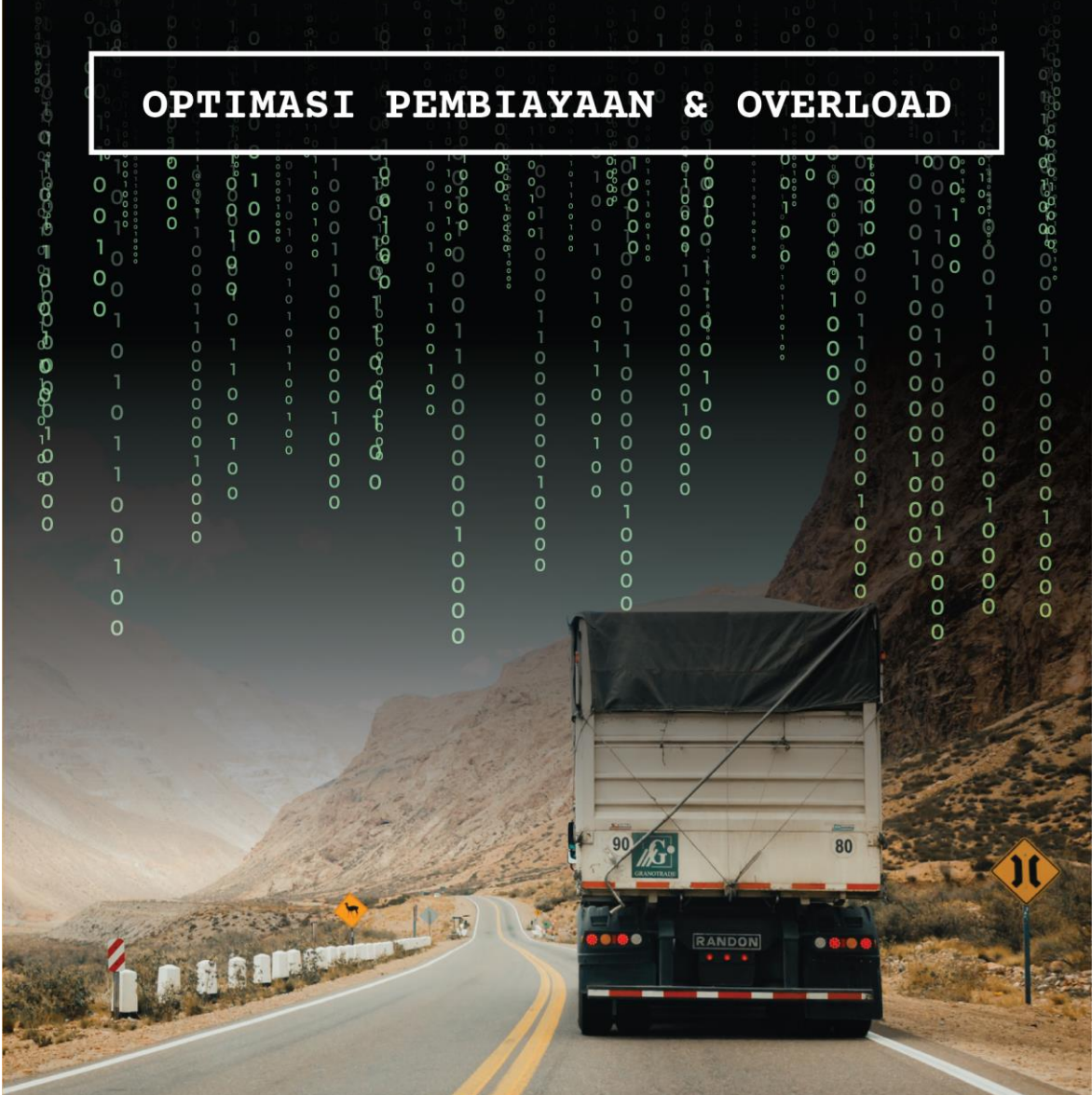


PEMANFAATAN ILMU LINTAS DISIPLIN

**IMPLEMENTASI DATA MINING
DALAM PEMELIHARAAN JALAN**

OPTIMASI PEMBIAYAAN & OVERLOAD



IMPLEMENTASI *DATA MINING* DALAM PEMELIHARAAN JALAN

Optimasi Pembiayaan & *overload*

Dr. Andri IRFAN



IMPLEMENTASI *DATA MINING* DALAM PEMELIHARAAN JALAN

Optimasi Pembiayaan & *overload*

Diterbitkan pertama kali oleh CV Amerta Media

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang *All Rights Reserved*

Hak penerbitan pada Penerbit Amerta Media

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa seizin tertulis dari Penerbit

Anggota IKAPI

Cetakan Pertama: Juli 2021

15,5 cm x 23 cm

ISBN

978-623-6385-30-2

Penulis:

Dr. Andri IRFAN

Desain Cover:

Adji Azizurrachman

Tata Letak:

Ladifa Nanda

Diterbitkan Oleh:

CV. Amerta Media

NIB. 0220002381476

Jl. Raya Sidakangen, RT 001 RW 003, Kel, Kebanggan, Kec. Sumbang,
Banyumas 53183, Jawa Tengah. Telp. 081-356-3333-24

Email: mediaamerta@gmail.com

Website: www.penerbitbuku.id

Whatsapp : 081-356-3333-24

Isi di luar tanggung jawab penerbit Amerta Media

KATA PENGANTAR

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 populer 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*).

