arti lain indexnya lebih kecil maka kondisi jalan tersebut lebih baik, dan sebaliknya.

Seperti disebutkan di awal bahwa IRI mulai dikembangkan pada tahun 1986 oleh world bank untuk mendapatkan gambaran kualitas permukan jalan yang dibangun melalui pendanaan world bank dengan didasarkan pendataan pada kegiatan sebelumnya yang dilakukan oleh NCHRP. IRI dihitung dari perbedaan profil memanjang jalan dengan cara melakukan pengukuran dengan instrumen kelas 1 atau kelas 2, kemudian dibagi dengan panjang profil untuk menghasilkan ringkasan roughness index (m/km atau mm/m). Sampai saat ini IRI dianggap relevan sebagai indikator dalam pengukuran kinerja perkerasan. Secara internasional, IRI cukup dikenal dan diakui independen dan memiliki kemampuan yang cukup stabil serta bisa dikalibrasi. Dengan latar belakang tersebut, IRI sering digunakan sebagai standar

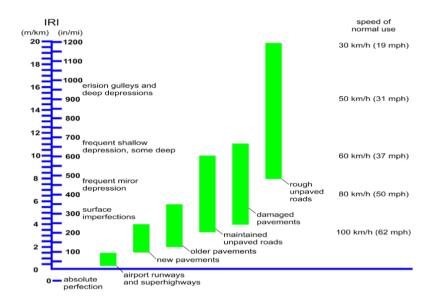
yang diterima dalam berbagai sistem pengukuran *roughness* yang dikalibrasi.

IRI dikembangkan sebagai indeks pengukuran *roughness* dalam upaya untuk membuat standar pengumpulan data dan analisis. Nilai ini adalah statistik *roughness* yang berlaku untuk semua jenis permukaan jalan dan mencakup semua tingkat *roughness*. Hal ini didasarkan pada simulasi, bahwa nilai IRI sama dengan 0 m/km adalah menunjukkan kehalusan mutlak, sementara nilai 10 m/km merupakan jalan tak beraspal kasar (TAC, 1997). Metode pengukuran *roughness* dikelompokan menjadi 4 kelas, yaitu sebagai berikut:

- 1. <u>Kelas 1</u>, precision profilers contohya dipstick, rod and level, profilometer, dan sejenisnya;
- 2. <u>Kelas 2</u>, profilometeric methods contohnya RT 3000, ARAN, dynatest model 5051, dan sejenisnya;
- 3. <u>Kelas 3</u>, response type devices contohnya mays ride meter, K.J law model 8300, dan sejenisnya;
- 4. <u>Kelas 4</u>, *subjective ratings* contohnya *riding comfort index*, *PSR*, dan sejenisnya.

Metode pengukuran kelas 1 adalah yang paling akurat, sedangkan Kelas 4 adalah yang paling kurang akurat. Ada *trade-off* yang pasti antara tingkat akurasi dan kecepatan pengujian. Untuk akurasi yang lebih tinggi (kelas 1) maka waktu yang diperlukan utuk melaksanakan pengujian lebih lama, sedangkan untuk akurasi yang lebih rendah (kelas 2 atau kelas 3), waktu yang diperlukan lebih sedikit. Dalam perkembanganya IRI dianggap mampu merangkum kondisi *roughness* yang memiliki pengaruh terhadap kendaraan, biaya operasi kendaraan, kualitas berkendaraan, beban roda dinamis, dan kondisi permukaan secara keseluruhan, gambar

3.1 menunjukkan rentang IRI yang diwakili oleh berbagai kondisi jalan.



Gambar 3.1 Skala International Roughness Index

Sumber: (TAC, 1997)

IRI hingga saat ini telah diterima secara internasional sebagai indikator kinerja jalan yang terus dikalibrasi untuk daerah dan waktu yang berbeda. Selain itu, IRI memiliki nilai lebih nyata dari parameter kinerja jalan lain karena hasil pengukuran yang objektif. IRI dihitung berdasarkan hasil pengembangan algoritma komputer dan tidak bersifat subyektif (Arhin, et al., 2015). Pada tabel 3.1 dapat dilihat uraian kondisi visual dan perkiraan nili IRI. Hass (2003) telah mengelompokkan sejumlah model prediksi kinerja perkerasan kedalam kelas tertentu dengan pendekatan empiris, mekanistik - empiris, dan subyektif.

Tabel 3.1 Perkiraan nilai IRI

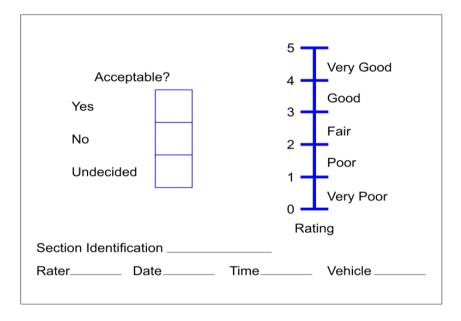
No	Jenis lapis perkerasan	Kondisi visual	Perkiraan IRI
1	Gravel dengan drainase yang tidak baik dan tanpa pemeliharaan	Sulit dilintasi	17-24
2	Seluruh jenis lapis perkerasan, tanpa pemeliharaan 4-5 tahun atau lebih.	Rusak berat dengan sejumlah pothole	12-17
3	Macadam penetration bercampur gravel	Rusak, deflected, pothole	9 -12
4	Macadam penetration dengan lapis aspal setelah 2 tahun	Tidak terlalu baik, sedikit <i>pothole</i>	7-9
5	Macadam penetration dengan lapis aspal	Tidak terdapat pothole	5-7
6	Hotmix tipis	Cukup baik	3-5
7	Hot-mix setelah 2 tahun,	Baik	2-3
8	Hot-mix	Sangat baik	0-2

Dalam implementasinya, IIRMS mengumpulkan nilai IRI setiap tahun melalui pengukuran lapangan. Pada waktu bersamaan dikumpulkan juga data ESAL, *crack, pothole, rutting*, dan *longcrack*. Namun sistem yang berjalan belum mampu menghasilkan informasi yang baik dan lengkap. Masih diperlukan interpretasi terhadap data yang ada, data yang hilang, atau data yang kurang akurat.

3.2.2 Ride Number

RN adalah *profile index* yang bertujuan untuk menunjukkan kemampuan berkendaraan pada skala yang sama

dengan PSI. Pengukuran profil memanjang diambil dengan profiler dan selanjutnya diproses menggunakan program komputer untuk memperoleh RN yang sesuai dengan skala pada rating yang telah ditetapkan. RN merupakan penilaian rata-rata pada rating panel yang menggunakan skala dari 0 sampai dengan 5. Pendekatan dan transformasi yang digunakan dalam RN ini bersifat non-linear dan diproses dalam software dan hardware yang bersifat portable. Pada gambar 3.2 dapat dilihat pendekatan RN yang digunakan untuk melakukan survei lapangan, kemudian diproses dengan menggunakan aplikasi tersebut.



Gambar 3.2 Subjective Rating

Source: NCHRP, 1980

RN adalah hasil dari dua penelitian NCHRP yang dilakukan di tahun 1980 untuk menyelidiki pengaruh dari kekasaran permukaan jalan terhadap kenyamanan berkendara.

Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk menentukan bagaimana profil jalan terkait dengan pendapat subyektif tentang jalan yang dipahami oleh pengguna jalan secara umum. Selama dua studi dalam kurun waktu 5 tahun, (MPR) yang diuji coba pada skala 0-5 dengan lokasi pengujian di beberapa negara. Skala tersebut dapat dilihat pada gambar sebelumnya.

Profil longitudinal diperoleh dari gabungan hasil pengukuran lajur roda kanan dan roda kiri. Sejak awal perkembangan penelitian, RN dikembangkan dengan pendekatan MPR menggunakan algoritma matematika sederhana seperti tercantum dalam laporan NCHRP 275. Namun algoritma yang ditampilkan masih belum terstruktur dengan baik. Pada tahun 1995, beberapa data dari dua proyek NCHRP di Minnesota dikumpulkan dan dianalisis kembali untuk penyempurnaan penelitian sebelumnya. Federal Highway Administration (FHWA) mencoba mengembangkan dan menguji proses matematika praktis untuk memperoleh RN berdasarkan pengukuran yang lebih objektif. Penentuan peringkat yang sebelumnya dilakukan dengan pendekatan subyektif dirubah menjadi obyektif.

3.2.3 Pavement Distress Rating

Distress dapat dilihat secara visual pada lapis permukaan jalan sebagai identifikasi permulaan. Meskipun hubungan antara distress dengan kondisi perkerasan secara umum belum dapat didefinisikan dengan baik, namun pada umumnya berbagai pihak sepakat bahwa kemampuan lapis perkerasan dalam melayani beban lalu lintas dipengaruhi oleh distress yang dapat dilihat secara visual (Saraf, 1998). Berbagai lembaga penyelenggara jalan menggunakan distress sebagai ukuran utama dalam menilai kondisi perkerasan. Distress itu sendiri dapat dibagi menjadi dua kelompok. Pertama adalah distress yang bersifat struktural, yaitu berhubungan dengan kemampuan dalam memenuhi beban

rencana. Kedua adalah *distress* fungsional, yaitu berhubungan dengan kemampuan lapis perkerasan terkait dengan kualitas berkendara dan keselamatan pengguna jalan (Al-Mansou, 2004). *Distress* pada umumnya dikelompokan untuk menggambarkan jenis, tingkat, dan sebarannya. Namun, identifikasi *distress* dan prosedur pengukuran mungkin sedikit berbeda pada tiap lembaga penyelenggara jalan.

Evaluasi kondisi permukaan lapis perkerasan merupakan salah satu komponen yang cukup penting dalam sistem manajemen perkerasan jalan. Dengan evaluasi yang baik, akan memberikan data dan informasi bagi lembaga penyelenggara jalan. Sehingga dapat melaksanakan sistem manajemen perkerasan jalan secara optimal dan mampu mempertahankan kinerja jalan pada level yang disyaratkan. *Distress* pada lapis perkerasan adalah akibat dari beban lalu lintas, beban lingkungan, jenis dan kualitas material konstruksi, dan faktor penyebab lainnya lainnya. Beberapa contoh *distress* yang berkaitan dengan lapis permukaan dengan perkerasan lentur adalah *longcrack, crack, alligator crack, raveling, polishing, bleeding*, dan *pothole*. Sedangkan contoh *distress* pada lapis permukaan perkerasan kaku adalah *block cracking, edge cracking, spalling, blowouts, scaling* dan *map cracking*.

Jenis *distress* yang mudah diidentifikasi dan menjadi perhatian utama pengguna jalan adalah *pothole*. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa dinamika dampak lubang kendaraan, dapat menyebabkan kerusakan kendaraan seperti ban pecah dan kendaraan terguling (Baker, 1975). Pada tahun 2001 FHWA bahkan secara khusus sudah mengeluarkan manual untuk menangani kondisi lubang (Wilson & Romine, 2001). Kemudian dalam 10 tahun terakhir penelitian tentang pengukuran, identifikasi dan penanganan lubang semakin berkembang. Pengamatan dan monitoring menggunakan berbagai peralatan lintas keilmuan untuk mendapatkan pemodelan lubang yang

lebih baik, salah satunya adalah penggunaan optikal dan radar (Zhou, et al., 2006), (Eriksson, et al., 2008) serta (Koch & Brilakis, 2011). Model yang sudah cukup mapan pun kemudian mempertajam penanganan lubang melalui kalibrasi HDM di India (Jain, et al., 2005) dan kalibrasi atas perubahan cuaca di Brazil (Castro, et al., 2014).

Kondisi lapis permukaan jalan dapat dikelompokan dengan berbagai indeks seperti SDI atau PCI (Zhang, et al., 2015), (Sen, et al., 2014), dan (Wolters, et al., 2015). Selain itu ada penggunaan DMI seperti di Ontario sebagai ukuran kondisi permukaan. Prosedur untuk menghitung PCR (Osorio, et al., 2014). PCR dihitung berdasarkan penjumlahan dari nilai tertinggi kemudian dikurangi untuk setiap jenis distress yang diobservasi. Nilai dikurangi berdasarkan fungsi dari jenis distress, tingkat kerusakan, luasan, dan sebarannya. Deduksi untuk setiap jenis distress dihitung dengan mengalikan bobot distress, bobot kerusakan distress, dan bobot sebaran distress (Boyapati & Kumar, 2015). Model matematika yang digunakan dalam metode PCR adalah sebagai berikut:

$$PCR = 100 - \sum_{i}^{n} deduct(i) \qquad ... \qquad$$

Dimana n adalah jumlah distress hasil observasi, dikurangi (i), nilai deduct untuk distress, W_d adalah bobot distress, W_s adalah bobot kerusakan distress, dan W_s adalah bobot batas distress. Jenis distress disesuaikan dengan empat jenis perkerasan, yaitu raveling, bleeding, patching, potholes, crack-sealing deficiency, rutting, settlement, corrugation, wheel track cracking, block & transverse cracking, longitudinal joint cracking, edge cracking, and random cracking. Tiga tingkat kerusakan distress berupa low (L), medium (M), dan high (H).

Sedangkan tiga tingkat batas distress adalah occasional (O), frequent (F), dan extensive (E). Pada tabel 3.2 dilihat uraian jenis distress.

Tabel 3.2 Gambaran dan identifikasi jenis *distress*

Distress	Gambaran	Identifikasi
Potholes	Lubang dangkal atau dalam, akibat dari hilangnya lapis pekerasan	Berbentuk mangkuk atau tabung
Rutting	Depresi memanjang pada lapis perkerasan di sepanjang jalur roda akibat beban berulang.	Bentuk memanjang pada lapis permukaan sepanjang jalur roda
Fatigue Cracking	Sering terlihat sebagai alligator crack, crack atau block crack yang saling berhubungan yang disebabkan akibat kelelahan pada bahan perkerasan aspal	Sering terjadi di area dengan beban lalu lintas (jalur roda) berulang, namun sering juga terjadi pada area yang tidak sering mendapatkan beban, serangkaian retakan bisa saja menunjukan awal dari <i>fatigue</i> dan kemudian berkembang menjadi kerusakan dalam arti sesungguhnya. Memiliki pola khas berupa pola kawat di tahap-tahap selanjutnya.

Distress	Gambaran	Identifikasi
Longitudinal Cracking	Bentuk <i>crack</i> dengan posisi yang cenderung sejajar dengan bagian tengah pada lapis perkerasan. Memanjang namun bukan akibat beban berulang roda kendaraan	Crack sering ditandai dan berada sejajar dengan bagian tengah badan jalan dan umumnya di luar jalur roda. Bentuk crack kadangkala berliku ke jalur roda, tetapi umumnya tetap di luar jalur roda
Transverse Cracking	Bentuk <i>crack</i> tegak lurus as lapis perkerasan.jumlah <i>crack</i> biasanya dihitung dengan menjumlahkan kelompok <i>crack</i> pada area yang berdekatan	Tegak lurus dengan as lapis perkerasan
Block Cracking	Distress dalam bentuk crack membentuk lapis permukaan perkerasan menjadi potongan-potongan persegi panjang sekitar 1-100 ft². Crack jenis ini tidak seperti fatigue crack, biasanya akan terjadi di seluruh area lapis perkerasan, bukan hanya di jalur roda.	Memiliki pola yang membagi lapis permukaan menjadi potongan-potongan persegi panjang

Distress	Gambaran	Identifikasi
Raveling	Pelepasan lapis perkerasan yang disebabkan oleh lepasnya ikatan agregat.	Perubahan tekstur permukaan dari sekedar kasar menjadi permukaan yang tidak berbentuk. Bentuk kerusakan membuat pola tertentu pada lapisan permukaan paling atas, tidak hanya terjadi pada lajur roda namun tersebar di seluruh area perkerasan.
Bleeding	Terjadi akibat kelebihan kandungan aspal, permukaan terlihat mengkilap dan terkesan licin.	Kelebihan kandungan aspal menyebabkan <i>shiny</i> , <i>glasslike</i> , <i>reflective surfac</i> e biasa terjadi pada jalur roda

Sumber: (ODOT, 2010)

Menurut Shahin (1994), jenis dan tingkat kerusakan perkerasan untuk jalan ada 19 kerusakan yaitu: alligator cracking, bleeding, block cracking, bums and sags, corrugation, depression, edge cracking, joint reflection, lane/ shoulder drop off, longitudinal and transverse cracking, patching and utility cut patching, polished aggregate, potholes, railroad crossings, rutting, shoving, slippage cracking, swell, weathering dan ravelling. Seluruh distress dapat dinilai berdasarkan tingkatnya pada tiap-tiap jenis kerusakan. Tingkat kerusakan yang digunakan dalam perhitungan adalah low severity level (L), medium severity level (M), dan high severity level (H). Sedangkan kadar kerusakan (density) berupa persentase luasan dari suatu jenis kerusakan terhadap luasan suatu unit segmen yang diukur dalam meter persegi atau meter panjang. Nilai density suatu jenis kerusakan dibedakan juga berdasarkan tingkat kerusakannya. Severity level

dan *density* dapat menggambarkan perbedaan setiap *distress* yang terjadi.

Pada tabel berikut dapat dilihat jenis distress, sebaran dan luasannya yang dibedakan menjadi kelompok *low*, *medium* dan *high*. Setiap batasan memiliki konsekuensi yang berbeda pula dalam definisi pemeliharannya.

Tabel 3.3
Tingkat dan batas kerusakan

Disture	Severity			Density				
Distress	Low	Medium	Hig	High		sional	Frequent	Extensive
Potholes	Depth <1" Area <yd²< td=""><td><1",>1yd² >1",<1yd²</td><td colspan="2">>1" and >1 yd²</td><td colspan="2"><5/mile</td><td>5-10/ mile</td><td>>10 mile</td></yd²<>	<1",>1yd² >1",<1yd²	>1" and >1 yd ²		<5/mile		5-10/ mile	>10 mile
Rutting	<1/4"	1/4 -1"	>1"	>1"		, D	20-50%	>50%
Edge Cracking	Tight, <1/4"	>1/4" some spalling		4", lerate ling	<20%	Ď	20-50%	>50%
Crack Sealing Deficiency	Not considered	Not considered	Not	Not considered <		Ď	20-50%	>50%
Block & Transverse Cracking	<1/4" wide, no spalling	1/4-1" along min 0,5 length	>1" min leng	- /-		ó	20-50%	>50%
Longitudinal Joint Cracking	Single, <1/4", no spalling	Single/ multiple 1/4-1", some spalling	>1"	ltiple, , ling	<20%	Ď	20-50%	>50%
Wheel Track Cracking	Single/ Multiple Crack <1/4"	Multiple Crack >1	/4"	Alligat >1/4" spalling		<20%	20-50%	>50%
Bleeding	Not Rated	Bit and A Visible	gg.	Black Surface	•	<10%	10-30%	>30%
Revelling	Slight loss of sand	Open Texture		Rough pitted	or	<20%	20-50%	>50%
Random Cracking	<1/4"	1/4 - 1"		>1"		<20%	20-50%	>50%

Sumber: ASSHTO

3.3 Kondisi Perkerasan Jalan dan Muatan Berlebih

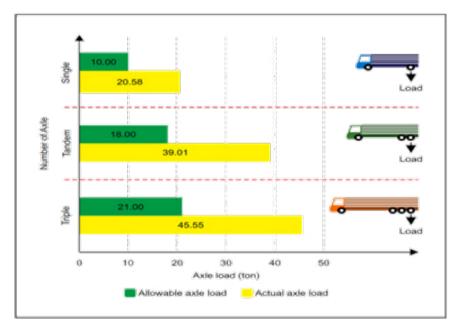
Secara definisi muatan berlebih adalah suatu kondisi pembebanan dari gandar kendaraan melebihi beban standar yang digunakan pada asumsi desain perkerasan jalan. Akibat muatan lebih tersebut, kerusakan jalan akan terjadi lebih cepat terjadi, karena jalan mendapat beban gandar kendaraan melebihi daya dukungnya. Muatan berlebih pada kendaraan dengan melebihi ketentuan batas beban yang ditetapkan dalam desain konstruksi jalan, secara signifikan meningkatkan daya rusak, dan dapat memperpendek umur pelayanan jalan. Perbedaan beban kendaraan mempengaruhi tingkat daya rusak kendaraan terhadap struktur jalan, hal tersebut lebih dikenal dengan sebutan vehicle damage factor (VDF).

Angka ekuivalen (AE) kendaraan atau VDF dihitung dengan menjumlahkan angka ekuivalen masing-masing sumbu kendaraan. VDF merupakan salah satu parameter yang dapat menentukan tebal perkerasan jalan yang cukup sigifikan. Semakin berat kendaraan (khususnya kendaraan jenis truck) apalagi dengan muatan berlebih, nilai VDF secara nyata membesar, seterusnya equivalent single axle load pun turut membesar. Beban konstruksi perkerasan jalan mempunyai ciri-ciri khusus dalam artian mempunyai perbedaan prinsip dari beban pada konstruksi lain di luar konstruksi jalan. Pemahaman atas ciriciri khusus beban konstruksi perkerasan jalan tersebut sangatlah penting dalam pemahaman lebih jauh, khususnya yang berkaitan dengan desain konstruksi perkerasan, kapasitas konstruksi perkerasan, dan proses kerusakan konstruksi yang bersangkutan. Saat dilaksanakan desain, asumsi beban kendaraan biasanya menggunakan jenis dan ukuran kendaraan standard dan normal, namun pada kenyataanya cukup banyak penyimpangan akibat modifikasi kendaraan angkut yang digunakan. Modifikasi ukuran dan bentuk kendaraan tanpa merubah jumlah gandar tentunya mendorong terjadinya beban jalan dengan muatan berlebih.

Lalu lintas yang dilayani oleh jalan nasional ditandai dengan banyaknya jenis kendaraan yang berbeda dengan variasi beban kendaraan beragam pula. Lemahnya pengawasan menyebabkan pengguna jalan mengabaikan batas maksimal beban sumbu yang telah ditentukan. Peningkatan jumlah beban berlebih di jalan nasional semakin memperpendek umur layan jalan nasional sekaligus menambah beban biaya pemeliharaan yang harus dikeluarkan (Pais, et al., 2013)

Usaha yang dilakukan DJBM dalam beberapa waktu belakangan ini terlihat meaningless sejak semakin tidak terkendalinya kendaraan dengan muatan berlebih yang melalui jalan nasional tertentu. Berdasarkan data DJBM yang dicatatkan weight-in-motion (WIM) dapat dilihat pada gambar 3.3, Terlihat dari gambar tersebut bahwa muatan berlebih yang terjadi di jalan nasional pantura Pulau Jawa sangat besar, sehingga memerlukan perhatian khusus. Tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh beban berlebih di Indonesia sangat besar pengaruhnya terhadap kondisi perkerasan jalan nasional. Beban kendaraan dengan beban berlebih 150% pada gandar tunggal, ganda, dan triple, dapat mengakibatkan tingkat kerusakan 500, 135, dan 122%. Apabila menggunakan perhitungan VDF sekitar 47.20, 10.30, dan 7.99 kali menimbulkan kerusakan (Rusbintardjo, 2013). Kerusakan sejenis terjadi bukan hanya di Indonesia, di negara lain seperti Malaysia dan Nigeria pun mengalami hal yang sama (Karim, et al., 2014) dan (Ede, 2014).

Fenomona beban berlebih yang saat ini sering disebut dengan Over Load Over Demension (ODOL) sepertinya semakin banyak terjadi. Pertimbangan nilai ekonomis menjadi salah satu 'alasan' dari para pelaku perjalanan dan jasa logistik untuk membawa beban diatas kapasitas yang diizinkan. Bahkan tidak sedikit yang melakukan pendekatan 'teknis' dengan cara menambah panjang kendaraan serta merubah spesifikasi roda dan komponennya agar mampu membawa beban yang jauh lebih besar lagi.



Gambar 3.3 Kendaraan dengan beban berlebih di Pantura Jawa

Jenis dan besarnya beban kendaraan yang beraneka ragam menyebabkan pengaruh daya rusak dari masing-masing kendaraan terhadap lapisan-lapisan perkerasan jalan raya tidaklah sama. Semakin besar beban suatu kendaraan yang dipikul lapisan perkerasan jalan maka umur perkerasan jalan akan semakin cepat tercapai, hal ini disebabkan kendaraan-kendaraan yang melintas memiliki angka ekivalen yang makin besar dan kendaraan yang lewat pada suatu lajur jalan raya memiliki beban siklus atau suatu beban yang berlang-ulang yang mempengaruhi indeks permukaan akhir umur rencana (IPt) dari perkerasan jalan raya. Kebanyakan truk di Indonesia mengalami kelebihan muatan, beberapa di antaranya memiliki kelebihan yang sangat besar. Sebuah survei The Asia Foundation, bekerja sama dengan LPEM-FEUI menunjukkan bahwa rata-rata 52% truk mengalami kelebihan muatan sekitar 45% di atas batas

muatan yang diizinkan. Rata-rata berat beban adalah sekitar 4 ton di atas berat yang diizinkan. Kebanyakan truk merupakan jenis bak terbuka dan mengalami modifikasi, banyak pemilik truk melakukan modifikasi terhadap truk mereka agar bisa memuat barang melebihi batas beban muat yang ditentukan (The Asia Foundation, 2008)

Untuk studi kasus di Indonesia, berat as kendaraan yang melampaui batas maksimum yang diizinkan (MST = muatan sumbu terberat) yang dalam hal ini MST ditetapkan dalam Undang Undang Republik Indonesia Nomor 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan yang menyebutkan jalan kelas I, yaitu jalan arteri dan kolektor yang dapat dilalui Kendaraan Bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 milimeter, dan muatan sumbu terberat 10 ton. Sedangkan untuk jalan kelas II, yaitu jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 12.000 milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 milimeter, dan muatan sumbu terberat 8 ton.

Selanjutnya jalan kelas III, yaitu jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui Kendaraan Bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.100 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 9.000 milimeter, ukuran paling tinggi 3.500 milimeter, dan muatan sumbu terberat 8 ton; dan jalan kelas khusus, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui Kendaraan Bermotor dengan ukuran lebar melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang melebihi 18.000 milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 milimeter, dan muatan sumbu terberat lebih dari 10 ton.

Dari ringkasan UU Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lalu Lintas dan Angkutan Jalan di atas dapat disimpulkan bahwa terdapat 4 kategori kendaraan dengan izin beroperasi di jalan-jalan umum sebagai berikut:

- Kendaraan kecil dengan panjang dan lebar maksimum 9000 x 2100 mm, dengan Muatan Sumbu Terberat (MST) ≤ 8 ton, diizinkan menggunakan jalan pada semua kategori fungsi jalan yaitu jalan lingkungan, jalan lokal, jalan kolektor, jalan arteri dan jalan khusus;
- 2) Kendaraan sedang dengan panjang dan lebar maksimum 18000 x 2500 mm, serta MST ≤ 8 ton, diizinkan terbatas hanya beroperasi di jalan-jalan yang berfungsi kolektor, arteri dan lokal. Kendaraan Sedang dilarang memasuki jalan lingkungan;
- 3) Kendaraan besar dengan panjang dan lebar maksimum 18000 x 2500 mm, serta MST ≤ 10 ton, diizinkan terbatas beroperasi di jalan-jalan yang berfungsi arteri dan kolektor; dan
- 4) Kendaraan besar khusus dengan panjang dan lebar maksimum 18000 x 2500 mm, serta MST >10 ton, diizinkan sangat terbatas hanya beroperasi di jalan-jalan yang berfungsi jalan khusus saja. Baik kendaraan besar maupun kendaraan besar khusus dilarang memasuki jalan lingkungan, jalan lokal, jalan kolektor dan arteri.

Ketentuan tersebut menjadi dasar diwujudkannya prasarana transportasi jalan yang aman. Jalan pun diwujudkan mengikuti penggunaannya, jalan arterial diwujudkan dalam ukuran geometrik dan kekuatan perkerasan yang sesuai dengan kategori kendaraan yang harus dipikulnya. Demikian juga jalan kolektor, lokal, dan lingkungan, dimensi jalannya dan kekuatan perkerasannya disesuaikan dengan penggunaannya. Terbitnya perundangan yang baru ini mencoba memberikan pembatasan lebih ketat terhadap kendaraan dengan MST diatas 10 ton, pada perundangan sebelumnya jenis kendaraan tersebut diperkenankan menggunakan jalan dengan fungsi arteri kelas jalan I. Namun selanjutnya pemerintah harus segera melakukan

pendefinisian lebih lengkap serta kelengkapan peraturan dan petunjuk teknisnya perihal jalan khusus tersebut.

Dengan demikian, dalam penggunaan jalan aktual, pelanggaran terhadap ketentuan tersebut dapat menimbulkan dampak inefisiensi berupa menurunnya kinerja pelayanan jalan. Misalnya, kendaraan dengan MST >10 ton, jika memasuki jalan arterial dengan MST ≤ 10 ton, maka perlu melakukan penyesuaian beban atau konfigurasi gandar. Seandainya beban kendaraan tidak disesuaikan, maka perkerasan jalan mengalami pembebanan dengan muatan berlebih sehingga kondisi perkerasan jalan dapat mengalami kerusakan. Selain dapat menyebabkan perkerasan jalan rusak lebih awal, dimensi kendaraan yang besar dapat menghalangi pergerakan kendaraan lain yang sedang operasi. Dengan demikian kinerja pelayanan jalan menjadi menurun, terjadi banyak konflik antar kendaraan dan perkerasan lebih cepat rusak.

Masalah kendaraan dengan muatan berlebih tidak saja berdampak terhadap percepatan kerusakan jalan tetapi juga menyebabkan berbagai gangguan yang berdampak pada lingkungan maupun keselamatan lalu lintas, seperti meningkatnya tingkat polusi udara, meningkatnya tingkat kebisingan, meningkatnya kemacetan lalu lintas, meningkatnya kecelakaan lalu lintas, dan lain-lain. Dalam kasus yang lebih jauh lagi, muatan berlebih dapat menyebabkan indikasi awal berupa pengelupasan permukaan akibat gesekan roda kendaraan, yang selanjutnya dapat menimbulkan kerusakan-kerusakan lanjutan. Jeong et al. (2011) melakukan pemodelan agar mampu mengurangi kerusakan pengangkatan permukaan jalan akibat beban lebih yang diterima oleh permukaan jalan serta kondisi cuaca dan suhu lingkungan yang yang kurang mendukung.