Pertumbuhan teknologi hardware dan software dalam dunia komputer, mendorong dengan kuat peranan '*big data*'. Melalui kekuatan tersebut, cukup banyak informasi yang bisa gali sesuai dengan harapan dan tujuannya masing-masing. Penggalan data tersebut tentu memerlukan teknik dan strategi tersendiri agar menghasilkan sebuah informasi yang valid dan memiliki makna yang tepat. Dalam

perkembangannya, penggalian atau penambangan data lebih dikenal dengan istilah '*data mining*'. Sampai saat ini mestinya istilah '*data mining*' bukan lagi istilah asing bagi sebagian besar mahasiswa dan para praktisi. *Sayangnya*, istilah tersebut baru populer di kalangan mahasiswa dan praktisi ilmu komputer saja. Padahal *data mining* akan memiliki makna lebih luas apabila setiap sektor dapat memahami dan mengimplementasikannya.

Memang betul, bukan soal yang mudah dalam mengumpulkan informasi dan melakukan penambangan data yang nantinya data tersebut berguna kedepannya, Banyak sekali permasalahan yang bisa 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*. 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 dipublikasikan dalam bentuk poster, jurnal nasional, konferensi internasional, serta jurnal internasional bereputasi.

Publikasi di atas tersebut, dirasa belum dapat menyentuh beberapa kalangan, terutama praktisi yang berada di garda paling depan dalam pemeliharaan jalan. Sehingga pada kesempatan ini penulis mencoba menyusun buku ringkas tentang *data mining* pemeliharaan 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

HALAMAN JUDUL _____	i
TENTANG BUKU _____	iv
KATA PENGANTAR _____	v
DAFTAR ISI _____	vii

BAGIAN 1

Pendahuluan _____	1
-------------------	---

BAGIAN 2

<i>Data mining & Big Data</i> _____	9
2.1 Artificial Intelligence _____	11
2.2 <i>Data mining</i> _____	12
2.3 Optimasi Pemeliharaan Perkerasan Jalan _____	13
2.4 Decision Support System _____	14

BAGIAN 3

Pengembangan Model <i>Data mining</i> _____	17
3.1 Arsitektur Model _____	19
3.2 Karakteristik Data _____	21
3.3 Aktivasi ANN dan SVM _____	22
3.4 Interpretasi Model _____	22
3.5 Kontribusi Variabel _____	24
3.6 Analisis Sensitivitas _____	27

BAGIAN 4

Pengembangan Model Optimasi Pemeliharaan Perkerasan Jalan _____	31
4.1 Arsitektur dan Simulasi Model _____	33
4.2 Definisi Objective Functions dan Constraint _____	35
4.3 Pavement Performance Maximization _____	36

4.4	Maintenance Cost Minimization _____	38
4.5	Uji Model Optimasi _____	38
BAGIAN 5		
Konsep Decision Support System _____		41
5.1	Pengembangan Modul GIS _____	43
5.2	Fitur Poligon _____	46
5.3	Data Layer _____	47
5.4	Analisis Interaktif Pemeliharaan _____	48
BAGIAN 6		
Implementasi Model DM dan Optimasi		
Pemeliharaan Perkerasan Jalan di Indonesia _____		51
6.1	Model Prediksi IRI _____	55
6.2	Analisa Model IIRMS _____	57
6.3	Teknik <i>Data mining</i> _____	59
6.4	Simulasi Model <i>Data mining</i> pada Jalan dengan Muatan Berlebih _____	60
6.5	Implementasi Optimasi GA _____	62
DAFTAR PUSTAKA _____		66
INDEKS _____		74
PROFIL PENULIS _____		76

BAGIAN 1
PENDAHULUAN

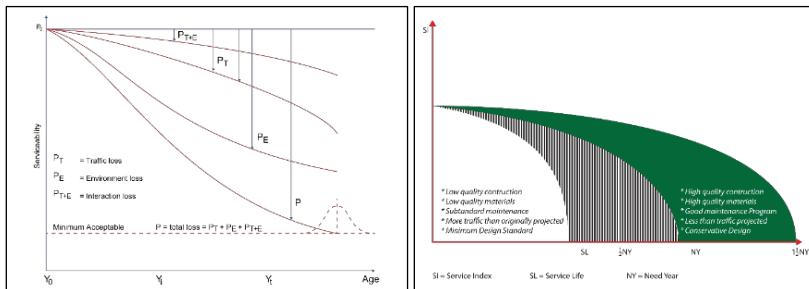
Jaringan jalan direncanakan, dibangun dan dipelihara untuk memfasilitasi transportasi dengan aman, nyaman, dan efisien. Untuk mewujudkan tujuan tersebut, dalam beberapa dekade terakhir sistem manajemen perkerasan jalan terus dikembangkan. Sebagai contoh, Amerika Serikat melakukan pengembangan sistem 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, sistem manajemen perkerasan jalan di negara berkembang pun terus diperbaiki dengan mengembangkan Highway Development and Management (HDM) sejak tahun 1966. 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, yang mencakup keselamatan jalan, lingkungan, dan energi, selain aspek manajemen (Martinaz Diaz & Perez, 2015).

Seiring dengan waktu, tujuan sistem manajemen perkerasan jalan terus berkembang. Pada tahap awal, pemerintah sebagai penyelenggara jalan terus melakukan penambahan kapasitas jalan secara fungsional. Namun saat ini selain tetap menambah kapasitas jalan, penyelenggara jalan pun harus memenuhi harapan yang lebih tinggi dari pengguna jalan berupa kenyamanan, kemudahan, dan keamanan. Sehubungan dengan hal tersebut penyelenggara jalan dan seluruh stake holder harus terus mengembangkan diri untuk mempertahankan, memperluas dan meningkatkan kinerja sistem jaringan jalan yang telah ada. Salah satu langkah untuk mencapai tujuan ini diperlukan sistem manajemen yang lebih baik agar semua sumberdaya yang dimiliki dapat dioptimalkan. Melalui pendekatan terkini yang dibantu oleh matematika modern dan teknologi komputer, alokasi anggaran sebagai salah satu sumber daya untuk peningkatan sistem manajemen perkerasan jalan dapat diimplementasikan secara lebih efisien (Santos & Ferreira, 2012).

Sistem manajemen perkerasan jalan dilakukan secara berkesinambungan, mulai dari perancangan, perencanaan, pembangunan, operasional, pemeliharaan, sampai dengan pengendalian. Seluruh tahapan dalam siklus sistem manajemen

perkerasan jalan memiliki peranan yang sama pentingnya. Tahapan sistem manajemen perkerasan jalan memiliki pengaruh yang signifikan dalam menjaga kinerja jalan apabila dilakukan secara berkesinambungan dalam rentang waktu yang panjang (Ding, et al., 2013). Hal tersebut dipengaruhi oleh sifat dan karakter struktur perkerasan jalan yang dapat dipolakan dengan berbagai pendekatan data dan catatan historis lainnya.

Kinerja jalan dapat berkurang sebanding dengan bertambahnya umur perkerasan serta beban lalu lintas (Yuhong Wang, et al., 2014). Pada umumnya umur perkerasan jalan ditetapkan berdasarkan cumulative equivalent standard axle (CESA) yang diperkirakan melintasi perkerasan jalan tersebut, diperhitungkan dari mulai perkerasan jalan tersebut dibangun, dioperasikan, sampai dengan perkerasan jalan tersebut dikategorikan rusak (berakhir umur rencana). Penurunan kinerja jalan secara keseluruhan mengikuti fungsi pertambahan volume dan beban lalu lintas, perubahan kondisi lingkungan, serta kondisi lainnya (Hass, 2003) seperti dapat dilihat pada gambar 1(a).



(Hass, 2003) Watson (1989) & Cheser, at.al. (1987)
 Gambar 1. Penurunan kinerja jalan

Pada dasarnya lapis perkerasan jalan dapat mengalami penurunan fungsi struktural sesuai dengan bertambahnya umur. Namun demikian, fungsi perkerasan pada jaringan jalan sering mengalami kerusakan struktural sebelum umur rencana tercapai, akibat berbagai kondisi dalam masa operasi. Salah satu fenomena yang umum terjadi di negara berkembang adalah muatan berlebih (Ede, 2014). Kondisi tersebut terjadi terus menerus tanpa dapat dicegah. Alasan keterbatasan moda

transportasi serta tujuan meminimalkan biaya angkut menyebabkan kerusakan jalan lebih cepat terjadi. Muatan berlebih di atas batas kewajaran serta beban berulang mengakibatkan kerusakan yang besar dan merubah umur layan seperti dapat dilihat pada gambar 1(b). Dalam penelitiannya, Sianipar & Dowaki (2014) menegaskan bahwa muatan berlebih merupakan faktor terbesar yang mendorong kerusakan perkerasan jalan sekaligus kerusakan lingkungan. Pembiaran muatan berlebih terus menerus, secara langsung dapat menimbulkan melonjaknya biaya pemeliharaan (Pais, et al., 2013). Biaya pemeliharaan yang diperlukan akibat muatan berlebih bukan hanya untuk pengembalian fungsi lapis perkerasan atas saja, namun juga harus mempertimbangkan lapisan pondasi. Hal tersebut karena kerusakan yang diakibatkan oleh muatan berlebih, kerusakannya mampu mencapai lapis pondasi dan pondasi bawah (Hadiwardoyo, et al., 2012).