Dalam perencanaan perkerasan jalan digunakan beban standar sehingga semua beban kendaraan dapat diekivalensikan terhadap beban standar dengan menggunakan angka ekivalen beban sumbu (E). Beban standar merupakan beban sumbu tunggal beroda ganda seberat 8,16 ton. Bina Marga (2002) dalam penentuan angka ekivalen, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Sedangkan untuk lintas ekivalen permulaan (LEP), lintas ekivalen akhir (LEA), lintas ekivalen tengah (LET), dan lintas ekivalen rencana (LER) adalah mengikuti persamaan:

$$LEP = \sum_{j=1}^{n} LHR_{j} \times C_{j} \times E_{j}$$

$$LET = \frac{1}{2} (LEP + LEA)$$

$$LER = LEP \times FP$$

$$3.5$$

Semua beban kendaraan dengan gandar yang berbeda diekivalenkan ke dalam beban standar gandar dengan menggunakan angka ekivalen beban sumbu tersebut, sehingga diperoleh beban kendaraan yang ada dalam sumbu standar (ESAL) 18 kip Esal. Penambahan beban melebihi beban sumbu standar pada sumbu kendaraan dapat mengakibatkan penambahan daya rusak yang cukup signifikan. Kerusakan terjadi lebih cepat karena konsentrasi beban pada setiap roda kendaraan sangat tinggi akibat jumlah axle yang terbatas apalagi dengan adanya beban berlebih, karena pada perencanaan perkerasan jalan masih mengacu kepada desain kendaraan untuk muatan normal. Mekanisme beban kendaraan dalam mempengaruhi perkerasan jalannya tergantung dari bentuk konfigurasi sumbu kendaraan dan luas bidang kontak ban dengan perkerasan jalan. Jumlah sumbu kendaraan dapat memberikan distribusi beban beragam, pendekatan distribusi dapat dilihat pada diagram berikut ini. Distibusi beban dapat berlaku dengan persyaratan dimensi kendaraan standar. Apabila dimensi kendaraan sudah dilakukan modifikasi tertentu seperti diuraikan di atas, apalagi modifikasi tanpa mempertimbangkan pembagian beban yang seimbang maka distribusi beban tiap gandar pun akan berbeda. Pembagian beban ini yang seringkali diabaikan, padahal kemampuan struktur jalan dalam meneruskan beban kedaraan hanya melalui jumlah roda dan jumlah gandar.

Tabel 3.4 Distribusi *Axle Load*

Konfigurasi	Berat (Ton)	Muatan (Ton)	Beban total (Ton)	18 KSAL (kosong)	18 KSAL (maks)	Sketsa
1.1 MP	1,5	0,5	2	0,0001	0,0004	50% 50%
1.2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	34% 64%
1.2L TRUCK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	34% 66%
1.2H TRUCK	4,2	14	18,2	0,0143	2,0264	34% 66%
1.22 TRUCK	5	20	25	0,0044	2,7416	34% 75%
1.22+2.2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	4,9283	16% 36% 24% 24%
1.2+2.2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	1355 4155 4155
1.2-2.2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,183	18% 28% 54%

Sumber: DGH, 2006

BABIV

LANGKAH MENYUSUN MODEL PREDIKSI KINERJA JALAN

4.1 Definisi Data Mining

Salah satu langkah dalam menyusun model prediksi kinerja jalan dalam sistem manajemen perkerasan adalah mengolah data kondisi jalan dalam sebuah proses KDD untuk membentuk data mining kemiskinan. DM adalah kombinasi secara logis antara pengetahuan data, dan analisa statistik yang dikembangkan dalam pengetahuan bisnis atau suatu proses yang menggunakan teknik statistik, matematika, kecerdasan buatan, tiruan dan machine-learning untuk mengekstraksi dan mengidentifikasi informasi yang bermanfaat bagi pengetahuan yang terkait dari berbagai database besar. Dalam tahapan KDD, algortima DM dilengkapi dengan dataset yang digunakan selama learning-phase, untuk dikembangkan menjadi model datadriven. Model tersebut dapat digambarkan sebagai hubungan antara input dan output, yang dapat memberikan informasi yang bermanfaat.

Pemahaman dan pendalaman bidang keilmuan memberikan pengaruh penting dalam keberhasilan merancang algoritma DM. Pangkalan data hanya merupakan sekumpulan data tanpa arti apabila tidak dilakukan pendekatan dengan algoritma

yang tepat (Fu, 2011). Selanjutnya Fu juga menyampaikan bahwa hasil *review* yang dilakukan dalam beberapa tahun terakhir, kemampuan DM semakin berkembang dalam domain tertentu dan sangat tergantung dengan jumlah para peneliti yang secara berkesinambungan mengembangkan algoritma tertentu. Dalam kasus sederhana, keilmuan dapat membantu mengidentifikasi fitur yang tepat untuk memodelkan data yang mendasari penyusunan pangkalan data Keilmuan dan pengetahuan juga dapat membantu merancang tujuan bisnis yang dapat dicapai dengan menggunakan analisis pangkalan data secara mendalam.

Sebagai contoh, data pasar saham adalah domain khas yang terus-menerus menghasilkan sejumlah besar informasi, seperti tawaran, membeli, dan menempatkan, di setiap detik. Pasar terus berkembang dan dipengaruhi oleh faktor-faktor yang berbeda, seperti berita domestik dan internasional, laporan pemerintah, bencana alam dan lain lain (Wu, et al., 2014). Dalam penelitian ini pangkalan data dengan ukuran besar yang mengumpulan sejumlah data mengenai kondisi lapis perkerasan jalan, jenis dan tingkat kerusakan, jenis dan jadwal pemeliharaan yang dirangkum dalam sistem manajemen perkerasan jalan, dapat didefinisikan dan dapat disusun algoritmanya agar menjadi sebuah dukungan informasi nyata dalam meningkatkan kinerja jalan. Pengembangan sistem seperti ini memiliki dampak yang besar dalam perkembangan keilmuan, bahkan jika akurasi prediksi hanya sedikit, tetap lebih baik daripada menebak acak.

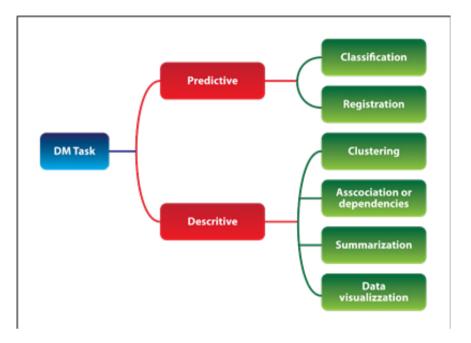
4.1.1 Data Mining Task

DM *task* disusun berdasarkan kemampuan DM dalam menyelesaikan berbagai permasalahan dengan interpretasi dan operasi statistik lainnya terhadap data (Freitas, 2013). Tergantung pada jenis pola yang ditemukan, DM *task* biasanya diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yaitu prediktif dan

deskriptif. Pendekatan prediktif melakukan inferensi pada data untuk memprediksi nilai-nilai yang tidak diketahui dari variabel *output*, dengan mempertimbangkan nilai-nilai yang diketahui dari variabel *input* (Wu, et al., 2014). Sedangkan pendekatan deskriptif untuk mengkarakterisasi dan merangkum berbagai sifat umum dari data dalam rangka meningkatkan pemahaman dan pemberian informasi yang luas. Kemampuan DM task sangat tergantung dari kemampuan pengguna dalam melakukan identifikasi awal sebuah permasalahan dan tujuan penyelesaiannya.

Klasifikasi adalah salah satu DM *task* yang paling sering digunakan dan memiliki tujuan menemukan model yang dapat mengklasifikasikan data ke dalam kelas. *Trained model* harus dapat mengklasifikasikan data ke dalam kelompok data tertentu berdasarkan atributnya (Kantardzic, 2011). Model yang digunakan untuk menyusun klasifikasi biasanya dibangun menggunakan satu set *supervised learning*. Gambar 4.1 meringkas DM *task* yang digunakan saat ini. Berbagai *task* yang dikembangkan dalam DM sebagian besar berbasis pendekatan statistik yang berlaku secara umum, sehingga uraiannya mudah dipahami.

Salah satu kelebihan DM dalam metode statistik adalah kemampunya dalam belajar, yang lebih sering disebut dengan machine learning. Metode ini membuat mesin bisa belajar sendiri tanpa diajarkan secara langsung oleh manusia. Machine learning mempelajari teori agar komputer mampu "belajar" dari data. Machine learning melibatkan berbagai disiplin ilmu seperti statistika, ilmu komputer, matematika dan bahkan neurologi. Machine learning menggunakan teori-teori statistika untuk membangun model. Jadi, Inti dari machine learning adalah bagaimana membuat komputer dapat menyelesaikan berbagai persoalan dan dapat belajar sendiri seperti manusia belajar sesuatu.



Gambar 4.1 DM Task

Beberapa algoritma DM sebagian besar digunakan dalam tugas klasifikasi pada *decision tree, neural networks* dan *support vector machines*. Kemampuan model dalam menjalankan fungsinya mengklasifikasikan dengan *classification metric* (Mukhopadhyay, et al., 2014).

Regression adalah DM task yang sangat mirip dengan klasifikasi, seringkali juga disebut prediksi, digunakan untuk memperkirakan nilai-nilai yang tidak diketahui dari variabel dependent didasarkan pada variabel independent. Perbedaan utama antara klasifikasi dan regresi berkaitan dengan variabel output. Dalam klasifikasi, sifat output diskrit sementara, sedangkan dalam regresi, sifat output berupa target menerus. Untuk akurasi model, metric yang digunakan berbeda (bila dibandingkan dengan klasifikasi). Contoh metrik seperti:

- mean absolute deviation (MAD) dan root mean squared error (RMSE).
- 2. <u>Clustering</u> terdiri dari pengelompokan objek serupa ke dalam kelas (*cluster*). Berbeda dengan klasifikasi, tidak ada label kelas dan kelompok, namun ditentukan oleh sifat *learning* dari data yang dikumpulkan. Idealnya, semua obyek data dari masing-masing kelompok harus dekat satu sama lain. Biasanya, *clustering* adalah fungsi DM yang digunakan dalam analisis awal dengan tujuan menemukan *cluster* dalam data dan kemudian menerapkan algoritma DM yang sama untuk jenis *cluster* yang sama.
- 3. <u>Association rules</u>, usaha untuk menemukan model yang menggambarkan hubungan signifikan antar variabel melalui identifikasi kelompok data yang memiliki nilai keterikatan tinggi.
- 4. <u>Summarization</u>, adalah metode DM menemukan penjelasan ringkas dari *dataset*. Metode *summarization* menggunakan pendekatan dengan *visualization techniques* dan hubungan fungsi antar variabel. Fungsi *summarization* menggunakan keberagaman data dan menjalankannya serta menyusun laporan secara otomatis. Bentuk laporan disajikan dalam bentuk yang sederhana dan mudah dipahami, seperti histogram dan penyajian statistik lainnya.
- 5. <u>Data visualization</u>, berhubungan dengan jenis tampilan saat operasi DM atau tampilan hasil akhir. Fungsi ini bertujuan agar hubungan antar variabel, gambaran data dan model yang dibangun dapat mudah dipahami. Tampilan dengan hasil yang berbeda dengan berbagai jenis ukuran dan skala akan memberikan bantuan yang cukup baik dalam pengambilan keputusan yang komprehensif.

4.1.2 Algoritma Data Mining

Untuk setiap DM task yang dijalankan (regression, classification. association rules. summarization. data visualization) masing-masing memiliki algoritma yang digunakan. Setiap algoritma tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan. Selanjutnya pemilihan algoritma yang tepat merupakan langkah awal yang mempengaruhi keberhasilan proses DM dan analisis yang dilakukan (Fayyad, et al., 1996). Algoritma DM berkembang cukup pesat, berbagai algoritma dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan. Dalam disertasi ini, dilakukan pendalaman tiga algoritma DM yang akan diuraikan dalam bagian berikut.

1. Multiple Regression

Multiple Regression (MR) adalah teknik statistik yang banyak digunakan dalam berbagai bidang ilmu, dari ilmu teknik sampai dengan ilmu sosial. Berikut adalah persamaan linear yang digunakan.

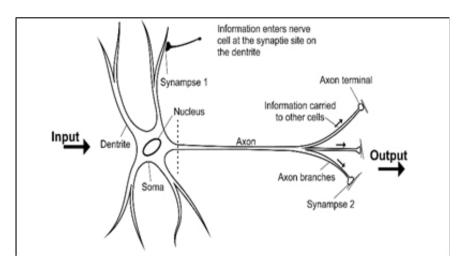
$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{I} \beta_i \times x_i$$
.....4.1

Dimana y adalah variabel yang diprediksi, $x_1, ..., x_i$ adalah variabel *input* dan $\beta_0, \beta_1 ..., \beta_i$ adalah variabel penyesuai, sebagaian besar persamaan ini menggunakan pendekatan *least squares technique*. Secara umum persamaan ini mudah dipahami dan sangat sederhana untuk di interpretasi. Dalam buku ini, MR digunakan sebagai pembanding dari algoritma-algoritma lainnya.

2. Artificial Neural Network

ANN adalah teknik komputasi yang diinspirasi dari sistem saraf kecerdasan manusia (Tinoco, et al., 2014). Teknik ini telah menunjukkan kinerja yang baik dalam model pemetaan nonlinear dan cukup kuat ketika berhadapan

dengan data yang sangat besar dan tidak teratur. Hal ini sangat berguna untuk menyelesaikan masalah-masalah yang tidak memiliki formulasi analitis atau pengetahuan tentang hal tersebut tidak ada. ANN melakukan fungsinya dengan cara memindai dan mendefinisikan permasalahan sebagai jaringan *neuron* yang terhubung dalam struktur yang dapat disederhanakan, hal ini sangat mirip dengan *neuron* dalam makhluk hidup. Struktur ini mampu belajar dengan pengalaman sendiri, menyimpan pengetahuan tersebut dan menerapkannya pada kasus baru yang belum digunakan selama proses pembelajaran. Kapasitas yang dimiliki oleh struktur ANN, memungkinkan dapat memecahkan masalah yang kompleks, mengenali pola dan memprediksi model masa depan.



Gambar 4.2 Skema neuron mahluk hidup

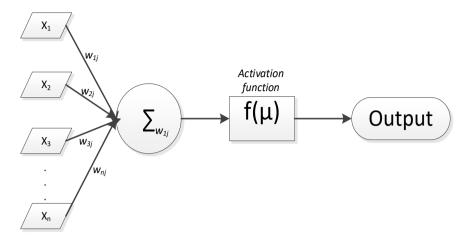
Sumber: (Tinoco, et al., 2014)

Secara biologis, *neuron* yang disusun oleh inti dan terhubung dengan jutaan *neuron* lain, pada gambar 4.2 dapat

dilihat skematis *neuron* tersebut. Sistem menerima masukan elektrokimia dari subsistem disebelahnya melalui koneksi yang disebut *synapses*. *Synapses* dibentuk oleh *axons* dan *dendrites*. Struktur sederhana ini memungkinkan melakukan tiga fungsi dasar: *input*, proses dan *output* dari sinyal yang diterima. Sepanjang *dendrites* itu, sinyal *input* mencapai *neuron*, yang memproses informasi tersebut. Sinyal *output* mengalir sepanjang *axons*, yang terhubung ke *neuron* lain di seluruh *synapses*. *Neuron* membentuk struktur yang sangat kompleks, *nonlinear* dan paralel.

Model matematika dengan pendekatan *neural networks* pertama kali disusun oleh McCulloch, Pitts and Hebb pada tahun 1940, berbasis ilmu syaraf. Meniru struktur otak manusia dan *neuron*, ANN adalah struktur komputasi paralel yang kompleks dengan berbagai konfigurasi pada setiap tahapan. Gambar 4.3 menunjukkan konfigurasi dari *neuron* buatan, yang terdiri oleh tiga unsur kunci:

- 1) <u>Connexion</u> (w_{i,j}) setiap *input* tertimbang oleh *real* atau angka *biner*. Memungkinkan ada hubungan tambahan, yang disebut bias dengan nilai +1 dan menunjukan kecenderungan untuk proses komputasi;
- 2) <u>Integrator</u> ^(Σ): semua *input* dikonversi ke nilai tunggal dengan pembobotan masing-masing melalui kombinasi linear;
- 3) <u>Activation function</u>: fungsi ini mengkonversi *input* ke *output* sebagai respon, yang diteruskan ke *neuron* terdekat sebagai *output* atas *synaptic weights*. Dalam hal ini ditunjukan efek nonlinier dengan menambahkan komponen nonlinier untuk proses komputasi.

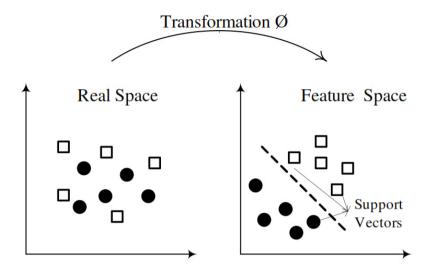


Gambar 4.3 Skema konfigurasi artificial neuron

3. Support Vector Machines

SVM adalah kelas algoritma yang sangat spesifik, ditandai dengan penggunaan kernel, tidak adanya pembatasan selama learning phase. Bila dibandingkan dengan jenis lain dalam pendekatan yang sama, seperti multilayer perception atau terkenal dengan backpropagation neural network, SVM memiliki fungsi yang lebih lengkap. Kelebihan SVM terletak pada penggunaan fungsi kernel nonlinier yang secara implisit memetakan input ke dalam ruang fitur dengan dimensi tinggi, seperti dapat dilihat pada gambar 4.4.

SVM sebagai bentuk model Artificial Intelligence sangat erat kaitannya dengan Machine Learning. Semua hal yang berkaitan dengan machine learning praktis akan terkait juga dengan AI. Sedangkan symbolic logic, rules engines, expert systems, knowledge graphs, semuanya adalah bagian dari AI dan tidak ada sangkut pautnya sama sekali dengan machine learning. Pendekatan non-linier ini lah sebagai salah satu kelebihan dalam SVM yang akan memanfaatkan DM.



Gambr 4.4 Contoh transformasi SVM

Sumber: (Cortez, 2010)

Dalam feature space tersebut, operasi linier dapat dilakukan untuk mencoba menemukan linear separating hyperplane terbaik $(y_i = w_0 + \sum_{i=1}^m w_i \emptyset(x))$, terkait dengan satu set support vector point. Sangat menarik bahwa separating hyperplane optimal ditentukan pada beberapa parameter, yaitu dengan support vector. Separating hyperplane yang optimal dari support vector setara dengan pemisahan seluruh data.

Sebagai hasil dari transformasi *real space* ke dalam *feature space*, jumlah dimensi ruang vektor baru tumbuh secara eksponensial dengan jumlah dimensi *real space*. Namun, apabila menggunakan *support vector* sejumlah besar dimensi baru tidak begitu bermasalah, karena seperti disebutkan di atas bahwa hasil transformasi tidak ditentukan oleh hanya beberapa parameter saja. Metode baru yang mewakili *decision functions* ini sangat berguna untuk *input*

dalam ruang dimensi tinggi: jumlah parameter independen dalam representasi adalah sama dengan jumlah support vector tetapi tidak tergantung pada dimensi ruang (Vapnik, et al., 1997). Meskipun SVM adalah linear learning machine sehubungan dengan feature space, namun menggunakan pendekatan nonlinear dalam real space. Hal ini berarti SVM dapat belajar perilaku nonlinier tanpa khawatir dengan kelemahan pendekatan nonlinier. SVM memang saat ini sangat populer, hal ini terutama karena kemampuannya untuk menggabungkan kelebihan dari model linear dan nonlinear, serta hasil prediksi yang dicapai dalam beberapa bidang keilmuan.

4.2 Faktor Mempengaruhi Keberhasilan *Data Mining* Menurut Para Ahli

4.2.1 Feature Selection dalam Data Mining

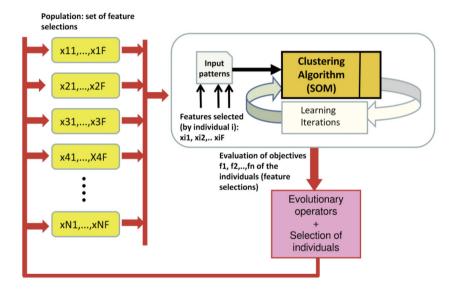
Banyak faktor yang mempengaruhi keberhasilan DM dengan fungsi yang diberikan. Representasi dan kualitas data awal adalah hal terpenting. Secara teoritis, dengan memiliki lebih banyak fitur, tentunya harus menghasilkan lebih banyak kekuatan yang beragam. Namun, pengalaman praktis dengan algoritma DM telah menunjukkan bahwa hal tersebut tidak selalu terjadi. Banyak *learning algorithms* yang diimplementasikan untuk melakukan estimasi probabilitas dengan distribusi dimensi tingkat tinggi. Sayangnya, induksi sering terjadi pada data yang terbatas. Hal ini membuat estimasi probabilistik dengan banyak parameter menjadi lebih sulit (Beniwal & & Arora, 2012). Untuk menghindari overfitting pada learning data, dapat memanfaatkan sejumlah bias algorithms guna membangun model sederhana yang dapat diterima dalam kinerja learning data. Jika ada terlalu banyak data yang tidak relevan dan informasi yang berlebihan serta tidak bisa diandalkan, maka waktu yang diperlukan learning phase menjadi lebih lama (Guyon & Elisseeff, 2003).

Feature selection (FS) adalah proses mengidentifikasi dan menghapus sejumlah informasi yang tidak relevan dan berlebih. Hal ini dilakukan dengan mengurangi sejumlah dimensi data dan memungkinkan learning algorithms untuk beroperasi lebih cepat dan lebih efektif. Dalam beberapa kasus, akurasi pada tahapan klasifikasi dapat ditingkatkan, yang hasilnya adalah lebih akurat, representasi lebih mudah ditafsirkan. Penelitian terbaru menunjukkan learning algorithms machine sangat terpengaruh oleh informasi learning yang tidak relevan dan berlebihan.

Beniwal (2012) menyebutkan bahwa metode seleksi atribut dapat dibagi menjadi pendekatan *filter* dan *wrapper*. Dalam pendekatan *filter*, metode seleksi atribut independen dari algoritma DM digunakan untuk menilai relevansi fitur dengan melihat hanya pada sifat intrinsik dari data. Dalam kebanyakan kasus, nilai relevansi dihitung, kemudian fitur dengan skor terendah dihapus. Fitur tersisa setelah penghapusan disajikan sebagai masukan untuk *classification algorithms*. Keuntungan dari *filter approach* adalah menyederhanakan langkah DM, sehingga FS hanya perlu dilakukan hanya sekali. Kekurangan *filter approach* adalah mengabaikan interaksi dengan *classifier* dan setiap fitur dibaca secara terpisah, sehingga mengabaikan dependensi fitur. Untuk mengatasi masalah pengabaian fitur dependensi, sejumlah *filter technique* multivariat dimanfaatkan dengan tujuan menggabungan fitur dependensi.

Kimovski et al. (2015) menuliskan skema pendekatan wrapper dengan mempertimbangkan seleksi fitur tanpa pengawasan. Hal ini didasarkan pada multiobjective evolutionary algorithm (MOEA) yang memperhitungkan kinerja trained classifier, untuk menetapkan nilai fit setiap individu dalam populasi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar. 4.5. Model self-organizing map (SOM) yang dikembangkan Kohonen (2001) dapat digunakan sebagai pendekatan untuk menerapkan clustering algorithms dalam DM. Setiap individu dari populasi

fitur *codifies* terus dikembangkan selama proses SOM. SOM merupakan model jaringan saraf yang sering digunakan untuk analisis pola dimensi tinggi tanpa melalui pengawasan *clustering*. Melalui pendekatan ini proses klasifikasi *learning pattern*, SOM merupakan pendekatan yang memadai. Dibandingkan dengan *clustering algorithms* lain seperti k-means, pendekatan ini tidak memerlukan informasi tentang jumlah *cluster*.



Gambar 4.5 Prosedur pendekatan wrapper

Sumber: (Kimovski, et al., 2015)

Kunci keberhasilan dalam proses FS adalah mengidentifikasi variabel yang dianggap berlebih. Namun variabel tersebut bukan dihapus, namun dipisahkan ke dalam *algorithm* lain. Apabila diperlukan pada waktu mendatang, variabel tersebut bisa digunakan kembali. Guyon (2003) menggarisbawahi beberapa hal sehubungan dengan variabel berlebih dalam pendekatan FS, yaitu:

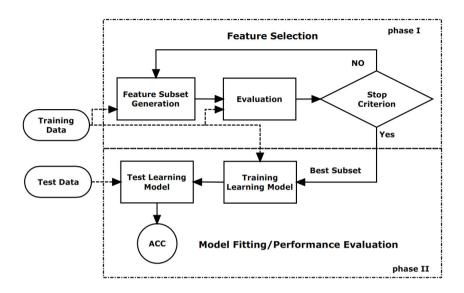
- 1) *Noise reduction* dilakukan dengan mengurangi variabel yang berlebih. Sedangkan variabel yang independen dan identik didistribusikan agar tidak berlebih;
- 2) Variabel yang benar-benar berkorelasi, dianggap bukan variabel berlebih;
- 3) Korelasi variabel sangat tinggi (atau anti-korelasi) bukan berarti tidak adanya pendekatan untuk melihat hubungan antar variabel:
- 4) Sebuah variabel yang tidak terpakai dengan sendirinya dapat memberikan peningkatan kinerja yang signifikan ketika digunakan untuk algoritma lain;
- 5) Dua variabel yang tidak terpakai, dengan sendirinya dapat berguna bersama-sama.

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, telah ditunjukkan bahwa beberapa fitur dapat dihapus tanpa penurunan kinerja (Liu, et al., 2010). Di sisi lain, diketahui bahwa terlalu banyak variabel *input* yang digunakan untuk menyusun model sering menyebabkan *overfitting*, terutama untuk pangkalan data dengan ukuran kecil. Subset terbaik sedikitnya mengandung variabel dengan jumlah dimensi yang sebagian besar berkontribusi terhadap akurasi, dan dimensi yang tidak penting dihapus. Pada gambar 4.6 terlihat skema dengan sistem terpadu pada proses FS. Proses ini terdiri dari dua tahap:

1. Feature selection

2. Model fitting dan performance evaluation

Skema yang tergambar pada gambar tersebut terdiri dari 2 phase dengan input 2 jenis data. Phase 1 menggunakan data training untuk melakukan proses feature selection. Sedangkan data test digunakan pada phase 2 untuk memastikan performance evaluation. Pada tahap kedua inilah validasi model akan dilakukan dengan cara fitting.



Gambar 4.6 Skema proses feature selection

4.3 Feature Selection dalam Statistik

FS telah lama menjadi bahan penelitian dalam statistik dan *pattern recognition* (Tinoco, et al., 2014). Hal ini tidak mengherankan karena FS mampu menyusun pengenalan pola dan pembagian klasifikasi umum. Dalam pengenalan pola, FS dapat berdampak pada akuisisi data dan pada keakuratan serta kompleksitas data. Hal ini juga berlaku pada DM yang memiliki kemampuan interpretasi dan pemahaman pengetahuan yang bermanfaat dari data. Kemampuan FS telah terbukti dapat meningkatkan fungsi DM dalam menggali pengetahuan dari data yang tersimpan (Kohavi & John, 1996).

DM telah mengambil inspirasi kedua dari *pattern* recognition dan statistik. Sebagai contoh, ANN melakukan pendekatan backward elimination (Cortez, 2010). Penggunaan cross validation untuk memperkirakan subset fitur dengan akurat yang telah menjadi fungsi utama dalam metode wrapper di DM

dan diterapkan untuk melakukan prediksi dengan regresi linear. Banyak metode statistik untuk mengevaluasi nilai subset fitur berdasarkan karakteristik dari *learning data* dan hanya berlaku pada fitur numerik. Selanjutnya, langkah-langkah ini sering monoton dan tidak berlaku untuk algoritma DM praktis.

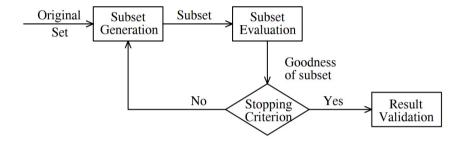
4.3.1 Karakteristik Feature Selection

FS dengan beberapa pengecualian, melakukan pencarian melalui ruang fitur *subset*, dengan sifat dasar pencarian:

- a) Starting point. Fitur pencarian dapat memilih titik dalam feature subset space untuk memulai pencarian. Penentuan titik ini dapat mempengaruhi arah pencarian. Salah satu pilihan adalah dapat dimulai tanpa fitur sama sekali dan kemudian berturut-turut menambahkan atribut. Dalam hal ini, pencarian dilakukan dengan bergerak ke depan dengan mencari feature space secara bertahap atau lebih dikenal dengan istilah proceed forward. Sebaliknya, pencarian bisa dimulai dengan melibatkan seluruh atribut kemudian secara berturut-turut menghapusnya lebih dikenal dengan istilah proceeds backward. Alternatif lain adalah dengan memulai pencarian dari titik tengah dan bergerak ke arah luar.
- b) <u>Search organisation</u>. Fitur pencarian yang lengkap yang dibatasi dengan fungsi fitur *subset*.
- c) <u>Evaluation strategy</u>. Fitur pencarian harus memiliki kemampuan dalam membedakan subset dengan parameter tunggal dan proses *feature selected* dalam *machine learning*.
- d) <u>Stopping criterion</u>. Fitur pencarian harus memutuskan batas waktu berhenti mencari *space of feature subsets*. Fungsi evaluasi strategy mempengaruhi proses dalam tahapan ini. Fitur pencarian akan berhenti setelah menambahkan atau menghapus fitur ketika tidak ada lagi alternatif untuk

peningkatan fitur *subset*. Algoritma yang sudah terbangun akan terus dikembangkan untuk menghasilkan fitur *subset* baru untuk mencapai ujung *space feature* dan kemudian dipilih yang terbaik.