Sesaat sebelum kerusakan mencapai lapis bawah, indikasi kerusakan diawali oleh kerusakan permukaan. Tingkat kerataan dan kekesatan permukaan berubah sesuai dengan perubahan kinerja jalan. Kerataan permukaan jalan (roughness) merupakan indikator penting, karena secara langsung mempengaruhi pengemudi dan kendaraan. Angka atau indeks kerataan terkait dengan amplitudo dan frekuensi distorsi perkerasan, karakteristik suspensi kendaraan, dan kecepatan kendaraan. Kondisi kerataan jalan yang tidak baik dapat menurunkan kecepatan, menimbulkan potensi kerusakan kendaraan, meningkatkan biaya operasional, dan meningkatkan emisi gas buang (Hass, 2003). Sampai saat ini international roughness index (IRI) masih merupakan salah satu alat ukur kinerja jalan yang digunakan dalam sistem manajemen perkerasan jalan secara luas.

IRI mulai dikembangkan pada tahun 1986 oleh World Bank yang merupakan pengembangan dari konsep NCHRP. Pertama kali diperkenalkan dalam international road roughness experiment (IRRE) yang dilaksanakan di Brasil (Sayers & Karamihas, 1995). IRI diukur dengan mengumpulkan data keluaran dari kendaraan uji atau langsung dibagi dengan panjang profil untuk menghasilkan ringkasan indeks kerataan. IRI telah diterima secara internasional sebagai indikator kinerja jalan yang dapat terus dikalibrasi untuk wilayah dan kondisi berbeda.

Penurunan kinerja jalan tidak berlangsung dalam waktu seketika, namun bertahap mengikuti fungsi waktu dan bersifat time series. Kecepatan dan bentuk perubahan kinerja memiliki pola dan kecenderungan tertentu. Pengumpulan data dalam jumlah besar, mutlak diperlukan untuk dapat menghasilkan pola yang baik dan berkesinambungan (Varela-González, et al., 2014). Pendekatan teknik baru dan pemanfaatan teknologi terkini perlu dilakukan agar sekumpulan data yang telah dikumpulkan dapat dimanfaatkan secara terstruktur dan terukur guna mendukung sistem manajemen perkerasan jalan yang lebih baik melalui interpretasi dan prediksi data yang akurat.

Interpretasi dan prediksi data merupakan salah satu hal penting dalam sistem manajemen perkerasan jalan. Kelompok data yang sangat besar hanya menjadi informasi tanpa makna apabila tidak dilakukan interpretasi dan prediksi secara tepat dan akurat. Sehubungan dengan hal tersebut, diperlukan sebuah model yang dapat memberikan pendekatan proses interpretasi yang baik. *Data mining* (DM) adalah salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk interpretasi data dalam berbagai disiplin ilmu. Melalui pendekatan artificial intelligence (AI), DM memiliki potensi yang sangat besar untuk membantu melakukan interpretasi dan prediksi (Cortez, 2010). Pemanfaatan AI dalam kelompok keilmuan teknik sipil telah dilakukan oleh Terzi (2006) dengan menyusun model prediksi pavement serviceability index (PSI) dan surface distress index (SDI). Selanjutnya Zhou (2010) melakukan pengembangan model geographic information system (GIS) pemeliharaan jalan; pengembangan model prediksi jet grouting (Tinoco, et al., 2014); serta model klasifikasi fungsional jalan (D'Andrea, et al., 2014). Dalam penelusuran pustaka yang dilakukan, sampai saat ini pendekatan AI dan teknik DM belum dikembangkan untuk pemodelan prediksi IRI dalam peningkatan kemampuan sistem manajemen perkerasan jalan.

Berbagai atribut dalam sistem manajemen perkerasan jalan harus mendapatkan perhatian yang seimbang. Seluruh permasalahan dan tujuan sebaiknya ditangani dan diselesaikan dengan menyeluruh secara berkesinambungan. Beberapa tujuan yang secara bersamaan harus dicapai, memerlukan pendekatan multi-objective optimization (MOO). 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 setinggi mungkin dengan tetap menjaga biaya yang digunakan serendah mungkin dalam waktu bersamaan. Kedua objective yang bertentangan satu sama lain, karena untuk menjaga tingkat kinerja jalan yang tinggi diperlukan penambahan biaya, dan sebaliknya. Beberapa objective, baik yang muncul terpisah maupun secara bersama-sama tetap harus menjadi perhatian bagi pemegang keputusan.

Seiring waktu metode optimasi semakin lengkap dan memiliki pilihan beragam yang dapat disesuaikan dengan kondisi dan karakteristik yang ada. Pada kurun waktu yang cukup lama pengembangan model MOO dengan genetic algorithms (GA) berhasil diimplementasikan dalam berbagai bidang (Elhadidy, et al., 2015). Pendekatan GA merupakan pendekatan yang cukup praktis dan telah banyak digunakan secara luas dalam berbagai bidang keilmuan (Morcouc & Lounis, 2005). Melalui pendekatan GA diharapkan atribut yang tidak diperkirakan di masa yang akan datang seperti ketidakpastian pertumbuhan lalu lintas dan muatan berlebih pada jaringan jalan, mulai dapat dipetakan dari awal sebagai bahan pertimbangan pemegang kebijakan.

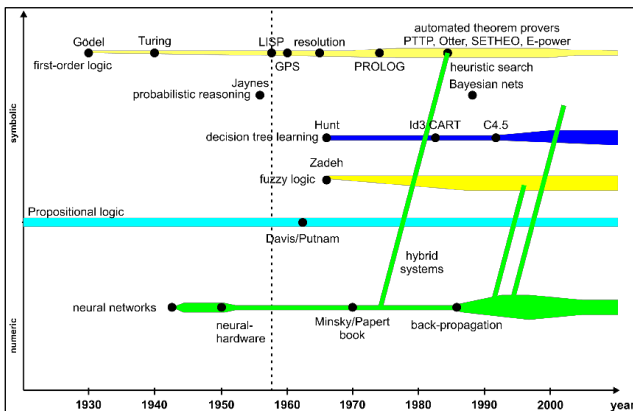
Terakhir, sistem manajemen perkerasan jalan yang baik adalah sistem yang mampu memberikan sebuah tools kepada para pengguna dan pengambil keputusan, sehingga mampu memahami dan menggunakan sistem dengan sederhana. Coutinho-Rodrigues et al. (2011) menuliskan bahwa semakin mudah sebuah sistem digunakan maka semakin optimal kemampuan sistem tersebut dapat digunakan dalam mendukung kinerja organisasi. Sehubungan dengan hal tersebut diperlukan pengembangan decision support system (DSS) yang sederhana dan mudah dipahami untuk menyempurnakan sistem manajemen perkerasan jalan yang ada. Berdasarkan uraian beberapa konsep model yang ada, model optimasi pemeliharaan jalan dengan pertimbangan MOO diperlukan untuk menjelaskan bagaimana sesungguhnya optimasi dan penentuan prioritas dilaksanakan sejak awal pemeliharaan dengan pemanfaatan DM. Model optimasi ini diharapkan menjadi alternatif untuk melengkapi beberapa konsep model lain yang sudah ada. Hasil pemodelan optimasi tersebut harus

mampu memberikan solusi perbaikan untuk penyempurnaan model optimasi, sekaligus sebagai bahan awal dalam penyusunan konsep DSS pemeliharaan jalan yang lebih komprehensif.

BAGIAN 2
DATA MINING & BIG DATA

2.1 Artificial Intelligence

Metode soft computing dilakukan dengan meniru proses yang ditemukan di alam, seperti otak dan seleksi alam (Tinoco, et al., 2014). Teknik soft computing memungkinkan pengolahan data dengan 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 mampu mendorong kualitas pekerjaan orang menjadi 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 dapat dilihat perkembangan AI dalam berbagai area keilmuan. Perkembangan AI mulai tahun 1970 semakin berkembang, ditandai dengan mencairnya pendekatan numeric dan symbolic yang saling melengkapi.



Gambar 2. Perkembangan Artificial Intelligence (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 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.

2.2 Data mining

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.

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, algoritma DM dilengkapi dengan dataset yang digunakan selama *learning-phase*, untuk dikembangkan menjadi model *data-driven*. Model tersebut dapat digambarkan sebagai hubungan antara *input* dan *output*, yang dapat memberikan informasi yang bermanfaat.

2.3 Optimasi Pemeliharaan Perkerasan Jalan

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 penyesuaian yang optimal (Kang, et al., 2012) dan (Beg & Banerjee, 2015).

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 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. Pendekatan single objective optimization, merupakan gagasan optimasi dengan tujuan meminimalkan atau memaksimalkan satu nilai objective tertentu (Di Mino, et al., 2013). Sedangkan pendekatan MOO terdiri dari dua atau lebih objective yang perlu dioptimalkan

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), (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).

2.4 Decision Support System

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 pasti, sehingga alat pendukung keputusan dapat membantu dalam meningkatkan keakuratan proses pengambilan keputusan selama proses pemeliharaan jalan (Zhang & Murphy, 2013).

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).

BAGIAN 3
PENGEMBANGAN
MODEL *DATA MINING*

BAGIAN 4
PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI
PEMELIHARAAN PERKERASAN JALAN

Model optimasi dikembangkan dengan aspek-aspek yang terstruktur dan terukur dari proses pengambilan keputusan, sementara teknik AI diarahkan untuk menyusun fitur kualitatif dari keseluruhan proses, yang biasanya dilakukan oleh para ahli. Dengan demikian, mengintegrasikan kekuatan AI dan optimasi tampaknya menjadi cara yang tepat untuk meningkatkan kemampuan optimasi dan DSS, pada bagian ini diusulkan sebuah model optimasi pemeliharaan perkerasan jalan dengan pendekatan MOO berbasis GA dengan pangkalan data hasil pengembangan DM. Pendekatan ini dirancang untuk menyusun dan menunjukkan bahwa AI dan DM mampu memberikan solusi praktis dalam penyusunan DSS sistem manajemen jalan.