Apabila proses dasar FS dilengkapi dengan pendekatan *feature searh algortihms*, maka dapat disederhanakan dalam *four key step* FS seperti terlihat dalam gambar 4.7.



Gambar 4.7 Empat langkah kunci FS

Sumber: (Liu & Yu, 2005)

BAB V

SISTEM MANAJEMEN PERKERASAN JALAN

5.1 Sistem Manajemen Perkerasan Jalan

Sistem manajemen perkerasan jalan adalah sebuah sistem yang melibatkan identifikasi strategi optimal pada berbagai tingkatan manajemen dan pemeliharaan perkerasan dengan kinerja yang memadai. Hal ini termasuk, tetapi tidak terbatas pada sistem prosedur pemeliharaan dan penjadwalan kegiatan rehabilitasi berdasarkan kinerja. Sistem ini terdiri dari berbagai hal yang saling melengkapi dan terus berkembang dalam menyusun pola pengelolaan perkerasan jalan mulai dari perencanaan, pembangunan, operasional, sampai dengan pemeliharaan yang berkesinambungan.

Lapis perkerasan merupakan lapisan yang berada diantara beban lalu lintas kendaraan dan tanah dasar, yang bersifat lebih konstruktif sehingga beban tersebut mampu didukung tanah dasar. Oleh karenanya perkerasan perlu dikelola dengan baik dan tepat dalam hal pendekatan konsep, penerapan teknologi (alat, material, metode kerja), pendanaan yang efisien, serta penelitian untuk mendapatkan pemodelan pemeliharaan yang lebih baik. Saat ini pendanaan untuk pemeliharaan semakin ketat, pembatasan anggaran terjadi di berbagai negara sedangkan

pertumbuhan lalu lintas semakin meningkat, diperlukan tindakan luar biasa dalam melakukan manajemen perkerasan yang lebih baik agar kinerja jalan tetap terjaga dengan menggunakan anggaran tersedia (Fallah-Fini, et al., 2012).

Perencanaan jangka panjang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan kinerja jalan yang berkelanjutan seperti jalan nasional. Pengumpulan data lalu lintas, penyebab kerusakan, serta sejarah perbaikan sangat membantu proses optimasi pemeliharaan dalam jangka panjang (Zhang & Gao, 2012). Hal tersebut terjadi juga di Indonesia, sebelum tahun anggaran tahun 2004, Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum (DJBM) telah menetapkan tiga model pengelolaan perkerasan jalan nasional, berupa pembangunan jalan baru, peningkatan jalan, dan pemeliharaan jalan. Pembagian kewenangan pengelolaan jalan dengan membagi tanggung jawab, namun tetap memberikan kebijakan pemeliharaan yang optimal dapat meminimalkan life cycle cost keseluruhan jaringan jalan (Moazami, et al., 2011). Hal senada disampaikan oleh Garaza et al. (2011) bahwa pemeliharaan perkerasan dapat dioptimasi dengan melakukan penjenjangan dalam jaringan jalan yang tersedia.

Pembangunan jalan baru merupakan kegiatan konstruksi jalan yang dimulai dari konstruksi tanah dasar, dilanjutkan konstruksi lapis pondasi di atasnya dan diakhiri konstruksi lapis permukaan di atas lapis pondasi. Jalan baru adalah suatu ruas jalan yang belum memiliki perkerasan (masih berupa jalan tanah) selebar minimal satu jalur lalu lintas dan secara teknis memang layak dibangun (Paterson, 2007). Sedangkan pemeliharaan jalan adalah tindakan yang dilakukan terhadap jalan operasional untuk menjaga kinerja jalan tersebut. Pemeliharaan jalan operasional dapat dilakukan secara rutin (*routine maintenance*) sepanjang tahun dan atau berkala yang dilakukan secara periodik atau tergantung penurunan kinerja jalan yang disyaratkan (Ditjen Bina Marga, 2006). Pemeliharaan rutin dilakukan hanya untuk

peningkatkan kualitas berkendaraan (riding quality) tanpa meningkatkan kekuatan struktural dan dilakukan sepanjang tahun, misalnya menambal retak-retak permukaan dengan slurry seal atau cold mix, melancarkan aliran air permukaan dan mencegah terjadinya genangan. Pemeliharaan berkala dapat dilakukan pada waktu-waktu tertentu (tidak menerus sepanjang tahun) dan sifatnya meningkatkan kemampuan struktural, misalnya pelapisan tambahan permukaan dengan bahan lataston, burtu atau lapis kedap lainnya yang berfungsi melindungi perkerasan eksisting dari infiltrasi air hujan serta memberikan kerataan dan kekesatan permukaan. Tingkat kemampuan struktural harus dipantau secara berkala, perubahan sifat permukaan terutama aspal mudah sekali terjadi (Beskou & Theodorakopoulos, 2011). Pemeliharaan berkala dapat juga diartikan sebagai langkah perbaikan struktur secara parsial terhadap kerusakan tertentu yang indeks performansinya sudah melebihi ambang batasnya (TNZ, 2004) dan (Gedafa, 2006).

Penentuan tingkat kebutuhan dan pola pelaksanaan pemeliharaan jalan merupakan salah satu cara menjaga kinerja jalan. Penentuan jenis pemeliharaan jalan merupakan salah satu hal terpenting dalam memutuskan program yang dilaksanakan (Moazami, et al., 2011). Peningkatan jalan lama dapat dilakukan dengan program kegiatan memperbaiki kinerja jalan, antara lain meningkatkan kekuatan struktural perkerasan dengan menambah ketebalan lapisan permukaan dengan bahan konstruksi yang bernilai minimal sama dengan lapis permukaan eksisting atau memperbaiki geometrik dalam bentuk memperlebar jalur lalu lintas untuk menambah kapasitas sekaligus daya dukung perkerasannya. Dalam penelitiannya, Gedafa (2006) telah mendefinisikan peningkatan jalan sebagai kegiatan perbaikan konstruksi yang dilakukan jika indeks performansi permukaan perkerasannya sudah mendekati ambang batas terbawah. Dalam arti lain kondisi kinerja jalan paling tidak berada pada batas ambang minimum tingkat kinerja yang sudah ditetapkan (Di Mino, et al., 2013).

5.2 Highway Development and Management

5.2.1 Sejarah Perkembangan *Highway Development and Management*

Perkembangan model HDM mulai dikembangkan sejak tahun 1968 (Kerali, 2000). Model pertama disusun sebagai implementasi atas studi perencanaan perkerasan jalan yang diprakarsai oleh *World Bank* bekerja sama dengan Transport and Road Research Laboratory (TRLL) United Kingdom dan Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, Prancis. Selanjutnya, Bank Dunia mendanai Massachusett Institute of Technology (MIT) untuk melanjutkan penelitian dan pengembangan penelitian *highway cost model* (HCM) (Kerali, 2000). Model ini digunakan untuk mempelajari hubungan antara biaya perbaikan jalan dan biaya operasional kendaraan.

Pada tahun 1976, TRRL bekerja sama dengan World Bank melakukan penelitian di Kenya untuk menyelidiki kerusakan jalan dengan lapis perkerasan lentur dan tanpa perkerasan serta faktor yang mempengaruhi biaya operasi kendaraan. Hasil penelitian itu melahirkan sebuah model awal yang lebih dikenal dengan *road transport investment model* (RTIM) (Cundill & Withnall, 1995). Sedangkan HCM yang dikembangkan di MIT atas pembiayaan World Bank, telah menghasilkan sebuah model awal dengan nama HDM. Penelitian di berbagai tempat tersebut terus berlangsung hingga kini dengan melakukan kalibrasi kondisi lokal di berbagai negara. Dari penelitian dan implementasi yang berkesinambungan tersebut, telah melahirkan model lanjutan dengan nama model RTIM2 pada tahun 1982 dan HDM-III tahun 1987 (Kerali & Mannisto, 1999) dan (Kannemeyer & Kerali, 2001). Selanjutnya RTIM3 dirilis pada tahun 1993

(Cundill & Withnall, 1995). Sedangkan pengembangan HDM-III dimulai 1993 dengan target menghasilkan HDM-IV versi perbaikan. Akhirnya pada tahun 2000, HDM-IV versi pertama berhasil dirilis dan sampai saat ini terus dilakukan perbaikan dan pengembangan.

HDM-IV ini dikembangkan di University of Birmingham bekerjasama dengan World Bank, Asian Development Bank, dan United Kingdom Departement for International Development, Swedish National Road Administration, Finnish National Road Administration, Inter-American Federation of Cement Producers dan organisasi lain. World Road Association (PIARC) telah mempromosikan pengembangan HDM-IV dengan organisasi lain dan mendukung penyebaran serta penggunaannya di seluruh dunia. Adapun fitur-fitur yang terdapat dalam versi pertama dari HDM-IV dijelaskan selanjutnya.

5.2.2 Model Pendekatan HDM-IV

Model HDM-IV menggunakan pendekatan prioritas berdasarkan konsep benefit cost analysis (BCA) selama masa layan perkerasan jalan. Indikator ekonomi yang digunakan antara lain net present value (NPV), external rate of return (ERR), cost return per unit investment dari first year rate of return. Sebagian besar lembaga penyelenggara jalan nasional di Amerika Serikat menggunakan pendekatan life cycle cost analysis (LCCA) sebagai pendekatan analisis keuangan (FHWA, 2002). Perbedaan utama terletak pada implementasinya, LCCA tidak memasukkan analisis manfaat dan menggunakan asumsi bahwa berbagai pilihan memiliki nilai manfaat yang sama. BCA adalah pedekatan yang dianggap cukup tepat dalam HDM-IV dan dapat digunakan ketika alternatif model tidak menghasilkan manfaat yang sejenis. Sementara pertimbangan lain yang digunakan oleh penyelenggara jalan di Amerika Serikat perihal penggunaan

LCCA adalah manfaat dari pemeliharaan dan rehabilitasi selama masa layan infrastruktur memiliki kecenderungan yang tetap. LCCA biasanya menggunakan periode satuan waktu yang berlaku umum untuk dapat menilai perbedaan biaya diantara berbagai pilihan dengan nilai manfaat seimbang.

Dalam HDM-IV kinerja jalan diperkirakan sebagai fungsi dari beban roda, kekuatan struktural perkerasan, standar pemeliharaan, dan lingkungan sekitar. Manfaat yang diukur adalah vehicle operation cost (VOC), waktu tempuh, angka kecelakaan, dan efek lingkungan. Optimasi dilakukan dengan menggunakan expenditure budgeting model (EBM-32). Model tersebut dirancang untuk menghitung NPV dari semua pilihan yang dianggap layak dan mampu menghasilkan solusi optimal tanpa syarat (Archondo-Callao, 2008). Metode ini dapat diterapkan untuk jaringan yang sangat kecil, yaitu kurang dari 400 segmen jalan pada satu waktu bersamaan dalam menyusun model optimasi. Jika lebih dari 400 segmen jalan, model optimasi dengan pendekatan HDM-IV masih dapat digunakan namun dengan algoritma yang kurang tepat. EBM-32 cukup potensial digunakan secara bersama-sama dengan model HDM-IV, karena kemampuannya dalam membaca data jaringan yang dihasilkan oleh program ini, walaupun dalam kapasitas yang tidak terlalu besar. Kekurangan dari pendekatan model ini adalah serangkaian pilihan manajemen perkerasan yang dioptimasi tidak menghimpun semua potensi dalam jaringan tertentu. Sehingga tidak semua data yang ada dapat dievaluasi untuk optimasi fungsi dan tujuan.

5.2.3 Tiga Tingkat Analisa HDM-IV

Menggunakan konsep di atas, HDM-IV dapat melakukan tiga tingkat analisa: analisa strategi, analisa program kerja, dan analisis pelaksanaan, dapat diuraikan sebagai berikut:

- a) Analisa strategi digunakan untuk menentukan kebutuhan anggaran dan prediksi kinerja jalan, dengan berbagai skenario anggaran yang disediakan pada setiap jaringan jalan. Langkah awal, jaringan jalan dibedakan ke dalam kategori yang berbeda, seperti perkerasan lentur, perkerasan kaku, atau kombinasi. Untuk setiap kategori jenis perkerasan didefinisikan jumlah kendaraan, jumlah muatan, tingkat kerusakan, dan jenis penangangan. Selanjutnya diperkirakan dapat dihasilkan untuk setiap manfaat yang pemeliharaan dan perbaikan. Akhirnya, kebutuhan anggaran jangka panjang dapat ditentukan berdasarkan prioritas dan target kinerja jalan yang telah ditetapkan.
- b) Tujuan dari analisa program kerja adalah untuk memprioritaskan rencana kerja pelaksanaan pemeliharaan dan rehabilitasi pada tahun tersebut untuk jangka waktu tunggal atau tahun jamak (*multiyears*). Hampir sama dengan analisa strategi, pendekatan analisa biaya digunakan untuk dapat menentukan kelayakan jenis pekerjaan yang akan dilaksanakan. Sebuah daftar pekerjaan yang dianggap layak untuk dilaksanakan dalam periode anggaran disediakan sebagai hasil dari analisis program kerja ini.
- c) Analisa pelaksanaan dalam model HDM-IV berkaitan dengan evaluasi dari satu atau lebih pekerjaan pemeliharaan dan rehabilitasi jalan. Perbedaan pelaksanaan pemeliharaan dan rehabilitasi dievaluasi berdasarkan *road-user cost*, prediksi kinerja jalan, efek lingkungan, dan lain sebagainya. Sampai saat ini implementasi HDM-IV untuk melakukan analisa dalam tiga tahapan tersebut telah dilaksanakan oleh penyelenggara jalan di beberapa negara termasuk Armenia, Australia, Bangladesh, Brazil, Republik Ceko, Estonia, Fiji, Finlandia, Ghana, India, Lebanon, Malaysia, Namibia, Selandia Baru, Papua Nugini, Rusia, Skotlandia, Slovenia, Afrika Selatan, Swedia (*benchmark*), Tanzania, Thailand,

Zimbabwe dan Ukraina, serta tentunya Indonesia. Bahkan versi terkini dari HDM-IV telah mulai diimplementasikan dengan berbagai perbaikan. Beberapa perbaikan terakhir yang berhasil dirangkum dari versi terakhir adalah:

- 1) Perbaikan model analisa.
- 2) Analisis sensitivitas.
- 3) Analisa skenario anggaran.
- 4) Multi-criteria analysis (MCA).
- 5) Estimasi manfaat sosial.
- 6) Penilaian asset.

5.2.4 Alat Analisa Pekerjaan HDM-IV

MCA dalam HDM-IV adalah alat analisa pekerjaan yang menyediakan fasilitas analisa untuk membandingkan setiap pekerjaan yang tidak dapat dianalisa hanya dengan pendekatan *cost-ratio*. MCA didukung untuk melakukan pendekatan evaluasi pekerjaan dengan beberapa kriteria jenis model, yaitu:

- a) ekonomi (road agency cost, road user cost and net present value analysis).
- b) keselamatan (accident analysis).
- c) fungsi (comfort and delay model).
- d) lingkungan (air pollution, energy, and energy efficiency model), dan
- e) sosial (sosial benefits analysis) dan pendekatan politik.

5.2.5 Hambatan Dalam Pelaksanaan HDM-IV

Beberapa hal yang menjadi hambatan dalam pelaksanaan HDM-IV adalah antara lain:

Pertama, karena kebanyakan penyelenggara jalan adalah organisasi pemerintah dan tidak mendapatkan pembayaran langsung dari penggunaan jaringan jalan, keterbatasan data untuk melakukan optimasi pembiayaan, serta keterbatasan pemanfaatan data yang cukup besar (FHWA, 2002). Meskipun banyak kajian pustaka yang lebih menekankan pada nilai waktu tempuh (*traveler time*), sebagian besar waktu ini (selain perjalaan bisnis dan perjalanan profesional) tidak memiliki nilai pasar yang baku. Fakta ini, dikombinasikan dengan ketidakpastian mengenai nilai-nilai yang sebenarnya.

Kedua, penggunaan analisa biaya manfaat (benefit cost ratio), tidak begitu sesuai dalam sistem manajemen perkerasan jalan. Hal tersebut karena tidak semua manfaat dapat dengan mudah dikonversi menjadi nilai uang. Melihat kondisi tersebut para pengembang model HDM tertarik untuk menggabungkan analytic hierarchy process (AHP) dalam HDM-IV. Namun, penggabungan AHP ini tetap memiliki kekurangan dan belum dapat mengakomodasi seluruh data, terlebih untuk data dengan kapasitas besar.

Ketiga, perbedaan utama antara analisa strategi, analisa program kerja dan analisa pelaksanaan adalah definisi rincian data tiap tahapan. Analisa strategi menggunakan pendekatan makroskopik, sementara analisa program kerja dengan pendekatan mikroskopis. Sebagai contoh, pada analisa pelaksanaan data *roughness* yang ditentukan menggunakan nilai IRI detail, sedangkan dalam spesifikasi untuk analisa strategi dan analisa program kerja didefiniskan lebih generik, dengan definisi baik, biasa atau jelek. Sehingga perhitungan anggaran dalam

rangka strategi dan program kerja seringkali sulit diaplikasikan saat analisa pada tingkat pelaksanaan di lapangan.

Keempat, meskipun HDM-IV memang memiliki beberapa tingkatan analisis seperti telah disebutkan di atas yang menyediakan alat analisa utuk setiap tingkatan manajemen yang berbeda, namun belum mampu menggambarkan hubungan yang dinamis. Misalnya, anggaran yang ditentukan berdasarkan analisis strategis dapat digunakan dalam analisa program kerja untuk memilih jenis pelaksanaan pekerjaan; namun, efek dari proses pelaksanaan pekerjaan dalam analisa program kinerja jaringan tidak dapat dievaluasi. Beberapa penelitian telah menekankan bahwa diperlukan sebuah model dan pendekatan yang bisa menjembatani setiap tingkatan analisa pada jenjang jaringan jalan (Zimmerman & Peshkin, 2004).

Terakhir, HDM-IV dalam pendekatan model ekonomi, hanya mempertimbangkan satu tujuan, yaitu optimasi NPV, dan tujuan lain seperti keselamatan, fungsional, lingkungan, energi, sosial, dan pendekatan politik tidak dapat dimasukkan secara bersamaan. Bahkan kecenderungannya beberapa pendekatan tersebut tidak dapat diukur oleh *tools* yang disediakan oleh HDM-IV itu sendiri. Harapannya, MCA mampu mendukung HDM-IV untuk memenuhi kebutuhan analisa elemen-elemen yang non-kuantitatif, sehingga bisa dikuantifikasi (Cafiso, et al., 2002). Namun, nilai yang dihasilkan sangat tergantung pada penilaian subjektif, dan tidak optimal. MCA digunakan untuk memilih prioritas alternatif skenario penanganan jalan, namun tetap melihat konsekuensi dari setiap alternatif.

Perlu diperhatikan bahwa HDM-IV hanyalah alat untuk melakukan penilaian ekonomi dari sebagian sistem manajemen perkerasan jalan yang didefinisikan oleh pengguna, dan tidak boleh dianggap sebagai sistem manajemen perkerasan jalan. Dengan melakukan modifikasi kriteria dan penggunaan data dalam sistem manajemen perkerasan jalan, HDM-IV dapat

memanfaatkan data anggaran yang ada untuk melakukan analisis dan data kerusakan jalan sebagai kalibrasi. Pelaksanaan kalibrasi model kerusakan perkerasan jalan sangat penting agar sesuai dengan kondisi lokal seperti karakteristik lalu lintas, jenis tanah, kondisi iklim, tipe daerah, dan komposisi jenis perkerasan. Beberapa parameter yang disediakan oleh model HDM-IV kadang tidak sesuai dengan beberapa penyelenggara jalan di tiap negara.

5.3 Paver Pavement Management System

PAVER pavement management system (PAVER-PMS) dikembangkan untuk optimasi penggunaan anggaran yang dialokasikan dalam pemeliharaan dan rehabilitasi perkerasan jalan. Sistem ini dikembangkan United State Army Construction Research Laboratory (USACERL) Engineering memprediksi kondisi perkerasan pada masa yang akan datang sehubungan dengan sistem manajemen perkerasan jalan. Prediksi kinerja perkerasan tersebut meliputi pavement condition index (PCI). Nilai PCI menggunakan rating dari nol (terendah) hingga 100 (tertinggi). Pendekatan PCI ini telah diimplementasikan di bandara dan menjadi standar ASTM pada tahun 1993 (D5340-98). Selanjutnya PCI untuk jalan dan area parkir ditetapkan dalam standar ASTM pada tahun 1999 (D6433-99). Prosedur PAVER-PMS memerlukan identifikasi jenis kerusakan pada perkerasan jalan, meliputi tingkat dan sebarannya. Nilai-nilai tersebut kemudian digunakan untuk menghitung PCI keseluruhan pada jaringan jalan.

Model PAVER-PMS telah dilaksanakan oleh beberapa lembaga sebagai sistem manajemen perkerasan di bandara di seluruh dunia, diantaranya Bandara Internasional O'Hare di Chicago dan Bandara Internasional Incheon di Korea Selatan. Pendekatan PAVER-PMS juga telah digunakan untuk mengelola

bandara penerbangan umum di beberapa negara bagian Amerika Serikat seperti Arizona, California, Colorado, Georgia, Illinois, Maryland, Ohio, Pennsylvania dan Carolina Selatan. Selanjutnya, United Stade Air Force, United State Army dan United State Navy turut pula menggunakan model PAVER-PMS ini untuk mengelola perkerasan lapangan terbang mereka.

Pada tahap survei kondisi, kondisi perkerasan jalan dapat dicatat dan direkam dengan menggunakan komputer tablet atau sekedar kertas formulir. Pemeriksaan juga dapat dilakukan dengan menggunakan pencitraan digital, kemudian data dapat diimpor ke pangkalan data PAVER-PMS menggunakan aplikasi tambahan sebagai *brigde* antar muka aplikasi. Pemeriksaan dilakukan dimulai dari area yang cukup terbatas disebut unit (misalnya untuk jalan dengan perkerasan lentur, unit sampel adalah sekitar 1.000 sampai dengan 1.500 m².). Model PAVER-PMS menggunakan *family method* dalam melakukan prediksi kinerja perkerasan (Shahin, 2005). Metode tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

- a) Melakukan pengelompokan data berdasarkan segmen perkerasan, jenis konstruksi, karakteristik lalu lintas, cuaca, metode pemeliharaan.
- b) Melakukan pemisahan dan filter data.
- c) Memisahkan analisa data outlier.
- d) Melakukan generate data dengan family model.
- e) Menetapkan pengelompokan segmen perkerasan dengan pendekatan *family model*.

Model PAVER-PMS ini dirancang dengan menggunakan pendekatan *micro* PAVER untuk memprediksi PCI terhadap fungsi waktu, metode pemeliharaan, serta perencanaan kerja selama beberapa waktu tertentu, yang dicapai melalui pemanfaatan data dasar, biaya pemeliharaan tersedia, dan prediksi terhadap

kondisi perkerasan pada masa yang akan datang. Pekerjaan perbaikan dapat dilaksanakan berdasarkan pendekatan "worst first" (Shahin & Kohn, 1982). Model PAVER-PMS ini meskipun banyak diterapkan oleh penyelenggara jalan, namun masih memiliki masalah yang memerlukan perbaikan. Salah satu isu tersebut adalah kombinasi dari faktor yang berbeda secara empiris menjadi indeks numerik tunggal yang cenderung tidak mampu menampilkan berbagai efek kontribusi dan karakteristik sebenarnya dari kondisi perkerasan (Fwa & Sanmugam, 1998a).

5.4 Japan PMS (MLIT-PMS)

The Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Japan (MLIT) mengembangkan sistem manajemen perkerasan jalan dengan penyebutan MLIT-PMS. Model tersebut terdiri dari pemanfaatan pangkalan data kondisi perkerasan jalan, sistem rencana perbaikan jangka pendek di tingkat segmen jalan, dan rencana perbaikan jangka panjang di tingkat jaringan jalan. Sistem rencana perbaikan jangka pendek adalah model utama dari MLIT-PMS yang mampu menyusun penilaian tentang lokasi perbaikan dan jenis pekerjaan, dengan menggunakan informasi dari pangkalan data perkerasan jalan (Taniguchi & Yoshida, 2003). Menurut Taniguchi dan Yoshida (2003), model ini juga memiliki sub-sistem untuk menetapkan prioritas perbaikan untuk setiap bagian perkerasan jalan, dan penentuan proses sistem perbaikan. Tujuan dari sistem adalah untuk menentukan prioritas perbaikan dengan mengklasifikasikan jalan dengan memberikan indeks 1 sampai dengan 3. Indeks ini ditentukan dari maintenance control index (MCI) dalam model MLIT-PMS. Indeks ini tetap dilakukan koreksi dengan kategori jalan dan kondisi perkerasan. Skor 1 menunjukkan jalan membutuhkan perbaikan mendesak, skor 2 untuk perbaikan yang moderat, dan skor 3 untuk yang tidak membutuhkan perbaikan segera.

Sistem rencana perbaikan jangka panjang disusun untuk menyiapkan optimasi rencana perbaikan melalui kombinasi sistematis tingkat manajemen perkerasan jalan melalui analisa MCI, biaya perbaikan dan manfaat untuk pengguna jalan (Taniguchi & Yoshida, 2003). Pendekatan dalam sub sistem ini mencakup tidak hanya berupa prediksi permintaan untuk perbaikan dan estimasi efek investasi (evaluasi makro) saja. namun juga pemilihan lokasi perbaikan, metode perbaikan dan waktu perbaikan (evaluasi mikro). Sub sistem ini menggunakan indeks empiris MCI untuk prediksi kinerja perkerasan, dan mengutamakan segmen perkerasan berdasarkan pendekatan worst first untuk perbaikan jangka pendek. Selajutnya, alokasi sumber daya jangka panjang disusun melalui bantuan model optimasi program linear. Kekurangan dari pendekatan worst first dan program linear konvensional adalah ketidakcukupan kapasitas analisa dalam menyelesaikan hubungan alternatif metode penyelesaian dalam kondisi perkerasan yang sama. Pengembangan MLIT-PMS ini terus berproses seiring dengan peningkatan informasi teknologi di negara maju tersebut. Baik secara langsung maupun tidak langsung pendekatan model ini mempengaruhi berbagai model di negara lain.

5.5 Indonesia Integrated Road Management System (IIRMS)

Terhitung sejak awal 1980-an, sejumlah sistem manajemen perkerasan jalan telah dikembangkan di Indonesia untuk membantu pemerintah dalam perencanaan, perancangan serta pelaksanaan pemeliharaan dan rehabilitasi jalan. Sampai saat ini banyak modul yang telah dihasilkan dan menggambarkan komponen sistem manajemen perkerasan jalan yang berbeda, salah satu modul yang cukup lengkap adalah modul *inter-urban road management system* (IRMS) yang berhasil dikembangkan pada tahun 1997 sampai dengan tahun 2001. Sampai tahapan tersebut belum ada modul yang dapat memberikan gambaran

utuh dari semua sistem, komponen, dan pembagian area dari aplikasi, *bridge*, serta aplikasi antar muka.

Sistem manajemen perkerasan jalan terdiri dari serangkaian proses yang membantu para *stake holder* dalam menjalankan tugasnya. Dalam pelaksanaan pemeliharaan dan rehabilitasi perkerasan jalan, awalnya menggunakan pendekatan manual tetapi saat ini semakin terbantu oleh perkembangan sistem komputer (Zhang & Murphy, 2013). Begitu pula IRMS yang sudah dikembangkan sebagai satu rangkaian yang terdiri dari sejumlah *building blocks*, memiliki variabel utama dan beberapa pilihan lainnya. Selanjutnya proses IRMS dapat disederhanakan dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

- a) Pengumpulan seluruh data yang termasuk dalam sistem;
- b) Penyimpanan dan pengolahan data primer;
- c) Penyusunan rencana dan program pekerjaan;
- d) Penyusunan desain dan persiapan kontrak;
- e) Pelaksanaan dan evaluasi kemajuan pekerjaan.

Perkembangan sistem manajemen perkerasan jalan di Indonesia tidak dapat dipisahkan dengan sumber pendanaan, terutama World Bank. Pendanaan dari World Bank dalam pembangunan jalan perkotaan, antar kota, dan pedesaan, secara langsung ikut mendorong pengembangan sistem manajemen perkerasan jalan. Sistem manajemen perkerasan jalan di Indonesia sejak awal telah ditargetkan pada jenis jalan tersebut dan sistem yang terpisah telah berkembang sesuai dengan karakteristiknya. Empat sistem utama telah dikembangkan tersebut adalah:

a) Inter-urban road management system (IRMS) – dalam perkembangannya ini dirubah menjadi sistem berbasis windows dan sekarang dikenal sebagai Indonesian integrated road management system (IIRMS)

- b) Inter-urban bridge management system (IBMS)
- c) Kabupaten road management sistem (KRMS)
- d) Urban road management system (URMS)

Dimulai pada tahun 1997 berbagai upaya telah dilakukan untuk melakukan integrasi antar sistem dengan melibatkan berbagai lembaga seperti Bappenas untuk penyusunan alokasi anggaran. Hal ini telah mendorong pendekatan *strategic expenditure planning module* (SEPM) yang dapat menggunakan *output* langsung dari sistem manajemen perkerasan jalan. Pendekatan tersebut bertujuan agar sistem pengukuran, sistem pencatatan, dan sistem pelaporan memiliki kemampuan yang kuat dalam validasi terhadap anggaran yang akan disusun

Jumlah jaringan jalan dan luasnya kawasan di Indonesia, menyebabkan besarnya data kondisi jalan yang terkumpul belum dapat dikelola dengan baik. Perbedaan pendekatan dan keterbatasan alat dalam pengumpulan data menyebabkan terjadinya *outlier* data yang cukup besar. Namun jumlah *data series* yang tersedia dengan berbagai karakter, memiliki potensi besar dalam penyempurnaan sistem manajemen perkerasan jalan di Indonesia. Kondisi tersebut mendorong untuk dilakukan penyempurnaan sistem melalui peningkatan kemampuan interpretasi data dan optimasi anggaran secara terintegrasi.