4.1 Arsitektur dan Simulasi Model

Upaya awal untuk mengintegrasikan AI dan model optimasi tradisional didasarkan pada pengetahuan ahli dan praktisi sistem manajemen perkerasan jalan. Pengetahuan dalam sistem ini disimpan dalam cara yang relatif sederhana sehingga memudahkan penggunaan dalam berbagai kondisi. Namun, *traditional expert system* dibatasi aturan terstruktur yang telah digunakan dalam aturan organisasi yang berjalan. Dalam sudut pandang ini, meskipun hal ini dapat digunakan sebagai alat *decision support* dalam kasus sederhana, namun tidak memanfaatkan secara penuh kemampuan teknik AI terbaru, seperti DM dan *metabeuristik*.

Model prediksi kinerja jalan berbasis DM dikombinasikan dengan metode optimasi diharapkan mampu melakukan ekstraksi data dan analisis dalam menentukan serta memilih solusi terbaik untuk optimasi. Sistem yang diusulkan mengintegrasikan kemampuan untuk menerima data baru dan segera beradaptasi dengan *learning* secara *real time*. Pendekatan ini memberikan kemampuan kepada sistem untuk bekerja lebih dinamis, pada setiap perubahan kondisi. Meskipun tidak ada aplikasi praktis yang dikembangkan dalam implementasi teknik sipil sejauh ini, ide menggabungkan DM dengan optimasi akan dibahas lebih lanjut. Aplikasi optimasi pemeliharaan perkerasan jalan dapat dibagi menjadi beberapa modul sistem. Pada tabel berikut dapat dilihat modul, aplikasi dan kegunaannya.

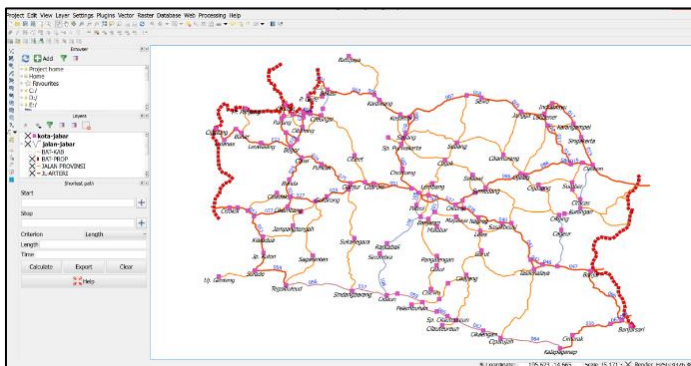
BAGIAN 5
KONSEP DECISION
SUPPORT SYSTEM

5.3 Data Layer

Implementasi dilakukan pada tahapan dan layer tertentu. Terdapat lima *layer* peta dasar yang dapat digunakan dalam pengembangan modul GIS, yaitu sebagai berikut:

- Analysis result: berisi detail dari *project-level*, termasuk peringkat *project* dalam analisis tahun berikutnya, metode penanganan dan biaya, AADT, informasi lokasi spasial seperti No.Segmen, No.Jaringan, NoProvinsi, No.Stasion, dan lainnya. Hal ini dibuat dengan metode MDS.
- Route: layer ini disediakan oleh IIRMS. Setelah integrasi data, *layer* berisi informasi lengkap jalan nasional di Pulau Jawa.
- Area: berisi detail informasi area penanganan balai di Pulau Jawa;
- Province: berisi informasi batas wilayah IIRMS dan analisis kebutuhan hasil IIRMS *area-level*;
- Network: berisi informasi batas jaringan jalan nasional.

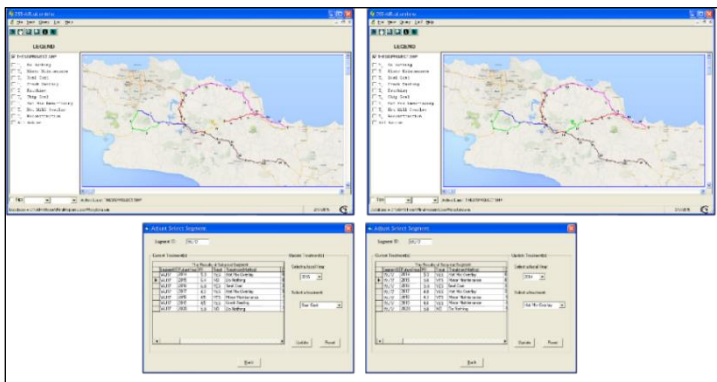
Kelima *layer* peta dasar mencakup sebagian besar informasi yang dihasilkan dari model pemeliharaan yang dapat ditampilkan pada peta GIS. Hasil dari *Project-level analysis module* terhubung dengan informasi *project* yang ditampilkan pada *layer* hasil analisis dapat dilihat pada gambar 14. Hasil dari *network-level analysis module* berhubungan dengan area dan provinsi yang ditampilkan pada *layer* peta area dan provinsi