BAB VI

KONSEP OPTIMASI BIAYA PEMELIHARAAN

6.1 Optimasi Biaya Pmeliharaan

Optimasi biaya pemeliharaan memiliki beragam instrumen, pendekatan dan metode. Pengembangan optimasi biaya dan evaluasi oleh World Bank seperti disebutkan Bennet (2006) menyebutkan sembilan pendekatan dan metode atau instrumen untuk perencanaan dan pengawasan penggunaaan biaya sebagai langkah awal dalam proses optimasi, yaitu:

- 1. Indikator-indikator kinerja.
- 2. Pendekatan kerangka kerja.
- 3. Evaluasi berbasis teori.
- 4. Survei formal.
- 5. Metode penilaian cepat.
- 6. Metode partisipasi.
- 7. Survai alur pengeluaran belanja publik.
- 8. Evaluasi dampak.
- 9. Analisis manfaat biaya dan efektivitas biaya.

Pendekatan optimasi pemeliharaan dengan berbasis decision tree telah dibahas oleh (Zhou & Wang, 2012), pendekatan ini dapat mengarahkan pemegang kebijakan dan keputusan pemeliharaan berpikir dengan optimal dalam kerangka pikir yang logis. Pendekatan evaluasi berbasis teori memiliki kesamaan dengan pendekatan kerangka kerja logis, tetapi memberikan pemahaman mendalam tentang berjalannya suatu program atau aktivitas. Pendekatan tersebut biasanya digunakan untuk memetakan rancangan dari aktivitas yang komplek dan peningkatan perencanaan dan manajemen. Pendekatan formal survei dapat digunakan untuk mengumpulkan informasi dari suatu sampel yang telah diseleksi dengan baik. Pendekatan ini dapat memberi data sebagai referensi yang digunakan untuk membandingkan kinerja program dengan strategi.

Dinamika perkembangan pembiayaan pemeliharaan perkerasan jalan tidak dapat diabaikan, dengan kompleksitas yang cukup tinggi serta komponen pembentuk biaya yang berkembang dapat mempengaruhi optimasi pemeliharaan perkerasan secara langsung atau tidak langsung. Seperti telah digambarkan oleh (Irfan, et al., 2011) bahwa keputusan penentuan total biaya, jenis proyek serta kontrak yang dipilih dalam sistem manajemen perkerasan jalan diperlukan metode tersendiri agar dapat dilakukan optimasi pembiayaannya.

Pendekatan-pendekatan pengembangan sistem optimasi anggaran dan biaya tersebut di atas memiliki kelebihan dan kekurangan. Secara praktis, masing-masing pendekatan tersebut dapat digunakan dan saling melengkapi. Pendekatan indikator kinerja digunakan sebagai dasar pengukuran kinerja *input*, *process*, *output*, *outcome*, dan *impact* dari suatu strategi, program atau proyek pembangunan. Pendekatan kerangka kerja logis dapat membantu memperjelas tujuan dari suatu proyek, program atau kebijakan. Pendekatan ini menggunakan *program logic*

untuk menjelaskan causal link antara input, process, output, outcome dan impacts.

Infrastruktur jalan diklasifikasikan sebagai aset jangka panjang. Diperlukan langkah yang efektif dan efisiensi dalam melaksanakan pengelolaan kinerja jalan. Rencana strategi yang baik harus menetapkan kebutuhan investasi yang cukup lama, misalnya selama 20 tahun ke depan. Sehingga, diperlukan sebuah alat untuk membantu para pengambil keputusan dalam mempersiapkan keputusan keuangan untuk investasi jalan dengan jangka panjang yang lebih baik.

perhitungan Analisa ekonomi dalam kelayakan infrastruktur jalan sebagian besar menggunakan pendekatan BCA dan LCCA (Lee, 2002). LCCA biasa digunakan untuk menangani evaluasi investasi sektor publik. Pendekatan ekonomi tersebut digunakan untuk memastikan anggaran yang digunakan cukup guna pembangunan infrastruktur jalan dan pemeliharaanya. Metode ini dianggap sebagai metode yang signifikan dalam upaya untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dalam jangka panjang. Sementara itu, metode ini juga membantu para stake holder untuk mendapatkan gambaran hambatan dan manfaat dalam skala waktu jangka panjang (Gluch & Baumann, 2004). Kebutuhan pendanaan sering melampaui kapasitas anggaran yang tersedia. Oleh karena itu, penting untuk mengadopsi metode yang kuat dan transparan untuk mengevaluasi kebutuhan untuk memastikan bahwa proyek-proyek tersebut diprioritaskan secara obyektif. Dengan metode yang tepat dan dapat dipertanggungjawabkan, para pemegang kebijakan akan dengan nyaman melaksanakan dan menjalankan sistem manajemen perkerasan secara baik.

6.2. Analisa Ekonomi Perhitungan Kelayakan Infrastruktur Jalan

6.2.1 Benefit Cost Analysis

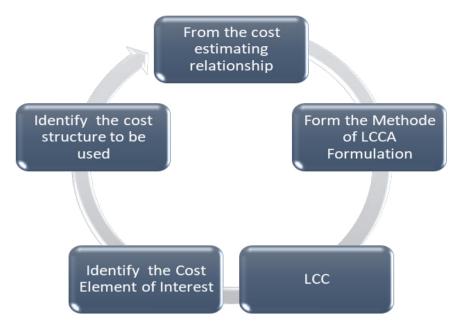
Anggaran sering diartikulasikan sebagai nilai uang, dan kemudian disesuaikan dengan nilai waktu dari uang, sehingga semua manfaat dan biaya proyek dari waktu ke waktu disajikan secara umum dalam bentuk present value (Lee, 2002). BCA telah diakui sebagai kerangka kerja yang bermanfaat untuk menilai aspek-aspek positif dan negatif dari keputusan pemegang kebijakan. Pendekatan ini pun merupakan alternatif implikasi ekonomi dari proses pengambilan keputusan (Jang & Miroslaw, 2009) dan (Carter & Keeler, 2008). Menurut Carter & Keeler (2008) BCA adalah membandingkan alternatif dalam kerangka waktu tertentu menggunakan nilai bunga dengan menyederhanakan ke dalam konsep net present value (NPV). Metode NPV adalah metode standar untuk menilai sebuah proyek dari waktu ke waktu (Rahman & Vanier, 2004). Perubahan nilai biasanya dihitung dengan melakukan pendekatan tingkat bunga yang sesuai, atau tingkat target pengembalian.

BCA ini sering digunakan oleh pemerintah untuk mengevaluasi kebijakan yang akan dan telah dilaksanakan (Lee, 2002) dengan cara menambahkan efektifitas pembiayaan dan nilai manfaat yang diterima oleh masyarakat (Li & Madanu, 2009). BCA menekankan konsekuensi dalam bentuk keuangan, sedangkan sektor investasi pemerintah dapat disebut alat sosial (Loomis, 2011) dan (Yuan, et al., 2010). Kriteria evaluasi untuk BCA adalah memaksimalkan keuntungan finansial, sedangkan kriteria untuk LCCA adalah meminimalkan biaya. Semua biaya diasumsikan dinyatakan dalam nilai satuan uang.

6.2.2 Life-Cycle Costing Analysis

Menentukan kebijakan dengan memilih biaya awal terendah tidak dapat menjamin keuntungan ekonomis atas pilihan lainnya. Biaya awal yang rendah tanpa mempertimbangkan akibat yang akan terjadi selama umur rencana jalan, biasanya menyebabkan biaya pemeliharaan rutin dan berkala yang diperlukan menjadi lebih besar dibandingkan dengan pemilihan biaya awal yang lebih tinggi. LCCA adalah metode evaluasi ekonomi yang cukup komprehensif. LCCA berusaha untuk mengoptimalkan biaya dan memaksimalkan operasional aset selama masa manfaat dengan mencoba mengidentifikasi dan menghitung semua biaya yang cukup penting, dengan menggunakan teknik NPV (Márquez, et al., 2008). Selanjutnya beberapa definisi dari life-cycle costing yang digunakan saat ini, cukup praktis dibandingkan dengan metode lain yang ada (Lee, 2002), bahwa life-cycle costing adalah konsepsi serta pengembangan melalui operasi sampai dengan akhir masa manfaatnya. Untuk menjadikan prosedur life-cycle costing menjadi lebih terstruktur dan mudah dimengerti, melalui dasar aliran yang sistematis seperti gambar 6.1. LCCA sangat sering digunakan untuk melakukan perhitungan dan keputusan investasi pemerintah (Sterner, 2002).

Metode ini telah dikenal sejak pertengahan tahun 1970 dan sekarang telah diterapkan oleh beberapa negara, oleh perusahaan-perusahaan besar dan proyek- proyek yang disponsori oleh pemerintah. Metode ini juga berguna untuk mengambil keputusan berdasarkan nilai ekonomis dengan mempertimbangkan lokasi, perenca- naan teknik, pembangunan, pengaturan, pengoperasian sampai dengan penggantian yang diikuti dengan penggantian dari komponen atau sistem selama jangka waktu umur rencana. Metode ekonomi dalam sistem manajemen perkerasan jalan harus memperhitungkan semua biaya yang timbul mulai dari tahap pengelolaan, pengoperasian, pemeliharaan, dan rehabilitasi jalan, dimana hal ini dijadikan pertimbangan yang begitu penting untuk mengambil suatu keputusan.



Gambar 6.1 Prosedur life-cycle costing

Sebelum melanjutkan pembahasan mengenai LCCA, berikut akan diuraikan definisi beberapa istilah yang biasa digunakan dalam pembahasan LCCA, yaitu sebagai berikut:

- Analysis period, adalah horizon waktu selama umur rencana yang dievaluasi dalam LCCA. Kebijakan umum bahwa analysis period harus cukup panjang untuk menyertakan setidaknya satu masa rehabilitasi besar untuk setiap alternatif desain. Jika salah satu alternatif diperlukan rekonstruksi, analysis period harus dipilih untuk memasukkan biaya pembongkaran di akhir umur rencana (Kim, et al., 2015).
- 2. <u>NPV</u> sering juga disebut *net present worth* adalah tingkat suku bunga dari semua manfaat yang diharapkan (Swei, et al., 2013).

- 3. <u>Discount Rate</u>, sering disebut tingkat suku bunga. *Discount Rate* memberikan pertumbuhan-nilai waktu dari uang. Discount rate dapat dilihat dalam bentuk nominal dengan memperhitungkan efek inflasi (Lidicker, et al., 2012)
- 4. <u>Performance Periods</u>, implementasi LCCA pada umum menggunakan dua jenis periode kinerja. Tipe pertama adalah periode kinerja awal yang merupakan rata-rata rentang waktu tahun untuk lapis perkerasan yang baru dibangun (atau direkonstruksi). Lapis perkerasan umumnya dianggap memiliki berbagai periode kinerja awal. Tipe kedua adalah periode kinerja rehabilitasi yang merupakan rentang waktu untuk perkerasan direhabilitasi agar kembali mencapai kriteria yang telah ditentukan (Batouli, et al., 2015).
- 5. Agency Costs, semua biaya yang terkait dengan alternatif manajemen perkerasan yang dikeluarkan oleh penyelenggara selama analysis period dan dapat dinyatakan dalam istilah moneter (nilai uang). Hal ini termasuk biaya awal konstruksi, dan konstruksi biaya selanjutnya, biaya rehabilitasi pemeliharaan, biaya kontrol lalu lintas selama konstruksi, pemeliharaan, dan rehabilitasi, dan pembongkaran atau penghapusan biaya atau nilai sisa dari struktur perkerasan pada akhir analysis period. Hanya biaya yang dikeluarkan oleh penyelenggara yang berbeda secara signifikan saja dalam alternatif yang perlu dimasukkan dalam LCCA. Biaya yang berhubungan dangan teknik dan manajemen konstruksi misalnya, dapat dikecualikan jika sama untuk semua alternatif. Biaya untuk rehabilitasi dan pemeliharaan yang digunakan dalam LCCA seharusnya tidak hanya mempertimbangkan jenis dan jumlah bahan dan item *project*, tetapi juga rencana pengendalian lalu lintas (u-turn, penutupan jalur, jam kerja, dan lain-lain) yang diperlukan untuk setiap alternatif (Mandapaka, et al., 2012).

6. <u>Salvage Value</u>, adalah nilai yang layak diharapkan dari pembiayaan pada akhir analysis period. Nilai ini dapat mencerminkan materi senilai literal (*nilai residual*) atau umur yang tersisa dari struktur perkerasan dan rehabilitasi (West, et al., 2013).

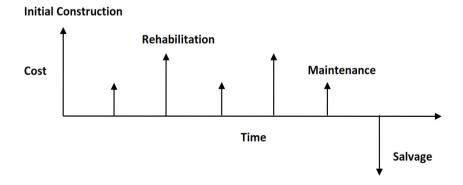
Ada beberapa literatur yang fokus pada *life-cycle costing* dalam penelitian pembiayaan infrastruktur diantaranya adalah Assaf et al. (2002) menggunakan metodologi life-cycle costing untuk mengidentifikasi biaya total dalam operasi, pemeliharaan dan rehabilitasi sebuah kostruksi atau sistem kostruksi selama periode waktu tertentu. Sampai saat ini LCCA dianggap sebagai teknik evaluasi ekonomi yang menentukan total biaya kepemilikan dan pengoperasian fasilitas dengan asumsi tertentu. Beberapa pendekatan LCCA digunakan untuk menghitung kelayakan dan model pembiayaan dalam sistem manajemen perkerasan jalan. Berbagai komponen pembiayaan dengan memasukan fungsi waktu dimasukkan ke dalam formula LCCA ini. Dalam beberapa waktu, sistem manajemen perkerasan jalan di negara-negara Eropa pun mulai menggunakan LCCA yang merupakan hasil pengembangan di Amerika Serikat. Salah satu negara di eropa yang menggunakan pedekatan LCCA ini dan telah melakukan evaluasi selama beberapa tahun adalah Portugal (Santos & Ferreira, 2013)

Menurut Pasquiire & Swffield (2002), Royal Institution Chartered Surveiors mendefinisikan life-cycle costing adalah nilai saat ini dari total biaya perolehan aset selama masa operasi (termasuk biaya modal awal, biaya project, dan biaya atau manfaat dari nilai akhir aset tersebut pada akhir umur rencananya). Selain itu, mendefinisikan LCCA sebagai seperangkat teknik untuk mengevaluasi semua biaya pengadaan yang relevan dalam pengelolaan proyek, aset atau produk dari waktu ke waktu.

Sehingga dapat dipahami bahwa, *life-cycle costing* merupakan penilaian ekonomi yang meliputi uraian detail,

area, sistem, serta fasilitas, dengan mempertimbangkan semua biaya kepemilikan dalam sistem ekonomi yang dinyatakan dalam kesetaraan nilai uang tertentu. Sejalan dengan itu, Rahman & Vanier (2004) mendefinisikan *life-cycle costing* sebagai penilaian ekonomi dari alternatif desain, konstruksi atau investasi dengan tetap mempertimbangkan besaran biaya selama umur rencana. Singkatnya, LCCA adalah pendekatan *cost-centric* yang digunakan untuk memilih alternatif biaya yang paling hemat yaitu setara dengan tingkat manfaat tertentu dalam pengembangan proyek konstruksi.

Dalam NCAT Report 13-06 (West, et al., 2013) diuraikan kembali tujuan dari LCCA adalah untuk mengevaluasi efisiensi ekonomi jangka panjang secara keseluruhan antara berbagai alternatif skenario yang dipilih. Sama seperti pendapat lainnya, bahwa konsep NPV tetap diterapkan untuk membandingkan biaya selama umur rencana. Sebuah analisis risiko dapat dilakukan untuk menilai sensitivitas, yang hasilnya dapat digunakan untuk memilih pilihan yang paling optimal. Gambar 6.2 menunjukkan pengeluaran potensial untuk setiap skenario dalam sistem manajemen perkerasan jalan yang harus dipertimbangkan dalam LCCA.



Gambar 6.2 Aliran pengeluaran biaya selama umur rencana

Operasi matematika dari gambar di atas cukup sederhana, hanya menjumlahkan seluruh pengeluaran yang ditranformasi ke nilai saat ini, kemudian dikurangi oleh sisa nilai di akhir umur rencana. Persamaan 6.1 digunakan untuk menghitung NPV dari semua pengeluaran selama umur rencana.

$$NPV = Initial \, const.cost + \sum_{k=1}^{N} Future \, Cost_k \left| \frac{1}{(1+i)^{n_k}} \right| -$$

$$salvage \, Value \left| \frac{1}{(1+i)^{n_e}} \right| -$$
6.1

dimana:

N = Jumlah biaya yang dikeluarkan selama umur rencana selama periode analisis

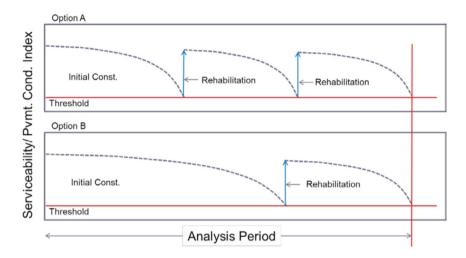
I = Tingkat suku bunga (%)

 n_k = Jumlah tahun dari awal evaluasi sampai pengeluaran ke-k

 n_{ϵ} = Periode analisis

Selama umur rencana perkerasan jalan, beberapa alternatif manajemen pemeliharaan dan rehabilitasi dapat dilakukan. Menggunakan data historis, sifat kegiatan pemeliharaan dan rehabilitasi dapat diprediksi. Sebagai bahan ilustrasi pada gambar 6.3 dapat dilihat model *life cycle* dari dua alternatif yang dapat dipilih sebagai pertimbangan dalam LCCA. Berbagai metode dan jadwal pelaksanaan pemeliharaan jalan dapat disimulasikan dan dihitung manfaatnya secara ekonomi dan secara teknis. Jumlah alternatif skenario pemeliharaan akan mempengaruhi kemudahan dalam pengambilan keputusan.

Kegunaan utama LCCA adalah pada waktu evaluasi solusi-solusi alternatif atas problema desain tertentu, sebagai contoh, suatu pilihan mungkin tersedia untuk atap suatu sistem manajemen perkerasan baru. Hal yang perlu ditinjau bukan hanya biaya awal saja, tetapi juga biaya pemeliharaan dan perbaikan, usia rencana, kinerja, dan hal-hal yang mungkin berpengaruh terhadap nilai sebagai akibat dari pilihan yang tersedia.



Gambar 6.3 Alternatif pilihan model *life cycle* manajemen perkerasan jalan

Setiap biaya rehabilitasi dapat diperkirakan dari data biaya yang ada saat ini. Pengaruh inflasi diperhitungkan dalam LCCA, selanjutnya setiap biaya dapat dihitung dengan nilai uang dan waktu. Biaya rehabilitasi di masa umur rencana didiskontokan kembali ke nilai sekarang dengan menggunakan tingkat diskonto. Jika lapis perkerasan masih memiliki nilai sisa pada akhir periode analisis, sebuah *salvage value* dapat dihitung sebagai pengembalian (Lidicker, et al., 2012).

6.2.3 Perbedaan BCA dan LCCA

Walaupun BCA dan LLCA selama ini telah dianggap dapat memberikan analisa yang baik dalam manajemen jangka panjang, beberapa studi telah menemukan masih ada perbedaan dan keterbatasan diantara keduanya. Lee (2002) menyampaikan bahwa dalam pendekatan LCCA, keputusan investasi harus didasarkan pada biaya selama masa investasi, sementara

BCA digunakan untuk mengevaluasi kebutuhan untuk modal transportasi dan investasi pemeliharaan. Kedua pendekatan digunakan secara bersamaan di beberapa negara dengan berbagai kalibrasi dan penyesuaian kondisi lokal. Disimpulkan juga LCCA biasanya meliputi pengeluaran yang terkait dalam tahaptahap keseluruhan pada rentang umur rencana infrastruktur jalan raya sementara BCA digunakan untuk penyebut dari rasio antara biaya dan manfaat. Perbedaan antara BCA dan LCCA dirangkum dalam Tabel 6.1

Tabel 6.1Perbedaan BCA dan LCCA

BCA	LCCA
Keuntungan atas pembiayaan project dengan NPV	Keputusan didasarkan pada seluruh skenario sepanjang umur rencana
Hasil akhir proyek merupakan dasar utama penentuan keputusan	Melakukan perbandingan dengan berbagai skenario
Menilai perbandingan biaya pada jeda waktu tertentu	Menilai anggaran dan biaya selama <i>analysis period</i>
Berorientasi pada nilai keuntungan	Pendekatan nilai manfaat

Kedua metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Namun, industri infrastruktur telah menyadari pentingnya keuntungan ekonomi jangka panjang dalam infrastruktur jalan raya, beberapa organisasi telah menggunakan pendekatan LCCA sebagai alat pendukung keputusan untuk evaluasi ekonomi jangka panjang. Menurut Rahman & Vanier (2004) LCCA dapat digunakan sebagai alat pendukung keputusan untuk membantu pengambil keputusan dalam mengusulkan, membandingkan, dan memilih alternatif yang paling hemat biaya, untuk

pemeliharaan, rehabilitasi, serta program investasi modal untuk investasi jalan baru. Chung et al. (2006) mengatakan bahwa LCCA menunjukkan biaya kepemilikan dan pengoperasian sistem bisa sangat signifikan. Dengan demikian, keputusan dengan melibatkan seluruh kemungkinan dan skenario yang ada sepanjang *analysis period* menjadi pilihan terbaik dalam jangka panjang, dan metode ini dapat secara efektif digunakan untuk menyadari manfaat jangka panjang yang meliputi implikasi biaya pembangunan berkelanjutan dalam proyek infrastruktur.

BAB VII

OPTIMASI PENGAMBILAN KEPUTUSAN DALAM PEMELIHARAAN PERKERASAN DAN STRATEGI REHABILITASI

7.1 Decision Support System

DSS sangat dibutuhkan untuk memberikan dukungan kepada para pengambil keputusan dalam mendapatkan keputusan yang tepat, seperti diungkapkan oleh Zhou & Wang (2012) yang melakukan pendekatan DSS melalui pengembangan decision tree induction method, yang disebut co-location decision tree, sehingga mampu meningkatkan optimasi pengambilan keputusan pemeliharaan perkerasan dan strategi rehabilitasi. Dalam setiap kegiatan atau aktivitas, termasuk kegiatan pengembangan infrastruktur dan pemeliharaan perkerasan jalan, sangat diperlukan sebuah dukungan sistem yang dapat memberikan alat bantu dalam pengambilan keputusan. Alat dukung pengambil keputusan memiliki sifat berjenjang dan terstruktur dengan rapih. Beberapa jenis keputusan dapat diuraikan sebagai berikut:

- Strategic planning decisions, pengambilan keputusan berhubungan dengan kebijakan dan tujuan yang bersifat strategi;
- 2) Management control decisions, keputusan dibuat agar dapat memanfaatkan sumber daya tersedia dengan efektif dan efisien;

- 3) Operational control decisions, keputusan dibuat agar kinerja selama pelaksanaan berjalan dengan efektif;
- 4) Operational performance decisions: keputusan yang diambil sehari-hari dalam pelaksanaan.

DSS, sering digunakan dalam konteks yang berbeda terkait dengan pengambilan keputusan. Hal ini adalah bagian dari proses pengambilan keputusan. DSS mengacu pada kemampuan pendukung kita dalam membuat keputusan. Dengan demikian, decision support berkaitan dengan human decision making. Dalam tulisannya Turskism Ambrasas & Barvidas (2007) mengusulkan proses pengambilan keputusan terdiri dari tiga tahap utama:

- 1) Intelligence, menemukan fakta, analisis masalah, dan eksplorasi;
- 2) Design, perumusan solusi, menyusun alternatif, pemodelan dan simulasi;
- 3) Choice, memaksimalkan tujuan, pemilihan alternatif, pengambilan keputusan, dan implementasi.

Model DSS telah banyak digunakan dalam berbagai disiplin ilmu termasuk industri infrastruktur (Gluch & Baumann, 2004) dan (Rahman & Vanier, 2004). Kebutuhan alat bantu pengambilan keputusan di industri infrastruktur semakin meningkat, karena tingginya tingkat ketidakpastian yang melekat. Hal ini perlu juga diterapkan pada sistem manajemen perkerasan jalan. Berbagai kondisi dalam sistem manajemen perkerasan jalan tidak mungkin diketahui secara persis, sehingga alat pendukung keputusan dapat membantu dalam meningkatkan keakuratan proses pengambilan keputusan selama proses pemeliharaan jalan (Zhang & Murphy, 2013).

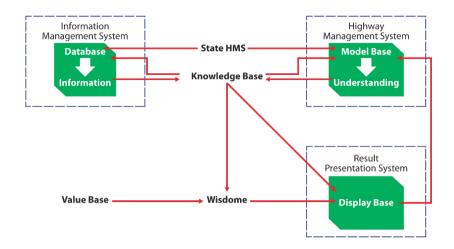
Selanjutnya proses pengambilan keputusan strategis berhubungan dengan tingkat kepentingan dalam kebijakan manajemen atau yang lebih tinggi, sedangkan keputusan kinerja operasional terkait dengan keputusan rutin yang berkaitan dengan tugas tertentu. Hal yang cukup penting dalam klasifikasi ini adalah bahwa keputusan dengan konsekuensi tinggi, dibuat lebih jarang daripada keputusan dengan konsekuensi yang lebih rendah. Rangkaian manajemen pengelolaan jalan adalah proses yang menyertai beberapa langkah kegiatan yang melibatkan perencanaan. desain, konstruksi, operasi, pemeliharaan. serta pengembangan dan penelitian. Setiap kegiatan tersebut membutuhkan keputusan yang tidak jarang mendekati ambigu serta meragukan. Selain itu, karena adanya ketidakpastian masalah serta sisi subyektif dari para pengambil keputusan, unsur sosial politik, serta tidak ada nilai obyektif yang sepenuhnya dalam menemukan solusi terbaik (Gendreau & and Duclos, 1989). Sehingga dalam melaksanakan proses manajemen secara efektif, beberapa jenis sistem pendukung keputusan penting dimiliki dan dapat diimplementasikan (Fedra & Reitsma, 1990), (Coutinho-Rodrigues, et al., 2011), (Rouhani, et al., 2012), dan (Lemis-Petropoulos, et al., 2012).

Secara umum DSS dapat didefinisikan sebagai sistem yang mendukung keputusan teknologi dan manajerial dengan membantu kebijakan organisasi yang terstruktur, semi-terstruktur bahkan yang tidak terstruktur (Sage, 1991). DSS merupakan sistem interaktif berbasis sistem komputer yang membantu pengambil keputusan dengan memanfaatkan data dan model untuk memecahkan masalah yang tidak terstruktur dan ambigu. DSS melayani kebutuhan semua tingkat keputusan manajemen, namun lebih diutamakan bagi dukungan keputusan yang bersifat strategis. Fungsi DSS seputar lingkup pengumpulan dan penyajian informasi, ekstrapolasi, inferensi, dan menguraikan pemodelan yang rumit. Sedangkan sistem informasi didasarkan pada struktur analisis dan dukungan keputusan yang dihasilkan dalam bentuk jawaban yang unik. DSS menekankan pentingnya

aktivitas interaktif dan keterlibatan langsung dari pengguna akhir. Hal ini memiliki arti umpan balik antara unsur-unsur yang berbeda dari keseluruhan sistem. Berdasarkan mekanisme umpan balik yang melekat dalam DSS, penggunaan DSS dapat meningkatkan kualitas pengambilan keputusan dan dapat mengoptimalkan keterbatasan sumber daya yang bergerak dinamis.

7.2 Decision Support System

Peran DSS adalah untuk membantu menjawab pertanyaan "what is, what would, and what if". Tanpa DSS dan tanpa ukuran kebutuhan, cukup sulit dalam mendapatkan keputusan yang tepat. Masalah presentasi subjektif cukup dipahami oleh pengambil keputusan yang dihadapkan pada kenyataan yang tidak sesuai dengan fakta. Oleh sebab itu dimensi subjektif, pengambilan keputusan merupakan proses berdasarkan dasar pengetahuan dan bukan hanya sekedar "black box". Komponen utama dari DSS terdiri dari model-base management system (MBMS), data-base management system (DBMS), dan display generation and management system (DGMS). Aspek arsitektur DSS dalam studi kasus ini ditunjukkan pada gambar 7.1. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar tersebut, DSS memerlukan kebijakan serta nilai pengetahuan yang berlandaskan teori yang sudah teruji dalam pengembangan keilmuan. Model DSS dapat memiliki nilai akurasi yang tinggi, apabila model pendekatan yang ditanamkan dalam sistem teresbut memiliki akurasi yang tinggi pula. Seluruh subsistem secara bersama-sama atau sendiri memberikan kontribusi dengan berbagai fungsi yang dimiliki oleh sub sistem tersebut. Keberhasilan sistem sangat tergantung dari kondisi sub sistem, sehingga diperlukan tindakan yang lebih berani untuk melaksanakan DSS.



Gambar 7.1 Struktur pengembangan DSS

Sumber: (Egilmez & Tatari, 2012) dan (Kyeil, 1998)

7.2.1 Model-Base Management System

Sebuah model adalah abstraksi dari realitas yang fungsional sistem utamanya masih memadai untuk digunakan sebagai pengganti sistem dalam penelitian yang lebih singkat, pembiayaan terbatas, serta resiko yang kecil. Disamping itu model juga adalah representasi yang tepat dari sistem, sehingga dapat menjadi bantuan berharga bagi para analisis kebijakan, pengambilan keputusan, dalam melakukan pemecahan masalah.

Karakteristik yang paling penting dari MBMS adalah memungkinkan pengambil keputusan dapat membuat keputusan melalui penggunaan pangkalan data dengan prosedur algoritmik berbasis model. Secara luas, tujuan dari MBMS adalah untuk menghasilkan informasi yang berguna dalam pengambilan keputusan dengan memanfaatkan data dari DBMS. Tujuan utama dari MBMS adalah untuk menyediakan model yang efisien sehingga dapat digunakan dalam aplikasi tertentu serta

untuk memusatkan model dasar DSS, dan untuk menyediakan model dengan akses vang terintegrasi (Sage, 1991).

Pemodelan merupakan faktor terpenting dalam DSS. Jika model tersebut dapat dinyatakan sebagai sebuah persamaan yang komprehensif, maka tiga manfaat didapatkan. Manfaat pertama, model dapat dipertahankan dari waktu ke waktu tanpa kehilangan presisi, sehingga kontribusi terhadap pengetahuan dapat dicatat dengan baik. Kedua, dapat dijalankan pada komputer yang variabel kebijakan dan langkah-langkah efektivitasnya tetap dapat dimunculkan dalam bentuk analisis skenario. Ketiga, model adalah dasar untuk perbaikan menggunakan data berikutnya atau informasi.

Model pengelolaan jalan raya sebagai bagian dari DSS memberikan analisis khusus dalam melaksanakan pemeliharaan kondisi jalan raya dalam bentuk simulasi dan model optimasi. DSS yang diusulkan (Osman & Hayashi, 1994) membahas model pengelolaan jalan raya sebagai bagian dari MBMS. DSS dibangun dalam penelitian mereka terkait dengan GIS sehingga memudahkan perolehan dan persiapan jalan raya yang berhubungan dengan data dan representasi grafik dari data dasar hasil analisis (Baskin, et al., 2012). Sebuah model manajemen perkerasan sebagai modul analisis dalam MBMS digunakan untuk menganalisis kondisi perkerasan, untuk memprediksi kerusakan lapisan perkerasan, dan untuk memilih alternatif perbaikan dan mensimulasikan kebutuhan anggaran. Model tersebut juga memberikan evaluasi kinerja mengenai permukaan dan kondisi pelayanan sistem jalan raya dan perubahan biaya operasi kendaraan (Pantha, et al., 2010) dan (Chou, 2009).

Ketika pekerjaan jalan telah diselesaikan dan proyek tersebut dimanfaatkan, maka penyelenggara jalan menanggung biaya penggunaan. Kondisi tersebut seharusnya membuat penyelenggara jalan lebih memahami dan turut memperhitungkan biaya untuk penggantian, perbaikan, dan pengelolaan. Faktor-faktor ini harus dipertimbangkan bersama biaya awal pekerjaan konstruksi. dan bagian dari DSS.

Implementasi Data Mining Dan Artificial Intelligence 105

7.2.2 Data-Base Management System

DBMS adalah salah satu dari tiga komponen dasar utama dalam DSS. Selama proses pengambilan keputusan, ada kebutuhan yang konsisten untuk pangkalan data personal, lokal, dan global untuk memanfaatkan serta menjalankan model kepentingan tertentu dalam pengambilan keputusan (Lamptey, et al., 2008). Pangkalan data yang dijadikan rujukan dalam DBMS ini merupakan pangkalan data yang sama. Sebuah DBMS dikembangkan untuk mengejar tiga tujuan utama: independensi data, mereduksi redundansi data, dan melakukan kontrol sumber data. Beberapa karakteristik yang diinginkan dari DBMS menurut Sprague (1980) mencakup antara lain:

- 1) Kemampuan untuk menggabungkan berbagai sumber data melalui *data capture* dan proses ekstraksi;
- 2) Kemampuan untuk menambahkan dan menghapus sumber data dengan cepat dan mudah;
- 3) Kemampuan untuk menggambarkan struktur data logis;
- 4) Kemampuan untuk menangani data pribadi dan tidak resmi atas permintaan pengguna.

Fungsi penting dari DBMS terletak pada interpretasi dari dunia nyata di luar pangkalan data. Dengan demikian, DBMS harus melakukan transformasi dari benda dan kegiatan nyata sehingga dapat direpresentasikan dan selanjutnya digunakan dalam fisik pangkalan data. Untuk memenuhi persyaratan ini dan membangun sebuah DBMS, pertama model data harus diidentifikasi. Sebuah model data memiliki koleksi struktur data dan pola operasi. Hal tersebut mendefinisikan jenis objek data yang mungkin dimanipulasi dalam DBMS dan direferensikan dari MBMS. Setidaknya ada empat model yang dapat digunakan untuk merepresentasikan data: model catatan individu, model relasional, model hierarkis, dan model jaringan (Sage, 1991).

Sebuah teknologi yang saat ini cukup banyak digunakan dalam pengembangan infrastruktur manajemen DSS adalah teknologi GIS. Luasnya jaringan serta panjangnya jalan dapat disederhanakan dengan teknologi tersebut (Pantha, et al., 2010). Dengan demikian pertimbangan spasial dalam analisis kegiatan pengelolaan jalan yang berbeda sangat penting dan dapat meningkatkan kualitas proses pengambilan keputusan (Paredes, et al., 1990). Bentuk khas dari DBMS terdiri dari pangkalan data spasial dan pangkalan data atribut. Pangkalan data spasial termasuk data yang menggambarkan distribusi spasial fitur geografis di suatu daerah. Fitur dasar, terutama jaringan jalan dan suatu batas daerah. Atribut pangkalan data meliputi informasi non-grafis yang terkait dengan setiap area dan ruas jalan. Informasi ini mencakup jenis perkerasan, volume lalu lintas, kapasitas jalan, dan variabel lainnya.

7.2.3 Display Generation and Management System

Model keputusan dengan pendekatan display base dapat dikategorikan menjadi DGMS. Model display ini dapat mempermudah para pengguna memahami proses manajemen yang sedang berlangsung. Tujuan utama dari DGMS adalah untuk meningkatkan kecenderungan dan kemampuan pengguna sistem dalam memanfaatkan dan mendapatkan keuntungan dari DSS. DGMS dirancang untuk memenuhi representasi pengetahuan melalui aplikasi antarmuka. DGMS bertanggung jawab atas penyajian output informasi dari DBMS dan MBMS kepada para pembuat keputusan dan untuk memperoleh masukan dan mengirimkan kembali ke DBMS dan MBMS. Jenis-jenis bahasa atau mode komunikasi dalam DGMS dapat dikategorikan menjadi tiga jenis, yaitu huruf, angka, dan grafis (Sage, 1991), (Vahidov & Kersten, 2004) dan (Scholz & Uzomah, 2013)

Dalam penelitiannya Arnott & Pervan (2008) melengkapi tulisan Schneiderman (1987) dan mencoba menguraikan pola utama interaksi manusia dengan sistem komputer:

- Menu selection: pengguna membaca daftar menu dan memilih satu yang paling tepat untuk keperluan tertentu. Menu ini menyediakan struktur yang sangat khusus untuk pengambilan keputusan;
- 2) Command language: pengguna menggunakan bahasa tingkat tinggi, seperti C atau R untuk melakukan interaksi yang kompleks dan rinci dengan sistem;
- 3) Forms: entri data yang diperlukan untuk mengisi kekosongan dalam format dengan jenis isian. Pengguna harus memahami struktur logis dari DBMS untuk menggunakan pendekatan ini;
- 4) Natural language: di mana pengguna dapat masukan dialog percakapan biasa dan sistem ini dapat memahami dialog tersebut.
- 5) Direct manipulation: di mana pengguna dapat menggunakan representasi grafis.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa fungsi utama dari DGMS adalah untuk menghasilkan tampilan layar data dan informasi yang dihasilkan oleh MBMS. *Output* ini bisa berada dalam peta tematik, format tabular atau file data. Representasi ini biasanya difasilitasi dengan memanfaatkan GIS dalam banyak studi (Simkowitz, 1989), (Pantha, et al., 2010), dan (Ben-Zvi, 2012).

7.3 Pendekatan Optimimasi

Optimasi merupakan pendekatan normatif dengan mengidentifikasi penyelesaian terbaik dari suatu permasalahan

yang diarahkan pada titik maksimum atau minimum suatu fungsi tujuan. Optimasi dapat ditempuh dengan dua cara yaitu maksimisasi dan minimisasi. Maksimisasi adalah optimasi output dengan menggunakan atau mengalokasian input yang sudah tertentu untuk mendapatkan hasil maksimal. Sedangkan minimisasi adalah optimasi input untuk menghasilkan tingkat output tertentu dengan menggunakan input minimal. Persoalan optimasi dibagi menjadi dua jenis yaitu tanpa kendala dan dengan kendala. Pada optimasi tanpa kendala, faktor-faktor yang menjadi kendala atau keterbatasan-keterbatasan yang ada terhadap fungsi tujuan diabaikan sehingga dalam menentukan nilai maksimum atau minimum tidak terdapat batasan-batasan terhadap berbagai pilihan alternatif yang tersedia. Sedangkan pada optimasi dengan kendala, faktor-faktor yang menjadi kendala terhadap fungsi tujuan diperhatikan dalam menentukan titik maksimum atau minimum fungsi tujuan. Optimasi memerlukan teknik tertentu yang lebih sering disebut sebagai teknik optimasi. Teknik optimasi merupakan suatu cara yang dilakukan untuk memberikan hasil terbaik yang diinginkan. Teknik optimasi ini banyak memberikan manfaat dalam mengambil keputusan dan dapat diterapkan dalam berbagai bidang ilmu.

7.3.1 Pendekatan Optimsi Dalam Sistem Manajemen

Pendekatan optimasi dalam sistem manajemen perkerasan jalan diperlukan untuk mengoptimalkan sumber daya yang terbatas untuk memenuhi kebutuhan pemeliharaan perkerasan jalan yang terus berkembang. Bakoo & Horvath (2011) melakukan penelitian dan menghasilkan keputusan untuk mengembangkan model formulasi program linier, melalui markov transition probability matrix approach, dan mereka memperkenalkan model prediksi kinerja jalan melalui bantuan program komputer mikro. Model tersebut dapat menghasilkan perhitungan kebutuhan dana dan alokasi anggaran yang optimal

untuk seluruh jaringan, tetapi penelitian ini tidak mengangkat perbedaan kelas, dan juga mengasumsikan kerusakan menjadi linear. Studi di atas kemudian diikuti oleh (Moazami, et al., 2011) yang memodelkan pendekatan sistem dengan prioritas menggunakan *fuzzy logic*. Hasil pemodelan yang dihasilkan melalui modifikasi mesin iterasi masih perlu penyempurnaan agar jumlah variabel *input* yang dibentuk oleh pendekatan *fuzzy* lebih akurat. Model optimasi tidak hanya digunakan dalam pemeliharaan perkerasan, tapi digunakan juga untuk mendapatkan hasil perencanaan yang optimal, salah satu model yang ada saat ini adalah integrasi algoritma genetika dengan sistem informasi geografis jalan untuk mendapatkan penyelarasan yang optimal (Kang, et al., 2012) dan (Beg & Banerjee, 2015).

Selanjutnya Wang, James, & Li (2011) model optimasi pemeliharaan perkerasan jalan mulai mengelompokkan segmen berdasarkan panjang jalan yang berdekatan. Setiap kelompok kemudian didefiniskan sesuai dengan hierarki dan jenis jalan dari model jaringan yang diusulkan. Pendekatan ini terus dikembangkan melalui langkah-langkah komputasi dengan pemrograman integer yang dapat memilih ruas jalan yang membutuhkan perlakuan prioritas. Hal ini sejalan dengan konsep penelitian yang dilakukan oleh Garza et al. (2011) yang memperkuat penelitian dengan memperdalam optimasi dengan rinci tentang hierarki jaringan jalan sebagai ruang lingkup manajemen pemeliharaan lapis perkerasan.

7.3.2 Penggunaan Alat Bantu Dalam Optimasi

Penggunaan alat bantu dengan pendekatan teknologi terbaru makin berkembang, terutama dalam optimasi sistem manajemen perkerasan jalan. Sebagai contoh, penggunaan teknologi melalui *case-based database reasoning* (Chou, 2008). Studi ini mengkaji potensi manfaat proses pencatatan dan data

historis pemeliharaan perkerasan jalan yang dikumpulkan dalam pangkalan data, terutama proses pengambilan keputusan yang kemudian dimodelkan ke dalam optimasi lengkap pada keputusan berikutnya. Selain itu Chou (2009) melengkapi penelitiannya dengan melakukan integrasi antara case-based reasoning, eigen vector method, dan web technologies untuk menggunakan data historis dan pendapat para ahli dalam bidang pemeliharaan jalan untuk menciptakan sistem yang cerdas dengan pendekatan matematika dan memanfaatkan kemampuan cloud sebagai pangkalan data.

Penelitian Paterson (2011) mengkonfirmasi penelitian Bennett (2006) dan telah menyusun faktor keberhasilan dalam sistem manajemen perkerasan jalan untuk menilai dan mengevaluasi lapis perkerasan dengan memanfaatkan teknologi informasi yang didukung oleh kombinasi sumber daya manusia, teknologi, dan biaya pelaksanaan. Namun model yang disusun oleh Paterson (2007) hanya mencatat data kondisi di lapangan tanpa melihat faktor-faktor prioritas atau variabel lain yang mempengaruhi kinerja social-engineering dari kondisi lapis perkerasan di lapangan. Model ini lebih tepat untuk diterapkan di negara-negara yang dengan informasi teknologi yang berkembang dengan baik dan memiliki pelaksanaan kontrak berbasis kinerja pada pengelolaan jalan, seperti Selandia Baru, Australia, Amerika dan Inggris. Hal ini menggambarkan bahwa masalah aspek social-engineering merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam sistem manajemen perkerasan jalan, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia karena kerusakan struktural perkerasan jalan tidak hanya karena pengulangan beban lalu lintas melainkan dipengaruhi juga oleh faktor lain.

Dalam pemahaman sederhana, optimasi melibatkan berbagai sumber daya untuk memaksimalkan atau meminimalkan fungsi *objective* dari beberapa *biner*, variabel keputusan *integer*

dengan mempertimbangkan ketidaksetaraan kendala. Sebuah kendala dengan fungsi single-objective disebut sebagai single objective problem, yang sebenarnya jarang terjadi dalam masalah manajemen perkerasan jalan. Dalam sistem manajemen perkerasan jalan justru berbagai objective dan kendala harus diselesaikan dalam waktu bersamaan. Objective yang diharapkan dapat dicapai lebih dari satu dan bertentangan, sehingga perlu dilakukan optimasi secara simultan atau dengan cara minimalisasi beberapa objective function.

7.3.3 Awal Penggunaan Pendekatan Optimasi

Sejak awal tahun 1980-an, telah banyak pendekatan optimasi yang digunakan dalam sistem manajemen perkerasan jalan, misalnya integer goal programming (Cook, 1984), linear goal programming (Benjamin, 1985), linear programming (Karan & Haas, 1976) dan (Lytton, 1985), linear integer programming (Mahoney, et al., 1978), (Garcia-Diaz & Liebman, 1980), (Fwa & Shinha, 1988b), (Li & Huot, 1998), (Ferreira, et al., 2002) dan (Wang, et al., 2003), dynamic programming (Feighan, et al., 1987) dan (Tack & Chou, 2002), serta GA seperti (Chan, et al., 1994), (Fwa, et al., 1994a), (Fwa, et al., 1996) (Fwa, et al., 2000), (Pilson, et al., 1999) (Chikezie, et al., 2011), (Gao, et al., 2012), (Marzouk, et al., 2012) dan (Elhadidy, et al., 2015). Cukup banyak pendekatan untuk memaksimalkan kinerja jalan melalui sistem manajemen perkerasan jalan, pemeliharaan dan rehabilitasi, serta meminimalkan biaya pemeliharaan (Haas, et al., 1994), (Shahin, 1994), (Harper & Majidzadeh, 1991), (Hill, et al., 1991), (Abaza & Ashur, 1999), (Abaza, et al., 2004), (Abaza, 2006), dan (Abaza & Murad, 2007). Salah satu permasalahan besar dalam optimasi sumber daya sistem manajemen perkerasan jalan adalah optimasi jumlah variabel keputusan yang harus ditentukan cukup banyak (Harper & Majidzadeh, 1991), (Pilson, et al., 1999), (Abaza, et al., 2001), (Ferreira, et al., 2002), dan (Elhadidy, et al., 2015).

Selanjutnya, beberapa pengembangan dalam optimasi sistem manajemen perkerasan jalan dilakukan dengan menggunakan pendekatan macroscopic untuk mengurangi variabel yang tidak terlalu signifikan dalam pengambilan keputusan (Abaza & Ashur, 1999) dan (Abaza, et al., 2004). Dalam pendekatan macroscopic, variabel keputusan untuk setiap kelas perkerasan jalan, masing-masing mewakili proporsi perkerasan yang harus ditangani dalam kegiatan pemeliharaan atau rehabilitasi (Grivas, et al., 1993). Namun, segmen dengan kegiatan pemeliharaan dan rehabilitasi yang tepat dalam jaringan jalan belum dapat diidentifikasi. Berbeda dengan pendekatan macroscopic, pendekatan microscopic dapat memetakan setiap segmen dalam kegiatan pemeliharaan jalan, sehingga dapat memunculkan variabel dengan jumlah yang jauh lebih besar sehingga membuat proses optimasi yang sangat rumit (Ferreira, et al., 2010).

Kendala utama dalam memecahkan masalah sistem manajemen perkerasan jalan adalah pertimbangan sejumlah besar pekerjaan pemeliharaan jalan yang terkait dengan periode waktu. Hal ini membuat langkah pencarian solusi optimasi menjadi sangat kompleks dan menantang (Harper & Majidzadeh, 1991), (Pilson, et al., 1999), (Abaza, et al., 2001), dan (Ferreira, et al., 2002). Oleh karena itu, beberapa sistem manajemen perkerasan jalan lebih memilih menggunakan pendekatan *macroscopic* dibanding pendekatan *microscopic*, dengan tujuan untuk mengurangi jumlah variabel pemeliharaan dan rehabilitasi keputusan.

7.3.4 Genetic Algorthims Sebagai Alat Optimasi

Pendekatan optimasi pada tingkat jaringan, hanya berupa jumlah rencana total anggaran. Tingkat kerumitan dalam menyelesaikan masalah manajemen perkerasan pada tingkat jaringan, membuat tidak semua model pendekatan dapat digunakan dalam berbagai situasi dan kondisi tertentu (Fwa, et al., 2000). Chan, et al. (2001) selanjutnya mengembangkan model PAVENET yang berkaitan dengan single objective, berupa optimasi dengan pilihan satu segmen jalan. Penelitian tersebut adalah model pertama dalam sistem manajemen perkerasan jalan dengan menggabungkan genetic algortihms (GA) sebagai alat optimasi. Selanjutnya para peneliti terus mengembangkan optimasi untuk masalah perencanaan pemeliharaan jalan dengan menggunakan prinsip-prinsip operasi GA. Salah satunya diilustrasikan dalam karakteristik khusus menggunakan model PAVENET. Penggunaan heuristik dapat digunakan untuk menganalisa seluruh jaringan jalan dan mencapai solusi yang dapat diterima dalam jangka waktu yang lebih singkat.

Seperti telah diuraikan sebelumnya bahwa masalah sistem manajemen perkerasan jalan memiliki beberapa *objective* yang saling bertentangan. Untuk menyelesaikan berbagai *objective*, optimasi dengan GA dapat memecahkan masalah tersebut (Pilson, et al., 1999) dan (Elhadidy, et al., 2015). Selanjutnya penentuan prioritas berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan, digunakan untuk mengarahkan proses optimasi pada kegiatan tertentu. Pilihan prioritas digunakan untuk memilih solusi tanpa mengabaikan kegiatan yang lain selama proses optimasi. Penentuan prioritas dalam sistem manajemen perkerasan jalan sangat dibutuhkan, sebagai upaya optimasi awal dalam memanfaatkan sumber daya tersedia. Menggabungkan penilaian subjektif dalam model optimasi dapat dilihat sebagai bentuk *learning* alokasi sumber daya. Hal ini cenderung menghasilkan strategi pemeliharaan perkerasan jalan menyimpang dari strategi

optimal. Chan et.al. (2003) telah memperkenalkan *two-step genetic algorithm process* untuk optimasi alokasi anggaran pada sistem manajemen perkerasan jalan tingkat regional yang melibatkan beberapa lokasi daerah administratif. Selanjutnya Wang et al. (2003) menggunakan *weighted sum approach* untuk menyusun skala pada pendekatan *two objectives* secara bersamaan guna mengoptimalkan semua *objective*.

Mengingat skala dan kompleksitas masalah sistem manajemen perkerasan jalan, alih-alih menggunakan algoritma optimasi konvensional, semakin banyak peneliti mengggunakan pendekatan metaheuristik untuk memecahkan masalah. Metaheuristik umumnya diterapkan bila tidak ada algoritma tertentu untuk menyelesaikan masalah yang ada. Pendekatan ini meliputi simulated annealing (SA) dan GA. SA adalah salah satu algoritma pencarian stokastik, yang dirancang menggunakan model kaca berputar (Kirkpatrick, et al., 1983). Nama dan inspirasi datang dari annealing dalam metalurgi, teknik yang melibatkan pemanasan dan pendinginan yang dikendalikan untuk meningkatkan ukuran kristal dan mengurangi cacat bahan. Namun dalam perkembangannya, GA mengungguli SA ketika masalah ukuran dan tingkat interaksi parameter menjadi besar (Nam & Park, 2000). Kekurangan SA adalah kebutuhan waktu operasi model annealing cukup lama.

GA adalah pendekatan yang cukup banyak mendapat perhatian dalam penelitian evolutionary algorithms. Pendekatan GA telah mendapatkan hasil yang memuaskan dalam manajemen sistem manajemen perkerasan jalan dan telah digunakan oleh beberapa peneliti (Ferreira, et al., 2002). Dalam penelitian tersebut, sistem manajemen perkerasan jalan menggunakan pendekatan probabilistic dengan model optimasi single-objective. Metodologi yang digunakan adalah markov decision analysis and mixed-integer optimization model. Pendekatan

GA apabila dibandingkan dengan branch-and-bound solutions mendapatkan hasil yang cukup memuaskan.

Dynamic programming (DP) dianggap paling akurat dari teknik optimasi, tetapi sulit untuk diterapkan dan memerlukan formulasi baru setiap kali penambahan satu objective (Tack & Chou, 2002). Tack dan Chou (2002) menerapkan DP dan GA untuk melakukan pendekatan sistem manajemen jalan dengan ukuran jaringan yang berbeda mendapatkan solusi yang optimal.

7.3.5 Konsep Pendekatan Multi Object Optimization

Pendekatan single objective optimization, merupakan dengan tujuan meminimalkan optimasi memaksimalkan satu nilai objective tertentu (Di Mino, et al., 2013). Sedangkan pendekatan MOO terdiri dari dua atau lebih objective yang perlu dioptimasikan. Ketika salah satu objective adalah meningkatkan dan objective lain pun memiliki hal yang sama, maka masalahnya menjadi cukup sederhana. Satu solusi hasil optimasi yang unik dapat ditemukan untuk memperbaiki kedua objective. Tapi secara umum, tidak ada solusi optimasi yang bersifat tunggal yang secara bersamaan dapat menghasilkan nilai minimum atau maksimum untuk semua objective (Saha & Ksaibati, 2015). Begitu juga dalam sistem manajemen perkerasan jalan, penyelenggara jalan perlu mempertahankan kinerja jalan dengan tingkat kekasaran jalan rendah namun tetap menjaga biaya yang digunakan serendah mungkin dalam waktu bersamaan. Kedua objective yang bertentangan satu sama lain, karena untuk menjaga tingkat kekasaran yang rendah diperlukan biaya pemeliharaan yang cukup besar.

Secara teori, idealnya optimasi solusi dalam sistem manajemen perkerasan jalan adalah memiliki kondisi lapis perkerasan yang mulus tanpa biaya pemeliharaan. Namun memuaskan dua objective yang saling bertentangan tidak mungkin. Dengan kata lain, tidak mungkin untuk menemukan solusi optimal dominan mutlak yang memenuhi kedua objective yang saling bertentangan. Dalam situasi ini, *objective* utama yang diinginkan adalah bukan salah satu solusi optimal unik dominan, tetapi serangkaian solusi dengan dua solusi, yaitu batas kekasaran lapis permukaan yang diizinkan dengan biaya yang paling rendah (Lu & Tolliver, 2013), kemudian batas kekasaran terbaik dengan biaya tinggi. Semua solusi lainnya akan berada diantara batas dua solusi dengan tidak satupun dari solusi tersebut menjadi solusi yang dapat optimasikan lagi di salah satu *objective* tanpa merubah satu *objective* lainnya.

Pendekatan optimasi yang tepat dalam mencari solusi optimal dengan beberapa objective adalah melakukan pendekatan pada kelompok solusi optimasi MOO yang terdiri dari semua unsur-unsur search space dari vektor objective. Konsep tersebut dikenal sebagai Pareto optimality atau Pareto efficiency. Pareto approach diambil dari nama Pareto Vilfredo, ekonom Italia yang pertama kali memperkenalkan konsep optimasi dalam studinya (Herabat & Tangphaisanakun, 2005) dan (Ottosson, et al., 2009). Dalam optimasi, konsep pareto front digunakan untuk menemukan serangkaian solusi optimal. Pada gambar 7.2 diilustrasikan konsep optimasi Pareto dengan mempertimbangkan dua buah objective. Feasible area adalah area yang mewakili semua solusi layak untuk semua objective. Solusi ini memenuhi kendala sistem, tetapi solusi optimal berada di area kiri bawah dari feasible area (dalam kasus minimisasi).

Dalam pendekatan lain, teori Pareto juga dikenal sebagai aturan 80-20, menyatakan bahwa untuk banyak kejadian, sekitar 80% daripada efeknya disebabkan oleh 20% dari penyebabnya. Prinsip ini diajukkan oleh pemikir manajemen bisnis Joseph M. Juran, yang menamakannya berdasarkan ekonom Italia: Vilfredo Pareto yang pada 1906 mengamati bahwa 80% dari pendapatan di Italia dimiliki oleh 20% dari jumlah populasi. Walaupun teori ini lemah. Namun pada kenyataannya, ada banyak fenomena dalam dunia bisnis yang membuat teori ini justru begitu solid, meskipun tidak serta merta kita boleh menerapkannya begitu saja pada semua aktivitas kita

- 4) Tujuan *(objective)*, penetapan tujuan, akan membantu pengambil suatu keputusan;
- 5) Kendala *(constrain)*, merupakan penentuan batasan-batasan terhadap alternatif yang tersedia.
- 6) Pemodelan matematika, memodelkan perencanaan yang dapat mengekspresikan secara kuantitatif dari tujuan serta kendala dalam variabel keputusan. Pada beberapa kasus, pemodelan matematika ini dapat dikombinasikan dengan probabilistik sesuai dengan karakteristik serta kerumitan sistem yang sedang dikembangkan;
- 7) Penyelesaian model, penyelesaian ini melalui pendekatan penyelusuran model matematika melalui berbagai jenis teknik dan metode solusi kuantitatif yang merupakan bagian utama dari riset operasi dalam keseluruhan proses;
- 8) Interpretasi model, dalam tahapan ini diperlukan perhatian pada perilaku solusi akibat perubahan parameter sistem, yang biasa disebut analisis sensitivitas. Analisa ini diperlukan apabila parameter sistem tidak dapat diduga secara tepat;
- 9) Keabsahan model, pada tahapan ini harus dipastikan modelmodel yang tersusun harus teruji keabsahannya. Model harus dapat mencerminkan berlangsungnya sistem yang diwakilinya. Keabsahan model diuji dengan membandingkan performancenya dengan data masa lalu yang tersedia;
- 10) Tahap Implementasi, merupakan tahapan akhir yang menguraikan hasil pemodelan ke dalam bentuk bahasa umum, sehingga secara mudah dan praktis dapat dipahami dan diimplementasikan dalam kondisi nyata.

BAB VIII

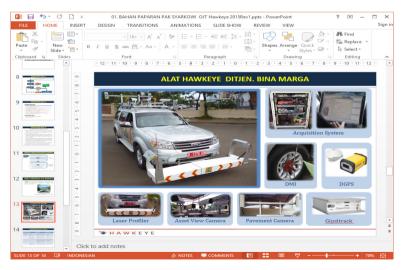
STUDI KASUS; PENGEMBANGAN MODEL DECISION SUPPORT SYSTEM BERBASIS DATA MINING

8.1 Latar Belakang Studi Kasus

Jaringan jalan direncanakan, dibangun dan dipelihara untuk memfasilitasi transportasi dengan aman, nyaman, dan efisien. Untuk mewujudkan tujuan tersebut, dalam beberapa dekade terakhir sistem manajemen perkerasan jalan terus dikembangkan. Sebagai contoh, Amerika Serikat melakukan pengembangan sistem manajemen perkerasan jalan melalui American Association of State Highway Officials (AASHO) pada akhir tahun 1950-an (Akofio-Sowah & Kennedy, 2014). Pada rentang waktu tersebut bukan hanya negara maju saja yang melakukan pengembangan sistem manajemen perkerasan jalan. Melalui bantuan World Bank, sejak tahun 1966 sistem manajemen perkerasan jalan di negara berkembang pun terus diperbaiki dengan mengembangkan Highway Development and Management (HDM). Dalam perkembangannya, HDM dikalibrasi sesuai dengan kondisi dan standar yang berlaku di masing-masing negara pengguna. Sejak tahun 1994 hingga saat ini HDM-4 dikembangkan untuk menjawab tuntutan global di sektor jalan yang semakin kompleks, mencakup keselamatan jalan, lingkungan, dan energi, selain aspek manajemen (Martinaz Diaz & Perez, 2015).

ditunjukkan perlengkapan yang dipergunakan di dalam Hawkeye. Beberapa fitur yang ada pada alat ini adalah:

- 1) Pavement camera yang berfungsi untuk mengidentifikasi crack dan potholes pada jalan.
- 2) Asset camera yang berfungsi untuk mengukur lebar jalan dan menentukan titik referensi dan geo-reference.
- 3) Laser profiler yang berfungsi untuk mengetahui kondisi jalan yaitu IRI, rutting, data geometri, dan faulting yang terkoneksi dengan data GPS.
- 4) Gipsi-track yang berfungsi untuk merekam dan menggabungkan data yang terekam oleh gyroscope, accelerometer, sensor distance dan GPS positioning.
- 5) D-GPS yang berfungsi untuk menentukan lokasi survei, titik referensi dan mengetahui rute jalan yang ditempuh.
- 6) DMI yang berfungsi sebagai pengukur jarak absolut yang telah ditempuh oleh kendaraan survei hawkeye.