Gambar 14. Peta dasar modul GIS

5.4 Analisis Interaktif Pemeliharaan

Untuk memfasilitasi DSS pada analisis kebutuhan pemeliharaan perkerasan, kerangka analisis skenario optimasi pemeliharaan perkerasan jalan dikembangkan melalui integrasi kemampuan GIS dengan model analisis keperluan pemeliharaan, termasuk hambatan *project-level pavement* dan prediksi kinerja jalan. Fungsi analisis skenario *what-if* secara interaktif berdasarkan peta telah dikembangkan dan memberikan kesempatan kepada pengambil keputusan untuk dapat mengembangkan dan mengevaluasi skenario perbaikan yang berbeda secara intuitif dan langsung secara interaktif pada peta GIS.



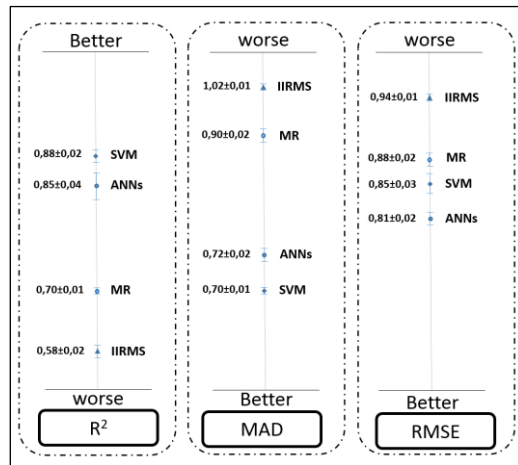
Gambar 15. Contoh analisis interaktif

Gambar 15 mengilustrasikan penggunaan analisis skenario pemeliharaan perkerasan jalan. Setelah program visual DSS menyelesaikan analisis prediksi kinerja jalan awal, aplikasi dikembangkan untuk menghasilkan pencatatan pada pangkalan data *project-level*, termasuk tahun perbaikan, lokasi, dan metode perbaikan. Hasil simulasi dalam tabel, hasil dapat juga ditampilkan dalam peta GIS, seperti pada gambar 15 (kanan-atas). *Engineer* dapat memahami dengan pengetahuan keteknikan untuk memperbaiki strategi pengelolaan yang dihasilkan oleh aplikasi DSS ini. Gambar 15 menunjukkan 2 ruas berdekatan yang dilakukan perbaikan yang sama dalam 2 tahun. Berdasarkan penilaian *engineer*, kedua ruas tersebut dapat dikelola dalam 2014 karena ruas tersebut berdampingan, dan jadwal tahun perbaikan tidak jauh berbeda menggunakan metode perbaikan yang sama.

Keputusan yang baik dapat mengurangi biaya mobilisasi ruas dan kemacetan yang disebabkan oleh konstruksi dua ruas dalam tahun yang terpisah, bahkan dapat mereduksi biaya konstruksi total.

BAGIAN 6
IMPLEMENTASI MODEL DM DAN
OPTIMASI PEMELIHARAAN PERKERASAN
JALAN DI INDONESIA

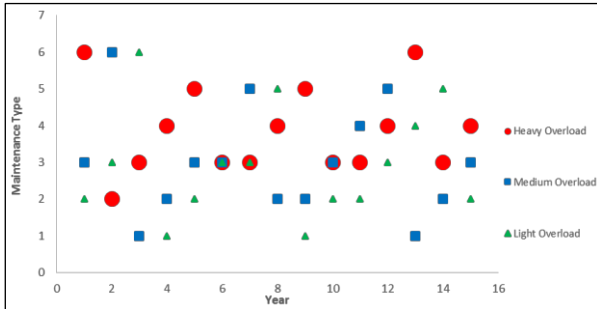
Apabila dibandingkan dengan model lain dari DM, hasil dari model DM dianggap lebih handal. Kinerja model tersebut dikonfirmasi oleh nilai R^2 , MAD dan RMSE seperti dapat dilihat pada gambar 19. Selain untuk dapat memastikan solusi secara global yang bersifat optimal, pada tahapan ini diperlukan representasi yang diiterasi secara terintegrasi. Salah satu langkah dalam penelitian ini adalah memasukkan *subfield* yang diperluas untuk mendapatkan kecerdasan buatan dalam *machine learning* yang disediakan.