Gambar 8.6 Perlengkapan Hawkeye

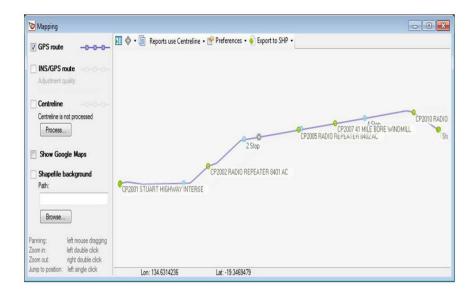
Data hasil survei Hawkeye tersimpan dalam *hardisk* di sistem komputer yang terdapat dalam Hawkeye. Data tersebut diproses untuk mendapat keluaran sesuai yang pengguna inginkan. Proses analisis data menggunakan *software hawkeye processing toolkit*, seperti dapat dilihat pada gambar 8.7.



Gambar 8.7 Aplikasi antar muka Hawkeye processing toolkit

Data-data terkait jalan dikumpulkan oleh perlengkapan dan sensor yang ada pada kendaraan tersebut. Salah satu data yang didapatkan dengan Hawkeye adalah data *roughness*. Contoh aplikasi antar muka data *roughness* dapat dilihat pada gambar 8.8.

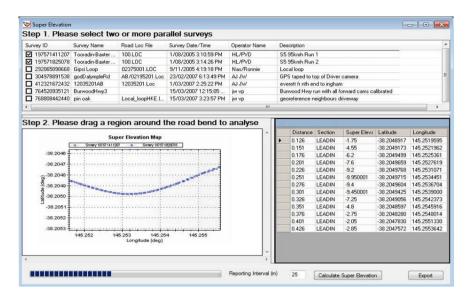
Tentu saja data yang dikumpulkan oleh hawkeye sangan banyak dan berlapis. Model yang disusun harus mampu memilih data yang memang benar-benar diperlukan dalam sistem manajemen pemeliharaan jalan ini. Sedangkan data lainnya yang tidak diperlukan saat ini, dapat dipisahkan dan disimpan dalam storage, yang dapat dipanggil kembali saat dibutuhkan.



Gambar 8.13 Tampilan Pengolahan Data GPS

4) Data hasil gypsitrac. Data hasil gypsitrac berupa kondisi geometrik jalan diantaranya kemiringan superelevasi, alinemen horizontal, alinemen vertikal dan kelengkungan suatu tikungan. Data hasil olahan dapat digunakan untuk audit keselamatan jalan dan untuk desain perbaikan geometri jalan.

Data kondisi jalan ini yang dapat dikatakan paling efektif didasarkan pada data yang sesuai dengan analitik. Selain itu, melalui visualisasi yang bagus juga akan membuat data dari pemodelan ini mudah diakses, jelas dan mudah dipahami. Maka dari itu sdata harus mudah dipahami dalam bentuk visualisasi tersebut. Namun visualisasi tidak harus selalu menjadi yang terakhir dari proses atau puncak dari pengolahan data. Ada pula situasi-situasi tertentu yang menyebabkan analisis data dan visualisasi data masuk ke dalam sebuah siklus yang berganti-ganti.



Gambar 8.14 Tampilan Pengolahan data gypsitrac

8.7 Tahapan Prediksi Kinerja Jalan

Dalam pengembangan model ini, peneliti akan menggunakan pendekatan prediksi kinerja jalan berbasis DM dengan mempergunakan data di Pulau Jawa, Indonesia. Data dibagi menurut wilayah provinsi untuk keperluan kalibrasi, *learning, test*, dan validasi. Validasi kondisi jalan dan detail koordinat dilakukan pengambilan data langsung dengan Hawkeye pada tahun 2014. Detail dari data yang dipergunakan dapat dilihat pada tabel 8.2.

Tahapan analisis data berhubungan dengan pengolahan data. Jika visualisasi menghasilkan laporan yang bagus dan mudah dipahami, tetapi dibutuhkan kemampuan backend yang kuat dalam menangani data yang berantakan. Algoritma canggih untuk memproses data dan memberikan laporan yang kuat juga perlu diterapkan dalam metode ini. Namun, untuk analisis data mampu menawarkan penyajian data dengan penggambaran yang lebih lengkap.

8.11.1 Model Iterasi Pemeliharaan Jalan

Tujuan dari model ini adalah untuk menemukan satu set program pemeliharaan jalan yang optimal yang akan mempertahankan kinerja jalan setidaknya sama atau melebihi batas ambang minimal yang tertuang di dalam spesifikasi. Untuk mencapai hal tersebut, beberapa iterasi kegiatan pemeliharaan perlu dilakukan sebelum menentukan kegiatan pemeliharaan yang tepat untuk ruas jalan pada seluruh periode analisis hingga kondisi jalan memenuhi tingkat kelayakan minimal. Proses iterasi ini dimulai dengan menemukan kondisi eksisting perkerasan jalan saat jangka waktu pemeliharaan dilaksanakan. Koefisien waktu ditingkatkan sebesar satu tahun hingga proses iterasi terselesaikan sepanjang periode analisis. Strategi pemeliharaan standar ditunjukkan pada tabel 8.3.

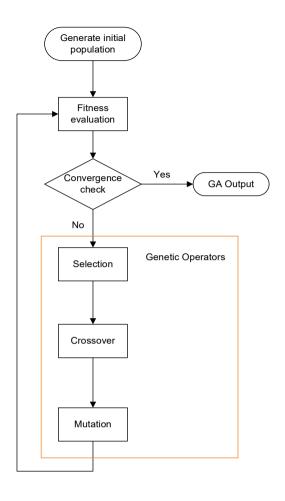
Tabel 8.3 Strategi pemeliharaan

M	Strategi pemeliharaam
1	Pemeliharaan rutin
2	Pemeliharaan minor
3	Pemeliharaan mayor
4	Rekonstruksi

Tahapan ini dilakukan melalui proses iterasi perbaikan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8.18. Bagan alir tersebut merangkum seluruh proses untuk memeriksa tingkat kesesuaian strategi perbaikan yang berbeda untuk mempertahankan kondisi perkerasan jalan sesuai dengan kinerja minimal setiap tahunnya hingga akhir periode analisis. Variabel M tabel 8.3 digunakan pada gambar 8.19, menandakan kegiatan pemeliharaan yang berbeda sebagaimana ditunjukkan dengan nomor 1 sampai 4.

Define

- · Type of variable/encoding
- Fitness function
- GA paramaters
- · Convergence criteria



Gambar 8.20 Diagram alir GA

Pengguna GA harus menentukan jenis variabel dan pengkodeannya untuk menangani permasalahan yang ada. Kemudian pengguna harus menentukan fungsi *fitness*, yang dapat mempermudah proses optimasi. Secara umum, dapat digunakan fungsi apa saja yang dapat menentukan sebuah nilai relatif terhadap sebuah individu. *Genetic operators*, seperti *crossover* dan *mutation*, diterapkan secara stokastik pada setiap

untuk memenuhi kebutuhan optimasi *real-valued* atau *permutation encoded*.

<u>max</u>

vektor dengan panjang yang sama dengan variabel keputusan yang menyediakan *search space* maksimal untuk memenuhi kebutuhan optimasi *real-valued* atau *permutation encoded*.

8.12 Geographical Information System

GIS adalah teknologi informasi yang digunakan untuk mengambil, menyimpan, menganalisa, dan menggambarkan data spatial dan non-spatial. Dalam studi kasus ini diperlukan sebuah pendekatan untuk mengintegrasikan GIS dengan sistem manajemen perkerasan jalan, sehingga GIS dapat dimanfaatkan menjadi satu bagian dalam penyusunan DSS. Modul GIS juga memberikan informasi grafis di dalam peta yang terintegrasi dengan model analisa kebutuhan (perkiraan kinerja, penentuan penanganan, dan lainnya). Harapan pengembangan ini antara lain GIS dapat membuat perubahan rencana rehabilitasi pada saat yang diinginkan, pada lokasi yang ditetapkan, dan jenis penanganaan yang ingin diterapkan pada peta secara interaktif dan dapat menunjukkan dampaknya terhadap kinerja jalan dan biaya. Hal ini memungkinkan pengguna dapat melakukan analisa secara lebih efektif agar bisa mendukung proses pengambilan keputusan dengan baik.

8.12.1 Data Entry dan Acquisition

Data merupakan salah satu komponen penting dalam GIS, metode yang tersedia untuk menambah atau memperoleh data adalah hal yang terpenting. Metode untuk mencapai ini adalah:

- 1) Import informasi digital yang tersedia dengan format yang kompatibel;
- 2) Menggunakan perangkat global positioning system (GPS);
- 3) Digitalisasi data analog.

Di satu sisi, perkembangan teknologi informasi dengan munculnya infomasi digital dan pangkalan data telah membuat akses GIS menjadi lebih mudah, khususnya yang berbasis internet. Di sisi lain, kompatibilitas antara perangkat lunak semakin umum, yang memungkinkan untuk mengkonversi data yang berasal dalam satu perangkat lunak untuk digunakan dalam format lain. Format seperti CAD (misalnya, DWG, DXF), vectorial dan raster, data yang secara luas digunakan GIS komersial (ARC/Info, ARC/View, Intergraphe MGE, dan lain lain), dan data citra umum (misalnya, tiff, bmp, dan lain lain) adalah beberapa contoh data yang dapat ditambahkan langsung ke sebagian besar perangkat lunak GIS.

Disamping itu saat ini dikenal secara luas sebuah metode untuk akuisisi data GIS adalah dengan penggunaan global positioning system (GPS). Metode tersebut dilakukan dengan memancarkan sinyal ke beberapa satelit dan menggunakan triangulasi untuk menentukan posisi dan ketinggian dengan margin error yang rendah (misalnya, di bawah satu meter), GPS dapat dihubungkan ke GIS untuk berbagai keperluan, seperti pemetaan, menentukan koordinat penanganan, menentukan panjang penanganan dan sebagainya.

8.12.2 Implementasi dan Analisa Jaringan

Di antara berbagai kemampuan GIS, analisa jaringan adalah tahapan penting dalam studi kasus ini. Analisis terbatas dilakukan pada data yang *vectorial*, karena penggunaannya dapat menggambarkan ketersediaan jaringan jalan, yang

didefinisikan sebagai serangkaian fitur yang saling berhubungan, mewakili rute potensial, karakter kendaraan, dan pelaksanaan kegiatan pemeliharaan jalan. Dalam tahapan ini, konektivitas dan karakteristik yang akurat lebih penting daripada tampilan geografis. Kemampuan QGis versi Lisboa, diharapkan mampu melakukan berbagai fungsi minimal yang diperlukan. Pendekatan spasial dalam sistem manajemen perkerasan jalan mampu menyederhanakan luasan wilayah yang harus dipantau dengan sistem. Pemetaan, penggambararan, dan presentasi cakupan wilayah dengan metoda konvesional dapat menyebabkan kurang akuratnya pengambilan keputusan. Aplikasi open source ini memiliki kemampuan dan fasilitas dalam beritegrasi dengan berbagai sistem. Hasil yang diharapkan, pengguna DSS tidak memerlukan lagi tambahan aplikasi disaat perlu melakukan perubahan fungsi.

Perangkat lunak aplikasi sistem informasi yang digunakan dalam studi kasus ini diimplementasikan pada *platform* dengan konfigurasi sebagai berikut:

- 1) Sistem operasi yang digunakan adalah Windows 8
- 2) QGIS Lisboa Version
- 3) MapServer
- 4) PostgreSQL
- 5) PostGIS

Sedangkan perangkat keras penyusunan model di implementasikan pada komputer dengan spesifikasi komputer Core i7 dengan memory SDRAM/DDR 8 GB.

BABIX

STUDI KASUS; PENGEMBANGAN MODEL DATA MINING

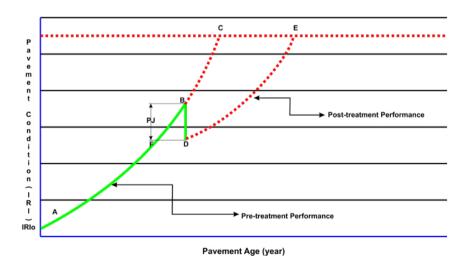
9.1 Pengantar Kondisi Perkerasan Jalan

Bab ini menjelaskan penggunaan catatan historis kondisi perkerasan jalan untuk memprediksi kondisi perkerasan jalan di masa depan, sehingga manajemen perkerasan jalan dapat direncanakan dengan baik. Seperti disebutkan sebelumnya, ada tiga metode dasar untuk memprediksi kerusakan perkerasan jalan, yaitu deterministic approach, probabilistic approach, dan artificial intellegence. Kelebihan dan kekurangan masingmasing metode sudah dibahas pada bab 2. Salah satu metode AI yang digunakan adalah teknik DM. Teknik DM digunakan untuk memprediksi kondisi perkerasan jalan di masa depan. Pengembangan DM untuk menyusun model prediksi kinerja jalan dari data historis merupakan hal yang penting. Algoritma DM yang digunakan dalam studi kasus ini adalah MR, ANN, dan SVM.

Penurunan kinerja jalan adalah istilah umum untuk menggambarkan bagaimana lapis perkerasan jalan berubah kondisi atau fungsi pelayanan. Evaluasi kinerja perkerasan melibatkan studi tentang perilaku fungsional dengan pilihan panjang perkerasan. Untuk analisis fungsional atau kinerja,

informasi yang dibutuhkan adalah informasi historis kondisi perkerasan dan lalu lintas dalam periode waktu yang dipilih. Hal ini dapat ditentukan dengan pengamatan secara periodik atau pengukuran kualitas perkerasan ditambah dengan catatan historis lalu lintas. Informasi penurunan kinerja jalan yang diberikan kepada pengguna sebagai definisi dari kinerja perkerasan ditunjukkan pada gambar 9.1.

Pola penurunan kinerja jalan melalui model prediksi kinerja jalan dirancang bersifat dinamis dengan berbagai pilihan algoritma. Pilihan algoritma MR, ANN, dan SVM, diharapkan dapat memberikan berbagai pendekatan prediksi kinerja jalan sehubungan dengan fungsi waktu dan karakter beban jalan. Hasil pengembangan model prediksi kinerja jalan, akan dievaluasi dan terus disesuaikan sepanjang umur analisis sampai mendapatkan sebuah model yang mampu menerjemaahkan dinamika data yang ada. Model prediksi kinerja jalan harus bersifat dinamis dan mampu merespon perubahan kondisi (Rifai, et al., 2015a).



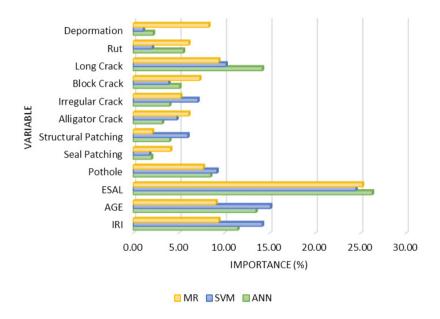
Gambar 9.1 Penurunan kinerja jalan (roughness)

9.4.6 Kontribusi Variabel

Model DM yang dikembangkan dapat menilai tingkat kontribusi setiap variabel dan atribut yang menjadi data input dalam model. Dalam studi kasus ini variabel atau atribut terdiri dari Age, ESAL, AC, LC, BC, TC, PN, RU, DS, SP, SE dan IRI_o. Seluruh atribut selanjutnya dikelompokkan menjadi tiga dimensi, yaitu initial performance, traffic, dan distress. Sebuah vektor parameter dalam model DM ini dipilih untuk menjelaskan bahwa merupakan fungsi peragam dan bukan parameter-parameter sebagaimana dalam pendekatan parametrik. Satu-satunya syarat bagi sebuah fungsi peragam adalah mampu membangkitkan sebuah matrik ragam peragam yang definit non negatif. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menduga nilainilai hyperparameter. Nilai θ dapat diduga dalam DM ini dengan menggunakan metode metode cross validation. Hyperparameter yang digunakan (H and γ) adalah H (2, 4, ..., 10) dan γ (2-15, 2-13, ..., 23). Nilai tersebut menghasilkan model paling presisi dengan waktu run yang cukup optimal. Untuk pengembangan model selanjutnya dapat digunakan pendekatan dengan mencoba nilai hyperparameter lainnya. Kontribusi setiap atribut dan dimensi merupakan *relative importance* dalam penyusun model. Script untuk mendapatkan nilai kontribusi ini disusun sebagai berikut:

```
mgraph (y=SVM, x = NULL, graph="IMP",
leg = c("initial","traffic","distress","patching"), xval = -1,
PDF = "", PTS = -1,
size = c(5, 5), sort = TRUE, ranges = NULL, data = NULL,
digits = NULL, TC = -1, intbar = TRUE, lty = 1, col = "black",
main = "", metric = "MAE", baseline = FALSE, Grid = 0,
axis = NULL)
```

Hasil pencarian nilai kontribusi dalam DM dapat disederhanakan dan ditampilkan dalam gambar 9.8 yang menampilkan *relative importance* pada sumbu-x untuk setiap atribut dan dimensi pada sumbu-y pembentuk model prediksi kinerja jalan dengan pendekatan model DM menggunakan algortima SVM, ANN, dan MR.



Gambar 9.8 Relative importace setiap atribut

Kontribusi individu setiap atribut dan dimensi pembentuk model prediksi kinerja jalan ditunjukkan pada tabel 9.3

Kontribusi di atas sangat dipengaruhi oleh hyperparameter yang ditetapkan. Jika ditentukan 3 set hyperparameter, pada akhir hyperparameter tuning model akan memiliki 3 nilai akurasi (1 untuk masing-masing set). Selanjutnya dapat diambil hyperparameter atau model dengan akurasi tertinggi dari ketiga pilihan yang ada.

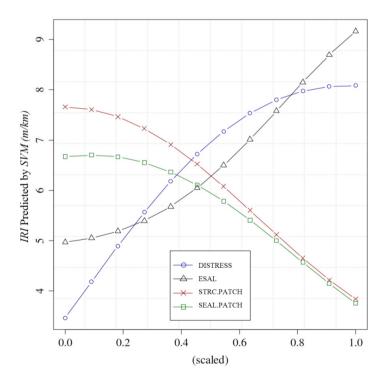
Tabel 9.3
Relative importance atribut model prediksi IRI

<i>Input</i> /Atribut	Dimensi	Relative Importance (%)		
		ANN	SVM	MR
IRI	Initial Performance	11.50	14.20	9.40
age	Traffic	13.50	15.10	9.10
ESAL		26.30	24.50	25.20
Pothole	Distress	8.50	9.20	7.70
Seal Patching		2.00	1.80	4.10
Structural Patching		4.00	6.00	2.10
Alligator Crack		3.20	4.80	6.10
Irregular Crack		4.00	7.10	5.20
Block Crack		5.10	3.90	7.30
Long Crack		14.20	10.20	9.40
Rut		5.50	2.10	6.10
Deformation		2.20	1.10	8.30

Analisa model selanjutnya adalah menyusun algoritma untuk memilih dimensi utama yang mempengaruhi model prediksi kinerja jalan sekaligus menganalisa variabel pendukung yang mempengaruhi model prediksi kinerja jalan yang tidak terakomodasi dalam model ini. Algoritma disusun dengan menggunakan script yang dimasukan kepada perintah *package rminer* berupa menu VEC, yaitu sebagai berikut:

```
mgraph(y=SVM, x = NULL, graph="VEC", leg = NULL, xval = -1, PDF = "", PTS = -1, size = c(5, 5), sort = TRUE, ranges = NULL, data = NULL, digits = NULL, TC = -1, intbar = TRUE, lty = 1, col = "black", "red", "green", "blue"
```

Hasil analisa VEC menggambarkan pengaruh atribut utama yang bergerak secara dinamis dalam model prediksi kinerja jalan dengan model SVM ini berupa ESAL yang merupakan kelompok dimensi traffic, ditress, structural patch dan seal patch. Penurunan IRI mengikuti pertambahan ESAL dan perkembangan distress, dan sebaliknya IRI membaik disaat dilakukan tindakan patching, baik itu structural patch maupun seal patch. Sebagai gambaran lengkap, perubahan nilai IRI dalam model prediksi kinerja jalan dapat dilihat pada gambar 9.9.



Gambar 9.9 Kurva VEC

Melalui kurva VEC yang dihasilkan, terlihat bahwa ESAL vang merupakan kelompok dimensi memiliki gerakan dinamis yang terbaca nyata saat IRI mencapai skala 5.0 m/ km yang selanjutnya bergerak secara cepat bahkan melampaui atribut distress. Sedangkan atribut distress mulai mempengaruhi penurunan IRI sejak awal (initial performance) kemudian menurun disaat skala atribut mencapai 0.6. Perubahan ini didukung oleh tindakan pemeliharaan jalan berupa patching, yang tergambar memiliki hubungan dinamis cukup baik dan mampu memperbaiki nilai IRI. Model DM dengan algoritma SVM yang digunakan dalam penyusunan kurva VEC ini menunjukan pengamatan bahwa hampir seluruh atribut memiliki hubugan nonlinier dengan IRI. Sebagai data empiris dalam model ini ditunjukan bahwa patching memiliki dampak positif dalam prediksi IRI. Di sisi lain, peningkatan pothole, crack, longcrak, dan depression terlihat menurunkan nilai IRI. Ini menujukan bahwa dampak negatif dalam perilaku IRI dapat dikurangi dengan berbagai tindakan perbaikan jalan secara menerus dan konsisten.

9.4.7 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas ini merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui akibat dari perubahan atribut *input* terhadap perubahan nilai IRI. Dengan melakukan analisis sensitivitas maka akibat yang mungkin terjadi dari perubahan tersebut dapat diketahui dan diantisifikasi sebelumnya. Berikut adalah *script* yang digunakan untuk analisis sensitivitas yang dikembangkan.

```
#---- apply a sensitivity analysis ----

Mdls[[1]]$IMP <- Importance(Mdls[[1]]$FM,

data = Mdls[[1]]$bd, # your data just with the input
```

variables

```
RealL = 12,

method = "sensg",

measure = "gradient",

sampling = "regular",

baseline = "mean",

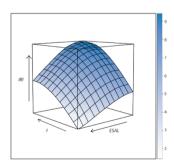
responses = TRUE,

outindex = NULL,

task = "default",

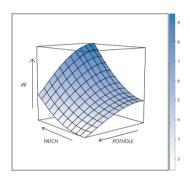
PRED = NULL,
```

Pada gambar 9.10 terlihat hubungan ESAL, waktu (t) dan IRI. Jumlah ESAL yang tinggi menyebabkan penurunan IRI hanya dalam waktu singkat. Hal tersebut memberikan beragam kesimpulan. Salah satunya adalah jalan dengan ESAL yang besar, memerlukan manajemen pemeliharaan khusus, tidak bisa ditangani dengan pendekatan standar. *Package* yang digunakan *global sensitive analysis* (GSA).



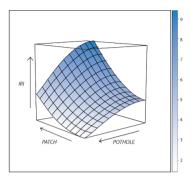
Gambar 9.10 VEC interaksi t dan ESAL

Selanjutnya pada Gambar 9.11, terlihat interaksi antara *crack* dan t sehubungan dengan prediksi nilai IRI. *Crack* dan t secara bersamaan memberikan pengaruh yang besar terhadap perubahan nilai IRI. *Crack* secara individu pertumbuhannya pun berkembang mengikuti fungsi t. Secara utuh analisis sensitivitas dalam hubungan ini adalah t tidak langsung mempengaruhi IRI namun secara langsung mempengaruhi *crack*.



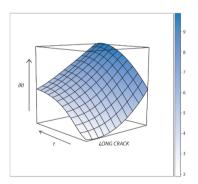
Gambar 9.11 VEC interaksi t dan crack

Pertumbuhan *crack* seiring waktu perlu diperhatikan dan ditangani dengan baik. *Crack* memiliki proses *distress* lanjutan apabila tidak ditangani segera. Kondisi *crack* yang dibiarkan dapat menimbulkan retakan lebih besar, infiltrasi air permukaan dan mendorong terjadinya *pothole* pada permukaan jalan. Gambar 9.12 menunjukkan *patch* dan *pothole* dan gambar 9.13 interaksi *crack* dan *t*. Dalam dua grafik ini, bisa dilihat sekali lagi interaksi dampak tinggi dari lubang dan panjang retak dengan *patch*. Diagram VEC menunjukan hubugan *pothole* dan *patch* terhadap kondisi IRI, apabila *pothole* segera dilakukan *patch* maka tingkat penurunan IRI dapat diperlambat.



Gambar 9.12 VEC interaksi pothole dan patch

Sedangkan perilaku kondisi *longcrack* yang berinteraksi dengan t memiliki karakteristik tersendiri dan dapat dilakukan penanganan menggunakan karakter pertumbuhan *longcrack* dengan kecenderungan berbentuk mendekati linier.



Gambar 9.13 VEC interaksi longcrack dan t

Melalui pendekatan analisa senstivitas dengan menggunakan algoritma SA dan GSA, didapatkan perubahan pengaruh setiap atribut dalam setiap iterasi yang dilakukan. SA dan GSA dapat digunakan untuk mengetahui sifat dasar pemodelan berupa *behavior* model terhadap tingkat kinerja jalan pada kondisi sesungguhnya.

9.5 Kesimpulan

Proses pemodelan dengan pendekatan DM menggunakan algoritma SVM, ANN, dan MR menghasilkan model prediksi kinerja jalan dengan kinerja model yang cukup baik. Ketiga algoritma model tersebut dibandingkan dengan dua model eksisting yaitu model prediksi kinerja jalan IIRMS dan HDM-IV. Dengan kurva REC terlihat akurasi setiap model yang digunakan. Berdasarkan error matrix yang dihasilkan diyakini bahwa model SVM merupakan model terbaik sebagai model prediksi kinerja perkerasan jalan dengan iterasi rendah sebanyak 20 runs dan memiliki konsistensi yang baik. Setiap atribut yang mempengaruhi model prediksi kinerja jalan berhasil diuraikan dengan algoritma relative importance. Sedangkan behavior model dapat digambarkan dengan pendekatan SA dan GSA. Puditam reic tet, omnim rem voluptionse is et doloreritam alicit vel et latem aboriorio doluptam es aut ea sus ad maio blatum eum ni non cones qui dolesti orerspero expelli quatibu sandis et magnisse serro doles que sinciae. Ita aciam ut explitatur seguias mil ilibusc itiume pores illaccus es doluptatur, id quiae accum ate vollacit qui doloribus eventet dit voluptatem est qui tecerum facid maione nonsecum nostrum as reperibus, in pra denimus pratur aciendunt.

Eperumetur maiorro eum eos inctiis pra core sitati digenih ilitatur?

Imus. Porehent. Il ium evel eosto ea dolum enducidit fugiat harum rem incidenet voloreptas eum iusandamet odit et ratamus, tem quid ut iminima gnihil ius dita si consed quam nonsere nobisqui deles et et aut pos molorempore velent plabore rumquid errovit atinvel ecepres tionserio. Itaturi busapie

BAB X

STUDI KASUS; PENGEMBANGAN MODEL PEMELIHARAAN PERKERASAN JALAN

10.1 Pengantar Sistem Manajemen Perkerasan Jalan

Pada sistem manajemen perkerasan jalan dengan tipikal top down seperti IIRMS yang ditentukan pertama kali adalah keputusan pada tingkat jaringan (seperti prediksi kinerja jaringan dan program pemeliharaan), kemudian dilanjutkan dengan keputusan pada tingkat proyek (seperti life cyle cost dan desain proyek) (Ferreira, et al., 2010). Keputusan pada tingkat jaringan meliputi pemeliharaan perkerasan dan program rehabilitasi untuk menyusun anggaran dan mengalokasikan sumber daya pada seluruh jaringan, dilanjutkan dengan seleksi proyek untuk mengidentifikasi proyek yang akan dilakukan pada setiap tahun periode pemrograman. Proyek-proyek ini secara lebih mendalam berkembang pada tingkatan proyek. Lebih jelasnya, keputusan yang dibuat pada tingkat pemrograman memiliki dampak yang besar terhadap efektivitas sebuah keputusan yang diambil pada seleksi proyek dan tingkatan proyek.

Pengambilan keputusan tingkat pemrograman sering memerlukan pertimbangan *multiobjective*. Pertimbangan tersebut diperlukan untuk menyusun pendekatan terhadap beberapa jenis *objective* yang harus dipenuhi dalam waktu bersamaan

(Rifai, et al., 2015). Dalam sistem manajemen perkerasan jalan, secara sederhana memiliki dua tujuan utama yang tidak bisa diselesaikan secara terpisah, yaitu mempertahankan kinerja jalan dan menekan biaya pemeliharaan. Seperti diketahui untuk menjaga dan meningkatkan kinerja jalan, diperlukan pembiayaan yang besar. Apabila kebutuhan biaya tidak dipenuhi maka dengan sendirinya kinerja jalan menurun. Keterbatasan biaya dan keharusan menjaga kinerja jalan dapat dipenuhi dengan pendekatan MOO (Fwa, et al., 2000).

Kemampuan mengambil keputusan dalam berbagai kondisi yang kompleks dan dinamis seperti dalam sistem manajemen perkerasan jalan, sangat tergantung pada kemampuan kognitif seseorang, terutama ketika berpotensi menyebabkan dampak besar dan berkaitan dengan kualitas dari keputusan. Dengan tujuan untuk mendukung penilaian manusia dalam pengambilan keputusan, berbagai disiplin ilmu seperti statistik, ekonomi dan industri telah meneliti berbagai metodologi yang mendukung hal tersebut. Sampai saat ini teknik MOO terus berkembang pada berbagai disiplin ilmu dan bidang penelitian (Wang, et al., 2003). MOO semakin memiliki nilai yang baik saat dikombinasikan dan diintegrasikan dengan pendekatan AI. Penggunaan AI dalam keilmuan komputer lebih sering disebut sebagai DSS.

Secara konseptual, DSS disusun untuk menyusun model kecerdasan buatan dengan pendekatan pola pikir manusia. Melalui teknik AI dapat dilakukan pendekatan dengan meniru kemampuan manusia sedekat mungkin melalui berbagai tahapan. Dalam bab ini akan dibahas tahapan optimasi sebagai pendekatan kedua didalam menyusun DSS. Tujuan pendekatan ini adalah untuk membantu pengambilan keputusan dari sumber yang berbeda melalui DM untuk mendukung pilihan potensial. Dengan menghadirkan kemampuan sistem dalam pengambilan pengetahuan dari pangkalan data yang besar, secara simbolis

Terlihat dalam gambar di atas bahwa MOO memiliki nilai akurasi yang tinggi dibandingakan dengan simulasi SOP untuk setiap strategi. Sedangkan capaian dengan non optimasi memiliki nilai akurasi sangat rendah. Selanjutnya model MOO dengan pendekatan GA akan digunakan untuk tahapan optimasi

10.7 Kesimpulan

Model MOO dengan pendekatan algoritma GA merupakan pilihan yang diyakini sebagai model optimasi yang tepat untuk melakukan optimasi sistem manajemen pemeliharan jalan. Pendekatan *Pareto optimization* merupakan langkah awal untuk menentukan jumlah kromosom dan jumlah *running* yang diperlukan dalam proses optimasi ini. Untuk mencapai model optimasi yang baik, tahapan optimasi dilakukan pendekatan SOP terlebih dahulu untuk melihat setiap *objective* dan masingmasing *constraint*. Hasil uji model dengan strategi pemeliharaan standar, menunjukan bahwa pendekatan MOO mendekati akurasi terbaik.

BAB XI

STUDI KASUS; IMPLEMENTASI MODEL PREDIKSI IRI

11.1 Pendahuluan

Jaringan jalan Indonesia (sekitar 500.000 km, dengan 40.000 km jalan beraspal nasional), saat ini kualitasnya belum memadai, dengan beberapa kendala, salah satunya jalan dengan kondisi muatan berlebih. Sebagaimana diketahui, saat ini muatan berlebih di Indonesia, telah terjadi dalam berbagai kondisi dan makin mengganggu kinerja jalan (Hadiwardoyo, et al., 2012). Tingginya tingkat kerusakan infrastruktur jalan di negara-negara berkembang, ketatnya pembatasan anggaran, dan tingginya pertumbuhan lalu lintas, makin mendorong para penyelenggara jalan di berbagai negara untuk meningkatkan kinerja sistem manajemen perkerasan jalan (Rifai, et al., 2015). Model prediksi kondisi perkerasan jalan memainkan peranan penting dan modal dasar untuk meningkatkan keberhasilan pemeliharaan perkerasan jalan. (Karlaftis & Badr, 2015).

Lalu lintas yang berlebihan dianggap menjadi masalah umum di negara-negara berkembang (Ede, 2014). Masalah ini terus terjadi, dan pemerintah tampaknya tidak dapat mencegahnya. Faktor di balik terjadinya muatan berlebih adalah keterbatasan moda transportasi dan upaya meminimalkan biaya transportasi.

Selain itu, perilaku penggunaan kendaraan dengan muatan berlebih secara menerus menyebabkan kerusakan semakain cepat. Dalam penelitiannya Sianipar (2014) menyebutkan bahwa penyumbang terbesar terhadap penurunan kinerja jalan adalah muatan berlebih. Penurunan kinerja jalan akibat pembebanan normal dan akibat pembebanan dengan muatan berlebih memiliki perbandingan yang tidak bersifat linear.

Dalam melaksanakan manajemen pemeliharaan jalan, DJBM telah mengembangkan IIRMS sebagai *tools* utama. Terdapat beberapa masalah yang ditemukan dalam sistem ini terkait dengan kualitas data yang kurang efisien dan relevansi *output* yang digunakan untuk penyusunan rencana dan program pemeliharaan. Data inti yang diperlukan oleh IIRMS disediakan oleh sejumlah survei yang biasanya dilakukan secara tahunan, seperti: inventarisasi jaringan jalan, *road condition survei* (RCS), serta pemeriksaan IRI (Bina Marga, 2012).

Menyusun model prediksi IRI merupakan masalah yang kompleks karena sifat dari kondisi perkerasan dan sejumlah besar parameter yang mempengaruhinya. Dengan demikian penggunaan AI, khususnya penerapan DM (Cortez, 2010), memiliki potensi yang besar dalam domain ini. Beberapa contoh aplikasi DM dalam domain teknik sipil telah dilakukan (Terzi, 2006) (Zhou, et al., 2010); (Tinoco, et al., 2011); (Parente, et al., 2014), dan (D'Andrea, et al., 2014). Dalam bab ini akan diuraikan implementasi hasil pengembangan model prediksi IRI pada jalan nasional Indonesia berdasarkan data yang telah dikumpulkan oleh IIRMS dan hawkeye. Selanjutnya diuraikan perbandingan nilai IRI jalan nasional dalam kondisi pembebanan normal dan muatan berlebih.

memungkinkan untuk mengidentifikasi parameter masukan yang mempengaruhi perilaku IRI, termasuk ESAL, *long crack, pothole, age, crack,* IRI $_0$, dan *rutting*. Selanjutnya, hasil studi kasus menunjukkan bahwa semua Teknik DM (MR, ANN, dan SVM) memiliki hubungan yang kuat ($R^2 \ge 0.7$) dan harus dipertimbangkan dalam model. Model ini dapat digunakan dalam sistem manajemen perkerasan jalan dengan beberapa kondisi pembebanan yang berbeda.

BAB XII

STUDI KASUS; IMPLEMENTASI MODEL OPTIMASI PEMELIHARAAN PERKERASAN JALAN DENGAN MUATAN BERLEBIH

12.1 Pendahuluan

mengalami peningkatan Indonesia pesat pengembangan infrastruktur jalan nasional dalam beberapa dekade terakhir ini. Selain mengembangkan jaringan jalan baru dengan struktur perkerasan modern, Indonesia juga telah memiliki jaringan jalan dengan struktur jalan tradisional yang dikembangkan mulai tahun 1808 (Saidi, 2010). Kedua jenis struktur jalan tersebut tentunya memerlukan sistem manajemen perkerasan jalan yang baik dengan pendanaan yang cukup. Sistem manajemen perkerasan jalan yang baik dapat menghasilkan kinerja jalan sesuai dengan kebutuhan pengguna jalan. DJBM adalah lembaga pemerintahan yang memiliki tanggung jawab penuh dalam melakukan pengembangan, pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur jalan nasional Indonesia. Rekomendasi perencanaan anggaran bagi pemegang kebijakan di DJBM merupakan bagian terpenting dalam sistem manajemen perkerasan jalan ini sebagai dasar dalam menentukan besaran anggaran dengan pertimbangan prioritas, fungsi jalan, dan jaringan jalan melalui prinsip-prinsip ekonomi.

BAB XIII

STUDI KASUS; KONSEP PENGEMBANGAN DECISION SUPPORT SYSTEM

13.1 Pendahuluan

Konsep pengembangan DSS dalam studi kasus ini bertujuan untuk memberikan gambaran implementasi integrasi antara DM, optimasi, dan GIS. Menggunakan pendekatan GIS dengan peranti lunak *open source* diharapkan pengembangan DSS semakin menarik untuk dikembangkan. Konsep ini berupa model sebagai aplikasi antar muka yang mampu menerima *input* berupa *numeric* dan koordinat kemudian memberikan *output* berupa *text*, *numeric*, tabular, dan grafis.

13.2 Pengembangan Modul GIS

Dalam rangka pengembangan sistem analisis DSS untuk optimisasi pemeliharaan perkerasan jalan diperlukan pengembangan modul berbasis GIS. Beberapa fungsi GIS yang dikembangkan dan ditampilkan dapat diterapkan pada sistem yang sudah terbangun. Modul GIS yang dikembangkan ini telah terintegrasi dengan DM. Bab ini berisi beberapa fitur selain fungsi tampilan grafis dan laporan. Fungsi modul GIS yang telah dikembangkan meliputi kemampuan sebagai berikut:

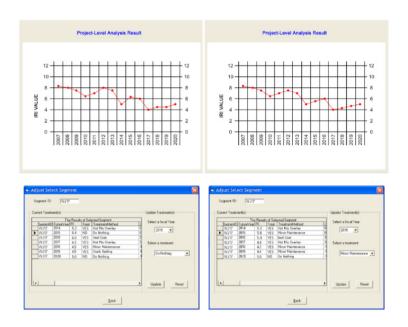
shape dihasilkan dalam komputer lokal. Penggunaan metode ini, memerlukan 1 hingga 2 menit untuk menghasilkan *layer* peta GIS pada saat pertama kali. Namun, setelah *layer* peta baru selesai dihasilkan, selanjutnya hanya membutuhkan beberapa detik untuk melakukan operasi dasar. Metode ini terbukti bekerja efisien.

13.2.2 Metode fitur poligon

Fitur poligon disediakan oleh QGis digunakan untuk menampilkan fitur peta poligon. Metode ini membuat hubungan antara informasi grafik dalam *layer* peta dan catatan data yang dihasilkan dari analisis kebutuhan hasil. Gambar 8.3 menampilkan hasil rata-rata IRI tahun 2014 dari 6 provinsi. Provinsi dapat diasosiasikan dengan sebuah peta poligon dan ditampilkan menggunakan metode poligon. Operator dapat mencari kembali peringkat kinerja jalan dalam analisis kebutuhan dengan mengklik pada peta.

Kemudian GIS base map preparation function secara otomatis mengekstrak peringkat kinerja pada semua project pavement yang terkait dengan masing masing provinsi, menghitung peringkat rata-rata kinerja pada setiap jaringan jalan dan membuat rangking kondisi jalan untuk tahun tertentu pada tabel yang ditunjukkan sisi kanan gambar 13.3. Subsistem ini menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh GIS. Selain itu, subsistem ini juga melakukan manipulasi dan permodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan. Melalui merupakan sistem kompleks yang biasanya terintegrasi dengan lingkungan sistem-sistem komputer yang lain di tingkat fungsional dan jaringan, GIS dapat melakukan penguatan dalam manajemen pemeliharaan jalan.

penyesuaian yang dibuat. Dalam gambar 13.8 menunjukkan perbandingan nilai IRI ruas sebelum dan sesudah perubahan secara manual dari strategi perbaikan. Dari gambar 13.8, dapat terlihat bahwa pengurangan nilai IRI tahun terakhir meningkat dari 6 menjadi 4 terkait dengan penyesuaian interaktif.



Gambar 13.8 Analisis dampak optimasi tingkat segmen

Simulasi tersebut di atas adalah bentuk *tools* tambahan bagi para *stakeholder* didalam melaksanakan sistem manajemen perkerasan jalan. Sistem ini dirancang agar model prediksi kinerja jalan, model optimasi dan proses DSS bisa dengan sederhana dipahami secara terintegrasi.

13.5 Kesimpulan

Konsep DSS yang dikembangkan dengan melakuam integrasi DM, GA dan GIS mampu menampilkan aplikasi interface yang sederhana dan mampu memberikan kemudahan kepada para stake holder untuk melaksanakan sistem manajemen perkerasan jalan dengan langkah sederhana dan menyeluruh. Pendekatan AI yang telah dikembangkan dan disesuaikan kebutuhan sistem manajemen pemeliharaan jalan yang memiliki cakupan wilayah sangat luas dapat menyederhanakan constraint. Konsep interface yang dikembangkan dalam bab ini cukup sederhana dan fleksibel, sehingga dapat dikembangkan kembali sesuai dengan kebutuhan lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abaza, K. (2006). Iteraive Linear Approach for Nonlinear Nonhomogenous Stochastic Pavement Management Models. *Journal of Transportation Engineering Vol 132 No. 3*, 244-256.
- Abaza, K., & Ashur, S. (1999). Optimum Decision Policy for Management of Pavement Maintenance and Rehabilition. Journal of Transportation Research Board No. 1655, 8-15.
- Abaza, K., & Murad, M. (2007). Dynamic Probabilistic Approach for Long-Term Pavement Restoration Program with Added User Cost. *Journal of Transportation Research Board No.* 1990, 48-56.
- Abaza, K., Ashur, S., & Rabay'a, A. (2001). A Macroscopic Optimization System for the Management of Pavement Rehabilition. *Proceedings of The 20th Australian Road Researh Board (ARRB) Conference*. Melbourne, Australia 19-21 March.
- Abaza, K., Murad, M., & Al-Khatib, I. (2004). Integrated Pavement wih a Markovian Prediction Model. *Journal of Transportation ENgineering Vol* 130, No.1, 24-33.
- Abo-Sinna, M., & Amer, A. (2005). Extensions of TOPSIS for multiobjective large-scale nonlinear programming problems. *Journal of Applied Mathematics and Computation 162*, 243–256.
- AbouRizk, S., & Hajjar, D. (1998). A framework for applying simulation in construction. . *Can J Civ Eng 25:*, 604–617.
- Ahmadizar, F., & Soltanpanah, H. (2011). Reliability Optimization of a Series System With Multiple-Choice and Budget

- Constraints Using an Efficient Ant Colony Approach. *Journal of Expert Systems with Applications*, 3640-3646.
- Akofio-Sowah, M. A., & Kennedy, A. A. (2014). A Critical Review of Performance-Based Transportation Asset Management in United States Transportation Policy. *Proceedings of the 17th IRF World Meeting & Exhibition*. International Road Federation.
- Alavi, M., Hajj, E. Y., & Sebaaly, P. E. (2015). A comprehensive model for predicting thermal cracking events in asphalt pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 1-15.
- Al-Mansou, A. (2004). Flexible Pavement Distress Prediction Model for the City of Riyadh Saudi Arabia. *Emirates Journal for Engineering Research*, 9(1), 81-88.
- Alyami, Z., & Tighe, S. (2013). Development of Maintenance and Rehabilitation Program: Pavement Assets Under Performance-Based Contracts. . *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2361), 1-10.
- Amin, M. S. (2015). The Pavement Performance Modeling: Deterministic vs. Stochastic Approaches. In *Numerical Methods for Reliability and Safety Assessment* (pp. 179-196). Springer International Publishing.
- Anastasopoulos, P. C., & Mannering, F. L. (2014). Analysis of pavement overlay and replacement performance using random parameters hazard-based duration models. *Journal of Infrastructure Systems*, 21(1).
- Archondo-Callao, R. (2008). *Applying the HDM-4 Model to Strategic Planning of Road Works*. Washington, D.C.: Tranport Papers Series, TP-20, The World Bank Group.

- Arhin, A. S., Williams L, N., A, R., & Anderson M, F. (2015). Predicting Pavement Condition Index Using International Roughness Index in a Dense Urban. *Journal of Civil Engieering Research*, 10-17.
- Arnott, D., & Pervan, G. (2008). Eight key issues for the decision support systems discipline. *Decision Support Systems, Volume 44, Issue 3*, 657-672.
- Assaf, S. A., Al-Hammad, A., Jannadi, O. A., & Saad, S. A. (2002). Assessment of the Problems of Application of Life Cycle Costing in Construction Projects. *Cost Engineering 44 (2)*, 17-22.
- Azis, A. A. (2012, August 13). *Moda Transportasi Ideal dalam Percepatan MP3EI*. Retrieved from ristek.go.id: jdih.ristek.go.id/?q=system/files/berita/attachment
- B.C. Ministry of Transportation. (2007). Pavement Surface Condition Rating Manual 2nd Edition. Victoria B.C.: Geoplan Consultant Inc.
- Badan Pusat Statistik. (2012, Juni 28). *Badan Pusat Statistik*. Retrieved from http://www.bps.go.id/tab_sub/view. php?tabel=1&daftar=1&id_subyek=17¬ab=12
- Baek, J., Yoo, H. M., Lee, T. H., Park, Y. H., & Kim, M. I. (2014). Lessons from 20 Years' Experience of Pavement Management Systems on National Highways in Korea: Focus on Distress Survey. In Design, Analysis, and Asphalt Material Characterization for Road and Airfield Pavements. 170-177.
- Bai, Q., & Labi, S. (2009). Uncertainty-based tradeoff analysis methodology for integrated transportation investment decision-making. USDOT Region V RegionalUniversity Transportation Center Final Report (NEXTRANS Project No 020PY01).

- Baker, J. (1975). *Traffic Accident Investigator's Manual 4th ed.* Evanson: The Traffic Institute, Northwestern University.
- Bakko, A. I., & Horvath, Z. (2011). Decision Supporting Model for Highway Maintenance. *Journal of Computing in Civil Engineering*.
- Baskin, A. B., Shahin, M. Y., & Reinke, R. E. (2012). U.S. Patent No. 8,155,989. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Batouli, M., Swei, O. A., Zhu, J., Gregory, J., Kirchain, R., & Mostafavi, A. (2015). A Simulation Framework for Network Level Cost Analysis in Infrastructure Systems. 2015 International Workshop on Computing in Civil Engineering.
- Beg, M. A., & Banerjee, A. (2015). Developing Optimized Maintenance Work Programs for an Urban Roadway Network using Pavement Management System. 9th International Conference on Managing Pavement Assets.
- Beniwal, S., & & Arora, J. (2012). Classification and feature selection techniques in data mining. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 1(6).
- Benjamin, C. (1985). A Linear Gola Programming Model for Public Sector Project Selection. *Journal of the Operational Research Society 36 (1)*, 13-24.
- Bennett, C. R. (2006). What Makes a Pavement Management System Implementation Successful? Washington D.C.: World Bank.
- Ben-Zvi, T. (2012). Measuring the perceived effectiveness of decision support systems and their impact on performance. *Decision Support Systems*.
- Beskou, N. D., & Theodorakopoulos, D. D. (2011). Dynamic effects of moving loads on road pavements: Areview. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 547-567.

- Biatna, D., Denny, & Dhandy. (2005). Studi Standar Teknik Sampling dan Ukuran. *Jurnal Standardisasi*, 41-45.
- Bina Marga (2020), Buku Kondisi Jalan Nasional Tahun 2020, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta
- Boucher, P. (2007). Concrette Thinking in Transportation Solution, Building Better Highways in Canada. Van Couver: Cement Association of Canada.
- Boyapati, B., & Kumar, R. P. (2015). Prioritisation of Pavement Maintenance based on Pavement Condition Index. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(14).
- Buttlar, W. G., & Paulino, G. H. (2015). Integration of Pavement Cracking Prediction Model with Asset Management and Vehicle-Infrastructure Interaction Models. No. NEXTRANS Project No. 073IY03.
- Cafiso, S., Graziano, A., Kerali, H., & Odoki, J. (2002). Multicreteria Abalysis Method for Pavement Maintenance Management. In Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No. 1816, TRB, 73-84.
- Carey, W., & Irick, P. (1960). The Pavement Serviceability-Performance Concept. *HRB Bulletin 250*.
- Carter, T., & Keeler, A. (2008). Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management* 87 (3), 350-363.
- Castro, S. R., Castro, S. R., & Lange, L. C. (2014). Statistical Analysis of Climatic Seasonality on the Paving Conditions of a Brazilian Highway. *Civil & Environmental Engineering vol* 5, 1-5.
- Chambers, J. M. (2008). *Software for Data Analysis: Programming with R.* Springer-Verlag.

- Chan, W. T., Fwa, T. F., & Zahidul Hoque, K. (2001). Constraint handling methods in pavement maintenance programming. *Transportation Research Part*, 175-190.
- Chan, W., Fwa, T., & Tan, C. (1994). Road Maintenance Planning using Genetic Algorithms I:Formulation. *Journal of Transportation Engineering, Vol 120 No. 5*, 693-709.
- Chan, W., Fwa, T., & Tan, J. (2003). Optimal Fund-Allocation Analysis for Multidistrict Highway Agencies. *Journal of Infrastructure System, Vol 9 No. 4*, 167-175.
- Chang, C. M., Vavrova, M., Smith, R. E., & Tan, S. G. (2015). A Multi-Objective Asset Management Approach to Evaluate Maintenance Strategies for Funding Allocation. 9th International Conference on Managing Pavement Assets.
- Chen, W., Yuan, J., & Li, M. (2012). Application of GIS/GPS in Shanghai Airport Pavement Management System. 2012 International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE) (pp. 2322-2326). Procedia Engineering.
- Cherkassky, V., & Ma, Y. (2004). Practical selection of svm parameters and noise estimation for svm regression. *Neural Networks*, 17(1) ISSN 0893-6080., 113-126.
- Chikezie, C., Abejide, S., & Kolo, A. (2011). Review of application of genetic algorithms in optimization of flexible pavement maintenance and rehabilitation in Nigeria. *World J. Eng. Pure Appl. Sci.* 3, 68-76.
- Chou, J.-S. (2008). Applying AHP-Based CBR to Estimate Pavement Maintenance Cost. *Tsinghua Science and Technology*, 114-120.
- Chou, J.-S. (2009). Web-based CBR system applied to early cost budgeting for pavement maintenance project. *Expert Systems with Applications*, 2947–2960.

- Chou, J.-S., & Le, T.-S. (2011). Reliability-based performance simulation for optimized pavement maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, 1402-1410.
- Chung, S.-H., Hong, T.-H., H. S.-W., Son, J.-H., & Lee, S.-Y. (2006). Life cycle cost analysis based optimal maintenance and rehabilitation for underground infrastructure management. *KSCE Journal of Civil Engineering 10 (4):*, 243-253.
- Cook, W. (1984). Goal Programming and Financial Planning Models for Highway Rehabilition. *Journal of the Operational Research Society, 34*, *3*, 217-223.
- Correia, A. G., Brandl, H., & Magnan, J.-P. (2014). Earth and rockfill embankments for roads and railways: what was learned and where to go. XV Danube-European Conf. Geotech. Eng. (Keynote Lect.).
- Cortez, P. (2010). Data Mining with Neural Networks and Support Vector Machines Using the R/rminer Tool. *10th Industrial Conference on Data Mining (ICDM 2010)*, (p. Lecture Notes in Artificial Intelligence 6171). Advances in Data Mining.
- Cortez, P. (2010). Data mining with neural networks and support vector machines using the r/rminer tool. *Advances in Data Mining: Applications and Theoretical Aspects, 10th Industrial Conference on Data Mining, 83,.* Berlin, Germany: J In P. Pemer, editor,.
- Cortez, P., & Embrechts, M. (2013). Using sensitivity analysis and visualization tecniques to open black box data mining model. *Information Scientes*, 1-17.
- Coutinho-Rodrigues, J., Simão, A., & Antunes, C. H. (2011). A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. *Decision Support Systems*, 51(3), 720-726.

- Cundill, M., & Withnall, S. (1995). Road Transport Investment Model RTIM3. *In Sixth International Conference on Low Volume Roads, Minniapolis, Minnesota* (pp. 187-190). Washington DC: Transportation Research Record, Volume I, TRB.
- D'Andrea, A., Cappadona, C., La Rosa, G., & Pallegrino, O. (2014). A functional road classification with data mining techniques. *Journal of Transport 29.4*, 419-430.
- D'Andrea, A., Cappadona, C., La Rosa, G., & Pallegrino, O. (2014). A functional road classification with data mining techniques, . *Transport 29.4*, 419-430.
- Davies, R., & Sorenson, J. (2000). Pavement Preservation: Preserving Our Investment in Highway. *Pavement Preservation Compendium* (pp. 5-12). Federal Highway Administration.
- Di Mino, G., De Blasiis, M. R., Di Noto, F., & Noto, S. (2013). An Advanced Pavement Management System based on a Genetic Algorithm for a Motorway Network. *Proceedings of the Third International Conference on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering* (p. 26). Stirlingshire, Scotland.: Civil-Comp Press.
- Ding, T., Sun, L., & Chen, J. (2013). Optimal Strategy of Pavement Preventive Maintenance Considering Life-Cycle Cost Analysis. *Social and Behavioral Sciences* 96, 1679 1685.
- Ditjen Bina Marga (2020). *Buku Kondisi Jalan Nasional 2020*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Dong, Q., Huang, B., & Richards, S. H. (2014). Calibration and Application of Treatment Performance Models in a Pavement Management System in Tennessee. *Journal of Transportation Engineering*, 141(2).

- Ede, A. N. (2014). Cumulative Damage Effects of Truck Overloads on Nigerian Road Pavement. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol: 14 No: 01*, 21-26.
- Egilmez, G., & Tatari, O. (2012). A Dynamic Modeling Approach to Highway Sustainability: Strategies to Reduce Overall Impact. *Transportation Research*, 1086-1096.
- Elhadidy, A. A., Elbeltagi, E. E., & Ammar, A. M. (2015). Optimum analysis of pavement maintenance using multi-objective genetic algorithms,. *HBRC Journal (2015) 11*, 107-113.
- Eriksson, J., Girod, L., Hull, B., Newton, R., Madden, S., & & Balakrishnan, H. (2008). The Pothole Patrol: Using a Mobile Sensor Network for Road Surface Monitoring. In Proceedings of the 6th international conference on Mobile systems, applications, and service, (pp. 29-39).
- Ertel, W. (2009). *Introduction to Artificial Intelligence*. Springer, ISBN 9780857292988.
- Fallah-Fini, S., Triantis, K., de la Garza, J. M., & Seaver, W. L. (2012). Measuring the efficiency of highway maintenance contracting strategies: A bootstrapped non-parametric meta-frontier approach. *European Journal of Operational Research*, 134-145.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). From data mining to knowledge discovery in databases. *AI magazine*, 37-54.
- Fedra, K., & Reitsma, R. (1990). *Decision Support and Geographical Information Systems*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Feighan, K., Shahin, M., & Sinha, K. (1987). A Dynamic Programming Approach to Optimization for Pavement Management

- System. 2nd North Am. Conf on Managing Pavement (pp. 2.195-2.206). Ontario Ministry of Transportation and Communications and US Federal Highway Administration.
- Fendi, K. G., Adam, S. M., Kokkas, N., & Smith, M. (2014). An Approach to Produce a GIS Database for Road Surface Monitoring. *ICCEN 2013* (pp. 235-240). Stockholm, Sweden: APCBEE Procedia 9.
- Ferreira, A., Antunes, A., & Picados-Santos, L. (2002). Probabilistuc Segment-Linked Pavement Management Optimization Model. *Journal of Transportation Engineering, Vol 128 No.* 6, 568-577.
- Ferreira, A., de Picado-Santos, L., Wu, Z., & Flintsch, G. (2010). Selection of pavement performance models for use in the Portuguese PMS. *International Journal of Pavement Engineering*, 87-97.
- FHWA. (2002). Life Cycle Cost Analysis Primer Office of Aset Management. FHWA-IF-02-047. Washington, D.C.: U.S. Department of Tranportation, Federal Highway Administration.
- Freitas, A. A. (2013). Data mining and knowledge discovery with evolutionary algorithms. Springer Science & Business Media.
- Fu, T. C. (2011). A review on time series data mining. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(1), , 164-181.
- Fwa, T. F., Tan, C., & Chan, W. (1994a). Road Maintenance Planning Using Genentic Algorithms. II: Analysis. *Journal of Transportation Engineering Vol. 120 No. 5*, 710-722.
- Fwa, T., & Sanmugam, R. (1998a). Fuzzy Logic Techniquw for Pavement Condition Rating and Maintenance Needs Assessment. *Fourth International Conference on Managing Pavement*, (pp. 465-476). Durban, South Afica.

- Fwa, T., & Shinha, K. (1988b). Highway Routine Maintenance Programming at Network Level. *Journal of Transportation Engineering Vol 114 No. 5*.
- Fwa, T., Chan, W., & Hoque, K. (2000). Multiobjective Optimization for Pavement Maintenance Programming. *Journal of Transportation Engineering, ASCE Vol 119 No. 3*, 419-432.
- Fwa, T., Chan, W., & Tan, C. (1996). Genetic Algorithms Programming of Road Maintenance and Rehabilition. Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol 122, No. 3, 246-253.
- GAIKINDO. (2012, Juni 28). The Association of Indonesia Automotive Industries. Retrieved from http://gaikindo.or.id/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=0&Itemid=145
- Gao, L., Xie, C., Zhang, Z., & Waller, S. (2012). Network-level road pavement maintenance and rehabilitation scheduling for optimal performance improvement and budget utilization. *Comput.-Aided Civ. Infrastruct. Eng.* 27, 278-287.
- Garcia-Diaz, A., & Liebman, J. (1980). An Investment Staging Model for a Bridge Replacement Problem. *Operations Research Vol* 28, No. 3 Part II, 736-753.
- Garza, J. M., Akyildiz, S., Bish, D., & Krueger, D. A. (2011). Network-level optimization of pavement maintenance renewal strategies. *Advanced Engineering Informatics*, article in press.
- Gedafa, D. S. (2006). Present Pavement Maitenance Practice: A Case Study For Indian Conditions Using HDM-4. *Fall Student Conference Midwest Transportation Consortium*, 2-16.
- Gendreau, M., & and Duclos, L. (1989). A Decision-Support System Approach for Pavement Management Planning. *the 15th World Conference on Transport Research*. Japan.

- Gluch, P., & Baumann, H. (2004). The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. " Building and Environment39 (5), 571-580.
- Grivas, D., Ravirala, V., & Schultz, B. (1993). State Increment Optimization Methodology for Network-Level Pavement Managemen. *Journal on The Transportation Research Board*, 25-33.
- Guyon, I., & Elisseeff, A. (2003). An Introduction to Variable and Feature Selection. *Journal of Machine Learning Research 3*, 1157-1182.
- Haas, R., Hudson, W. R., & Zniewski, J. (1994). *Modern Pavement Management*. Florida: Krieger Publishing Company, Malabar.
- Hadiwardoyo, S., Sumabrata, R., & Berawi, M. (2012). Tolerance Limit for Trucks With Excess Load In Transport Regulation In Indonesia. *Makara Journal of Technology, Volume 16 No.1*, 85-92.
- Harper, W., & Majidzadeh, K. (1991). Use of Expert Opinion in Two Pavement Management System. *Journal of Transportation Research Board*, No. 1311, 242-247.
- Harvey, J., Rezaei, A., & Lee, C. (2012). Probabilistic approach to life-cycle cost analysis of preventive maintenance strategies on flexible pavements. *Transportation Research Record:*Journal of the Transportation Research Board, (2292), 61-72.
- Hass, R. (2003). Good Technical Foundations Are Essential for Successful Pavement Management. *Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technology Control* (pp. 3-28). Guimaraes: Universidade do Minho-Escola de Engenharia.

- Hastie, R. T., Tibshirani, & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer-Verlag New York, second edition.
- Hede, J. C. (2011). Memanfaatkan Sistem Manajemen Jalan Secara Maksimal. *Jurnal Prakarsa Infrastruktur Indonesia*, 12-16.
- Herabat, P., & Tangphaisanakun, A. (2005). Multi-Objective Optimization Model using Constraint-Based Genetic Algorithms for Thailand Pavement Management. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 1137 1152.
- Hill, I., Cheetham, A., & Hass, R. (1991). Development and Immplementation of a Pavement Management System fo Minnesota. *Transportation Researc Noard No. 1311*, 22-41.
- Hosten, A., Chowdhury, T., Shekharan, R. A., Ayotte, M., & Coggins, E. (2015). Use of VDOT's Pavement Management System to Proactively Plan and Monitor Pavement Maintenance and Rehabilitation Activities to Meet the Agency's Performance Target. 9th International Conference on Managing Pavement Assets.
- Huang, Y. (2004). *Pavement Analysis and Design, Second Edition*. Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc.
- Hudson, W., Haas, R., & Uddin, W. (1997). *Infrastructure Management*. USA: McGraw-Hill.
- Hudson, W., Hass, R., & Darly, R. (1979). *Pavement Management System Development*. NCHRP Report 215.
- Irfan, M., Khurshid, M. B., Anastasopoulos, P., Labi, S., & Moavenzadeh, F. (2011). Planning-stage estimation of highway project duration on the basis of anticipated project cost, project type, and contract type. *International Journal of Project Management*, 78-92.

- Jahanshahloo, G., Hosseinzadeh, L., & Izadikhah, M. (2006). An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval data. *Journal of Applied Mathematics and Computation*, 1375–1384.
- Jain, S. S., Aggarwal, S., & Parida, M. (2005). HDM-4 pavement deterioration models for Indian national highway network. *Journal of Transportation Engineering*.
- Jang, W.-S., & Miroslaw, J. S. (2009). Cost-Benefit Analysis of Embedded Sensor System for Construction Materials Tracking. *Journal of Construction Engineering and Management 135 (5)*, 378-386.
- Jeong, H. O., Chen, D., Walubita, L., & Wimsatt, A. (2011). Mitigating seal coat damage due to superheavy load moves in Texas low volume roads. *Construction and Building Materials*, 3236-3244.
- Kang, M.-W., Jha, M. K., & Schonfeld, P. (2012). Applicability of highway alignment optimization models. *Transportation Research*, 257-286.
- Kannemeyer, L., & Kerali, H. (2001). HDM-4 and Case Studies. *Fifth International Conference on Managing Pavement.*
- Kantardzic, M. (2011). Data mining: concepts, models, methods, and algorithms. John Wiley & Sons.
- Karan, M., & Haas, R. (1976). Determining Investment Priorities for Urbana Pavement Improvements. *Journal of Association of Asphalt Paving Technology Vol 45*.
- Karim, R., Ibrahim, N. I., Saifizul, A., & Yamanaka, J. (2014). Effectiveness of vehicle weight enforcement in a developing country using weigh-in-motion sorting system considering vehicle by-pass and enforcement capability. *IATSS Research* 37, 124–129.

- Karlaftis, A., & Badr, A. (2015). Predicting asphalt pavement crack initiation following rehabilitation treatments. *Transportation Research Part C* 55, 510–517.
- Kerali, H. (2000). Overview of HDM-4. The Highway Development and Management Series. Volume 1. The World Road Association (PIARC).
- Kerali, H., & Mannisto, V. (1999). Prioritization Methods for Strategic Planning and Road Work Programming in a New Highway Development and Management Tool. *Transportation Research Record 1655, Transportation Research Board, Washington DC*, pp 49-54.
- Kim, C., Lee, E. B., Harvey, J. T., Fong, A., & Lott, R. (2015). Automated Sequence Selection and Cost Calculation for Maintenance and Rehabilitation in Highway Life-Cycle Cost Analysis (LCCA). *International Journal of Transportation Science and Technology Transportation Science and Technology*, 4(1), 61-76.
- Kim, D. Y., Kim, M. Y., Chi, S., Arellano, M., & Murphy, M. R. (2013). A Logistic Regression Model to Select and Prioritize Network-Level Project Sections for Sustainable Pavement Management in Texas. *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*.
- Kimovski, D., Ortega, J., Ortiz, A., & Baños, R. (2015). Parallel alternatives for evolutionary multi-objective optimization in unsupervised feature selection. *Expert Systems with Applications*, 42(9), 4239-4252.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C., & Vecchi, M. (1983). Optimization by Simulated Anneailng. *Science Vol 220*, 671-680.
- Koch, C., & Brilakis, I. (2011). Pothole detection in asphalt pavement images. . *Advanced Engineering Informatics*, 25(3),, 507-515.

- Kohavi, R., & John, G. (1996). Wrappers for feature subset selection. *Artificial Intelligence, special issue on relevance, 97(1–2)*, 273–324.
- Kohonen, T. (2001). *Self-organizing maps 3rd ed. Secaucus, NJ,* . USA: Springer-Verlag New York, Inc.
- Kyeil, K. (1998). A Transportation Planning Model For State Highway Management: A Decision Support System Methodology To Achieve Sustainable Development. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Lamptey, G., Labi, S., & Li, Z. (2008). Decision support for optimal scheduling of highway pavement preventive maintenance within resurfacing cycle. *Decision Support Systems*, 376-387.
- Lee, D. (2002). Fundamentals of Life-Cycle Cost Analysis. Transportation Research Record. *Transportation Research Board 1812 (-1): 203-210.*, 203-210.
- Lee, K. J., Seo, Y. C., Cho, N. H., & Park, D. W. (2013). Development of Deduct Value Curves for the Pavement Condition Index of Asphalt Airfield Pavement. International Journal of Highway Engineering, 15(3), 37-44.
- Lemis-Petropoulos, P. A., Chassiakos, A. P., & Theodorakopoulos, D. D. (2012). *An Expert System for Pavement Management in Urban Road Networks*.
- Li, N. H., & Huot, M. (1998). Integer Programming of Maintenance and Rehabilition Treatments for Pavement Networks. *Transportaion Research Board No. 1629*, 242-248.
- Li, Z. (2012). Comparisons of probabilistic models based on AASHO Road Test Data. CICTP 2012@ sMultimodal Transportation Systems—Convenient, Safe, Cost-Effective, Efficient. (pp. 3507-3518). ASCE.

- Li, Z., & Madanu, S. (2009). Highway Project Level Life-Cycle Benefit/Cost Analysis under Certainty, Risk, and Uncertainty: Methodology with Case Study. *Journal of Transportation Engineering 135: 516.*
- Liao, S., Chu, P., & Hsiao, P. (2012). Data mining techniques and applications A decade review from 2000 to 2011. *Expert Systems with Applications* 39, 11303–11311.
- Lidicker, J., Sathaye, N., Madanat, S., & Horvath, A. (2012). Pavement resurfacing policy for minimization of life-cycle costs and greenhouse gas emissions. *Journal of Infrastructure Systems*, 19(2), 129-137.
- Lin, C., & Makis, V. (2015). A Comparison of Hidden Markov and Semi-Markov Modeling for a Deterioration System subject to Vibration Monitoring. *International Journal of Performability Engineering*, 11(3), 213.
- Liu, H., & Yu, L. (2005). Toward integrating feature selection algorithms for classification and clustering. *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on, 17(4)*, 491-502.
- Liu, H., Motoda, H., Setiono, R., & Zhao, Z. (2010). Feature Selection: An Ever Evolving Frontier in Data Mining. *Proceedings of the Fourth Workshop on Feature Selection in Data Ming*, (pp. 4-13). Hyderabad, India.
- Loomis, J. B. (2011). Incorporating Distributional Issues into Benefit CostAnalysis: Why, How, and Two Empirical Examples Using Non-market Valuation. *Journal of Benefit-Cost Analysis 2 (1): 5*.
- Lu, P., & Tolliver, D. (2013). Multiobjective Pavement-Preservation Decision Making with Simulated Constraint Boundary Programming. . *Journal of Transportation Engineering*, 139(9), 880-888.

- Lyer, P. S. (2008). *Operation Research*. Tata McGraw-Hill Education.
- Lytton, R. (1985). From Rangking to True Optimization. *In the Proceeding of North American Pavement Management Conference* (pp. 5.3 5.28). Ontario Ministry of Transportation and Communication and US Federal Highway Administration.
- Lytton, R. L. (1987). Concepts of Pavement Performance Prediction and Modeling. *Proceedings of 2nd North American Conference on Managing Pavements*. Toronto: Public Road Vol. 2.
- Mahoney, J. (1990). *Introduction to Prediction Models and Performance Cu*. Course Text, FHWA Advanced Course on Pavement Management.
- Mahoney, J., Ahmed, N., & Lytton, R. (1978). Optimization of Pavement Rehabilition and Maintenance by Use of Integer Programming. *Transportation Research Board No. 674*, 15-22.
- Mandapaka, V., Basheer, I., Sahasi, K., Ullidtz, P., Harvey, J. T., & Sivaneswaran, N. (2012). Mechanistic-empirical and life-cycle cost analysis for optimizing flexible pavement maintenance and rehabilitation. *Journal of Transportation Engineering*, 138(5), 625-633.
- Márquez, F. P., Lewis, R. W., T. A., & Roberts, C. (2008). Life cycle costs for railway condition monitoring. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 44* (6), 1175-1187.
- Martinaz Diaz, M., & Perez, I. (2015). Mechanistic-empirical pavement design guide: features and distinctive elements. *Journal of Construction*, 32-40.

- Marzouk, M., Awad, E., & El-said, M. (2012). An integrated tool for optimizing rehabilitation programs of highways pavement,. *Baltic J. Road Bridge Eng.* 7, 297-304.
- Moazami, D., Behbahani, H., & Ratnasamy, M. (2011). Pavement Rehabilitation and Maintenance Prioritization of Urban Roads Using Fuzzy Logic. *Expert Systems with Applications*, 12869-12879.
- Moazami, D., Muniandy, R., Hamid, H., & Md. Yusoff, Z. (2011). The use of analytical hierarchy process in priority rating of pavement maintenance. *Scientific Research and Essays*, 2447-2456.
- Morcous, G., & Lounis, Z. (2005). Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms. *Automation in Construction* 14, 129–142.
- Mukhopadhyay, A., Maulik, U., Bandyopadhyay, S., & Coello Coello, C. (2014). A survey of multiobjective evolutionary algorithms for data mining: Part I. *Evolutionary Computation*, *IEEE Transactions on*, 18(1), 4-19.
- Mulyono, A. T. (2002). Analisis Biaya Perbaikan Kerusakan Struktural Jalan AKibat Kendaraan Bermuatan Lebih (Overloading). *Media Teknik*, 21-26.
- Nam, D., & Park, C. (2000). Multiobjective Simulated Annealing: A Comparative Study to Evolutionary Algorithms. *International Journal of Fuzzy System Volume 2, Issue 2*, 87-97.
- Nassiri, S., Shafiee, M. H., & Bayat, A. (2013). Development of Roughness Prediction Models Using Alberta Transportation's Pavement Management System. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 6(6), 714.
- Neves, J., Ribeiro, J., Pereira, P., Alves, V., Machado, J., Abelha, A., & Fernández-Delgado, M. (2012). Evolutionary intelligence

- in asphalt pavement modeling and quality-of-information. . *Progress in Artificial Intelligence*, *I*(*I*), , 119-135.
- ODOT. (2010). *Pavement Distress Survey Manual*. Oregon: Pavement Service Unit, Oregon Department of Transportation.
- Osman, O., & Hayashi, Y. (1994). Geographic Information Systems as Platform for Highway Pavement Management Systems. Washington, D.C.: Transportation Research Record No. 1442, Transportation Research Board.
- Osorio, A., Chamorro, A., Tighe, S., & Videla, C. (2014). Calibration and Validation of Condition Indicator for Managing Urban Pavement Networks. *Transportation Research Record:*Journal of the Transportation Research Board, (2455), 28-36.
- Ottosson, R. O., Engström, P. E., Sjöström, D., Behrens, C. F., Karlsson, A., Knöös, T., & Ceberg, C. (2009). The feasibility of using Pareto fronts for comparison of treatment planning systems and delivery techniques. . *Acta Oncologica*, 48(2), 233-237.
- Pais, J., Amorim, S., & Minhoto, M. (2013). Impact of Traffic Overload on Road Pavement Performance. *J. Transp. Eng.*, *ASCE*, *139*(9), , 873–879.
- Panagopoulou, M. I., & Chassiakos, A. P. (2012). Optimization model for pavement maintenance planning and resource allocation. . *Transportation Research Circular, Number E-C163, Maintenance Management*, (pp. 25-38).
- Pantha, B. R., Yatabe, R., & Bhandary, N. P. (2010). GIS-based highway maintenance prioritization model: an integrated approach for highway maintenance in Nepal mountains. *Journal of Transport Geography*, 426-433.

- Paredes, M., Fernando, E., & Scullion, T. (1990). *Pavement Management Applications of GIS: A Case Study.* Washington: Transportation Research Record 1261, Transportation Research Board, National Research Council,.
- Parente, M., Correia, A. G., & Cortez, P. (2014). Artificial Neural Networks Applied to an Earthwork Construction Database. *In: Toll D, Zhu H, Osman A, et al (eds) Second Int. Conf. Inf. Technol. Geo-Engineering. IOS Press, Durham, UK*, 200–205.
- Pasquire, C., & Swaffield, L. (2002). Life-cycle/Whole-life costing. *Best value in construction*, 129.
- Paterson, W. (2011). Meningkatkan Hasil di Sektor Jalan Dengan Reformasi Anggaran. *Jurnal Prakarsa Infrastruktur Indonesia*, 4-7.
- Paterson, W. D. (2007). Success Factors for Computerized Road Management System. Washington D.C.: World Bank.
- Pilson, C., Hudson, W., & Anderson, V. (1999). Multiobjective Optimization in Pavement Management by Using Genetic Algorithms and Efficient Surfaces. *Journal of The Transportation Research Board No. 1655*, 42-48.
- Porras-Alvarado, J. D., Zhang, Z., & Salazar, L. G. (2014). Probabilistic Approach to Modeling Pavement Performance Using IRI Data. *In Transportation Research Board 93rd Annual Meeting (No. 14-5437)*.
- Puterman, M. L. (2014). *Markov decision processes: discrete stochastic dynamic programming.* John Wiley & Sons.
- Rahman, F. A., Desa, M. I., Wibowo, A., & Haris, N. A. (2014). Knowledge Discovery Database (KDD)-Data Mining Application in Transportation. *Proceeding of the Electrical Engineering Computer Science and Informatics, 1(1),*, (pp. 116-119.).

- Rahman, S., & Vanier, D. J. (2004). Life cycle cost analysis as a decision support tool for managing municipal infrastructure. Toronto, Ontario,.
- Ramesh, R., & Zionts, S. (2013). Multiple criteria decision making. In Encyclopedia of Operations Research and Management Science (pp. 1007-1013). Springer US.
- Rifai, A. I., H. S., Correia, A. G., & Pereira, P. (2015). A Conceptual Model Decision Support System for Maintenance Optimization of Overload Highway Pavements under Financial Constraints. *Quality In Research*. Lombok, Indonesia.
- Rifai, A. I., Hadiwardoyo, S. P., Correia, A. G., Pereira, P., & Cortez, P. (2015a). Data Mining Applied for The Prediction of Highway Roughness under Overloaded Traffic. *International Journal of Technology*, accepted.
- Rifai, A. I., Hadiwardoyo, S. P., Correia, A. G., Pereira, P., & Cortez, P. (2015b). Implementasi Data Mining Untuk Mendukung Sistem Manajemen Perkerasan Jalan Di Indonesia. *Jurnal HPJI Vol. 1 No. 2*, 93-104.
- Rifai, A., Hadiwardoyo, S. P., Correia, A. G., & Pereira, P. (2015). Genetic Algorithm Applied for Optimization of Pavement Maintenance under OverloadTraffic: Case Study Indonesia National Highway. *Applied Mechanics and Materials by Trans Tech Publication (accepted)*.
- Rouhani, S., Ghazanfari, M., & Jafari, M. (2012). Evaluation model of business intelligence for enterprise systems using fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3764-3771.
- Rusbintardjo. (2013). The Influence of Overloading Truck to the Road Condition. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.9.*

- Sage, A. (1991). *Decision Support Systems Engineering*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Saha, P., & Ksaibati, K. (2015). A risk-based optimisation methodology for pavement management system of county roads. . *International Journal of Pavement Engineering*, 1-11.
- Saidi, A. (2010). Jalan Raya Sebagai Desain Kebudayaan,. *Jurnal Sosioteknologi Edisi 19 Tahun 9 ITB*, 769-781.
- Santos, J., & Ferreira, A. (2012). Pavement design optimization considering costs and M&R interventions. *Social and Behavioral Sciences* 53, 1184 1193.
- Santos, J., & Ferreira, A. (2013). Life-cycle cost analysis system for pavement management at project level. *International Journal of Pavement Engineering*, 14(1), 71-84.
- Saraf, C. (1998). *Pavement Condition Rating System*. Rep. No. FHWA/OH-99/004.
- Sayers, M., & Karamihas, S. (1995). The little book of profiling, UMTRI, In:Sayers W, editor. On the calculation of IRI from longitudinal road profile.
- Schneiderman, B. (1987). Designing the User Interface: Strategies for Effective Human Computer Interaction. Massachusetts: Addison-Wesley.
- Scholz, M., & Uzomah, V. C. (2013). Rapid decision support tool based on novel ecosystem service variables for retrofitting of permeable pavement systems in the presence of trees. *Science of the total environment, 458*, 486-498.
- Sen, T., Onyango, M., Owino, J., Fomunung, I., Maxwell, J., Byard, B., & Governance, D. S. (2014). Pavement Management Analysis of Hamilton County, Tennessee USA, Using HDM-4 and HPMA. *IRF*, 22.

- Shah, Y. U., Jain, S. S., Tiwari, D., & & Jain, M. K. (2013). Modeling the pavement serviceability index for urban roads in Noida. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 6(1), 66.
- Shahin, M. (1994). Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots-,. New York: Chapman & Hall.
- Shahin, M. (2005). Pavement Management fo Airports, Roads and Parking Lots. New York: Chapman and Hall.
- Shahin, M. Y., & Kohn, S. D. (1982). Overview of Paver Pavement Management System. *Journal of Transportation Research Board, No. 846, TRB Washington, D.C.*, 55-60.
- SHRP. (1993). Distress Identification Manual for the Long-term Pavement Performance Project, Report SHRP-P-338. Strategic Highway Research Program, SHRP.
- Si, W., Ma, B., Li, N., Ren, J. P., & Wang, H. N. (2014). Reliability-based assessment of deteriorating performance to asphalt pavement under freeze-thaw cycles in cold regions. *Construction and Building Materials*, 68, 572-579.
- Sianipar, C. P., & Dowaki, K. (2014). Eco-burden in pavement maintenance: Effects from excess traffic growth and overload. *Sustainable Cities and Society 12*, 31–45.
- Simkowitz, H. (1989). Geographic Information Systems: An Important Technology for Transportation Planning and Operations. Washington, D.C.: Transportation Research Record 1236, Transportation Research Board, National Research Council.
- Sprague, R. (1980). A Framework for Research on Decision Support Systems, Decision Support Systems: Issues and Challenges. Pergamon Press.

- Sterner, E. (2002). Green Procurement of Buildings-Estimation of life-cycle cost and environmental impact. Tekniska Universitet, Doctorial thesis 1402-1544.
- Swei, O., Gregory, J., & Kirchain, R. (2013). Probabilistic characterization of uncertain inputs in the life-cycle cost analysis of pavements. *Transportation Research Record:*Journal of the Transportation Research Board, (2366), 71-77.
- Tabatabaee, N., & Ziyadi, M. (2013). Bayesian Approach to Updating Markov-Based Models for Predicting Pavement Performance. . *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2366),, 34-42.
- TAC. (1997). Pavement Design and Management Guide. Ottawa: Transportation Association of Canada.
- Tack, J., & Chou, E. (2002). Multiyear Pavement Repair Scheduling Optimization by Preconstrained Genetic Algorithm. *Journal of Transportation Research Board No. 1816*, 3-9.
- Taniguchi, S., & Yoshida, T. (2003). Calibrating HDM-4 Rutting Model on National Highways in Japan. *in The 22nd PIARC World Road Congress*. Durban.
- Terzi, S. (2006). Modeling the Pavement Present Serviceability Index of Flexible Highway Pavements Using Data Mining. *Journal of Applied Sciences*, 193-197.
- The Asia Foundation. (2008). *Biaya Transportasi Barang Angkutan, Regulasi, dan Pungutan Jalan di Indonesial*. Jakarta: Aia Foundation p41-43.
- Thomas, O., & Sobanjo, J. (2012). Comparison of Markov chain and semi-Markov models for crack deterioration on flexible pavements. *Journal of Infrastructure Systems*.

- Tinoco, J., Correia, A. G., & Cortez, P. (2011). Application of data mining techniques in the estimation of the uniaxial comprehensive strength of jet grouting columns over time, C. *onstruction and Building Material* 25, 1257-1262.
- Tinoco, J., Correia, A. G., & Cortez, P. (2014). Support vector machines applied to uniaxial compressive strength prediction of jet grouting columns. *Computers and Geotechnics 55 hal.* 132–140, 132-140.
- Tinoco, J., Correia, A. G., & Cortez, P. (2014). Support vector machines applied to uniaxial compressive strength prediction of jet grouting columns. *Computers and Geotechnics* 55, 132–140.
- TNZ. (2004). Annual Report 2003/2004. Wellington: Transit New Zealand.
- Tschegg, E. K., Jamek, M., & Lugmayr, R. (2011). Fatigue crack growth in asphalt and asphalt-interfaces. *Engineering Fracture Mechanics*, 1044-1054.
- Turskis, Z. G., Ambrasas, D. K., & Barvidas, A. (2007). Multiple criteria decision support system model for construction works technological cards designing. edited, 381–391.
- Vahidov, R., & Kersten, G. E. (2004). Decision station: situating decision support systems Original Research Article. *Decision Support Systems, Volume 38, Issue 2*, 283-303.
- Vapnik, V., Golowich, S., & Smola, A. (1997). Support vector method for function approximation, regression estimation, and signal processing. *In Advances in Neural Information Processing Systems 9, volume 9*, 281–287.
- Varela-González, M., Solla, M., Martínez-Sánchez, J., & Arias, P. (2014). A semi-automatic processing and visualisation

- tool for ground-penetrating radar pavement thickness data. *Automation in Construction* 45, 42-49.
- Venables W, N., & Ripley B, D. (2000). *S Programming*. New York.: Springer-Verlag.
- Wang, F., Zhang, Z., & Machemehl, R. B. (2003). Decision Making Problem for Managing Pavement Maintenance and Rehabilitation Projects. 82nd TRB Meeting, (pp. 1-10). Washington D.C.,.
- Wang, I.-L., James, Y.-C. T., & Li, F. (2011). A network flow model for clustering segments and minimizing total maintenance and rehabilitation cost. *Computers & Industrial Engineering*, 593-601.
- Wang, J., Lawson, G., & Shen, Y. (2014). Automatic high-fidelity 3D road network modeling based on 2D GIS data. *Advances in Engineering Software*, 86-98.
- Wang, K. C., Way, G., Delton, J., & Zaniewski, J. (1993). *Pavement Network Optimization and Implementation*. Arizona: Arizona Department of Transportation.
- Wang, X. Z. (2012). Data mining and knowledge discovery for process monitoring and control. Springer Science & Business Media.
- Weiss, S. H., & Indurkhya, N. (1998). *Predictive Data Mining: A Practical Guide*. San Francisco: CA: Morgan Kaufmann Publishers.
- West, R., Tran, N., Musselman, M., Skolnik, J., & Brooks, M. (2013).

 A Review of the Alabama Department of Transportation's

 Policies and Procedures for Life-Cycle Cost Analysis for
 Pavement Type Selection (No. NCAT Report 13-06).

- Widiantono, D. J. (2011). *Kebijakan dan Strategi Penanganan Kemacetan Lalulintas di Perkotaan*. Jakarta: Ditjen Tata Ruang Kemen PU.
- Wilson, T. P., & Romine, A. R. (2001). *Materials and Procedures for Repair of Potholes in Asphalt-surfaced Pavements-*. Manual of Practice (No. FHWA-RD-99-168,).
- Wolters, A., Smith, K., & & Peterson, C. (2015). Evaluation of rubblized pavement sections in Michigan. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
- Wu, X., Zhu, X., Wu, G. Q., & Ding, W. (2014). Data mining with big data. Knowledge and Data Engineering., *IEEE Transactions* on, 26(1), 97-107.
- Young, J., & Y. Park, P. (2014). Hotzone identification with GIS-based post-network screening analysis. *Journal of Transport Geography 34*, 106–120.
- Yuan, H. P., Shen, L. Y., Hao, J. J., & Lu, W. S. (2010). A model for cost-benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Yuhong Wang, P., Wen, Y., Zhao, K., Chong, D., & Wong, A. S. (2014). Evolution and locational variation of asphalt binder aging in long-life hot-mix asphalt pavements. *Construction and Building Materials* 68, 172–182.
- Zhang, S., Bogus, S. M., Lippitt, C. D., Neville, P. R., Zhang, G., Chen, C., & Valentin, V. (2015). Extracting Pavement Surface Distress Conditions Based on High Spatial Resolution Multispectral Digital Aerial Photography. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(9), 709-720.

- Zhang, X., & Gao, H. (2012). Road Maintenance Optimization Through a Discrete-Time Semi-Markov Decision Process. *Reliability Engineering and System Safety*, 110-119.
- Zhang, Z., & Murphy, M. R. (2013). A Web-Based Pavement Performance and Maintenance Management and GIS Mapping System for Easy Access to Pavement Condition Information: Final Report (No. 5-9035-01-P1-Final).
- Zhou, G., & Wang, L. (2012). Co-location decision tree for enhancing decision-making of pavement maintenance and rehabilitation. *Transportation Research*, 287-305.
- Zhou, G., Wang, L., Wang, D., & Reichle, S. (2010). Integration of GIS and Data Mining Technology to Enhance the Pavement Management Decision Making. *Journal of Transportation Engineering*, 332-341.
- Zhou, J., Huang, P. S., & Chiang, F. P. (2006). Wavelet-based pavement distress detection and evaluation. *Optical Engineering*, 45(2).
- Zimmerman, K., & Peshkin, D. (2004). Issues in Integrating Pavement Managemen and Preventive Maintenance. *In Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No. 1889, TRB*, 13-20.

Profil Penulis



Dr. Ir. Andri Irfan Rifai, ST., MT., MA., IPM. adalah dosen senior di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Internasional Batam. Menyelesaikan jenjang pendidikan Doktoral bidang Teknik Transportasi di Universitas Indonesia dan Universidade do Minho, Portugal dengan Beasiswa LPDP. Selain mengajar selama belasan tahun di UIB, juga aktif mengajar di beberapa kampus lain seperti Program

Pascasarjana Institut Sain & Teknologi Nasional Jakarta, Universitas Mercubuana Jakarta, dan Universitas Majalengka. Dalam bidang industri konstruksi, secara aktif turut serta menyumbangkan pemikirannya melalui Badan Pengatur Jalan Tol dan Ditjen Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat. Cukup banyak pekerjaan dalam bidang infrastruktur jalan yang turut dikerjakan, diantaranya Pembangunan Jalan Akses Tanjung Priok dengan Pendanaan JICA, Pembangunan Akses Dry Port Cikarang dengan Pendanaan SBSN, serta Kegiatan Rehabilitasi Rekonstruksi Infrastruktur Transportasi Pasca Bencana Gempa, Tsunami, & Liquefaksi Palu dengan Pendanaan World Bank dan JICA. Dalam bidang penelitian, sudah puluhan jurnal internasional yang dipublikasikan dan beberapa buku yang diterbitkan. Penggiat gowes ini pun cukup sering menjadi pembicara dalam beberapa seminar nasional dan internasional yang diselenggarakan berbagai pihak.