Gambar 19. Perbandingan tingkat akurasi model

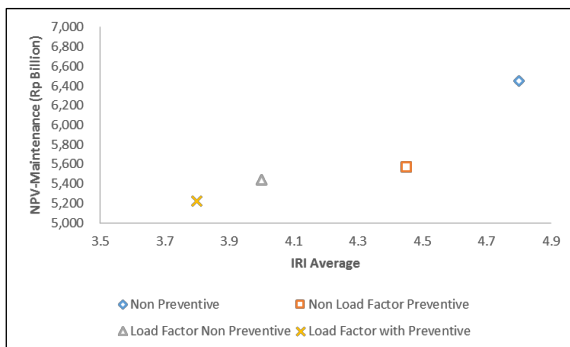
Nilai *error matrix* dan R^2 yang dihasilkan dalam aplikasi DM dalam studi kasus ini sedikit berbeda dengan nilai yang dihasilkan saat pembangunan model keseluruhan. Namun nilai tersebut masuk dalam rentang dengan tingkat kepercayaan 95%. Dengan t-test disimpulkan bahwa model yang dibangun dengan hasil hipotetikal dalam studi kasus memiliki validasi yang baik. Pemodelan dengan pendekatan HDM-4 tidak dibahas dalam studi kasus ini karena dapat diwakili oleh persamaan IIRMS yang sudah mengadopsi sebagian kalibrasi IRI pada aplikasi dengan pendekatan HDM-4.

jenis pemeliharaan sampai tahun ke-15. Secara lengkap skenario tipe pemeliharaan hasil optimasi yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 24.



Gambar 24. Skenario tipe pemeliharaan

Skenario pemeliharaan bersifat dinamis dan terus menyesuaikan dengan kondisi nyata di lapangan. Kegiatan pemeliharaan tidak bisa dimulai dari tengah tanpa melalui kajian awal terlebih dahulu. Tindakan pemeliharaan yang sekedar menyelesaikan masalah sesaat tidak dapat mampu meningkatkan kinerja jalan secara utuh. Diperlukan strategi pemeliharaan yang terstruktur dengan berbagai skenario pilihan. Sehingga saat satu skenario tidak bisa dijalankan, ada skenario lain yang bisa dikembangkan. Selanjutnya untuk dapat meyakinkan para *stakeholder* agar memperhatikan efektifitas pemeliharaan berbasis pemisahan kelompok pembebanan dapat dilihat pada gambar 25.



Gambar 25. Nilai manfaat

Hasil tersebut didapatkan dari simulasi pemeliharaan jangka panjang dengan skenario pemisahan pembebanan dan tanpa pemisahan jenis pembebanan, serta melibatkan optimasi *preventive maintenance* dan *non preventive*. Pengukuran dilakukan dengan simulasi 15 tahun menggunakan pendekatan *net present value*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abaza, K. (2006). Iterative Linear Approach for Nonlinear Nonhomogeneous 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 Rehabilitation. *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 Rehabilitation. *Proceedings of The 20th Australian Road Research Board (ARRB) Conference*. Melbourne, Australia 19-21 March.
- Abaza, K., Murad, M., & Al-Khatib, I. (2004). Integrated Pavement with a Markovian Prediction Model. *Journal of Transportation Engineering* Vol 130, No.1, 24-33.
- 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.
- Bai, Q., & Labi, S. (2009). Uncertainty-based tradeoff analysis methodology for integrated transportation investment decision-making. *USDOT Region V Regional University Transportation Center Final Report (NEXTRANS Project No 020PY01)*.
- Bakko, A. I., & Horvath, Z. (2011). Decision Supporting Model for Highway Maintenance. *Journal of 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.
- Benjamin, C. (1985). A Linear Goal Programming Model for Public Sector Project Selection. *Journal of the Operational Research Society* 36 (1), 13-24.
- 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.
- 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.
- Cook, W. (1984). Goal Programming and Financial Planning Models for Highway Rehabilitation. *Journal of the Operational Research Society*, 34, 3, 217-223.
- 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. Perner, editor,.
- 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.
- D'Andrea, A., Cappadona, C., La Rosa, G., & Pallegriano, O. (2014). A functional road classification with *data mining* techniques. *Journal of Transport* 29.4, 419-430.
- 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.

- 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.
- 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.
- Ertel, W. (2009). *Introduction to Artificial Intelligence*. Springer, ISBN 9780857292988.
- 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.
- Ferreira, A., Antunes, A., & Picados-Santos, L. (2002). Probabilistic Segment-Linked Pavement Management Optimization Model. *Journal of Transportation Engineering*, Vol 128 No. 6, 568-577.
- 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. (1994). Road Maintenance Planning Using Genetic Algorithms. II: Analysis. *Journal of Transportation Engineering* Vol. 120 No. 5, 710-722.
- Fwa, T., & Shinha, K. (1988). 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 Rehabilitation. *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol 122, No. 3, 246-253.

- 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.
- 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 Environment* 39 (5), 571-580.
- Haas, R., Hudson, W. R., & Zniwski, J. (1994). *Modern Pavement Management*. Florida: Krieger Publishing Company, Malabar.
- Hadiwardoyo, S.P., 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.
- 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.
- Hill, I., Cheetham, A., & Hass, R. (1991). Development and Implementation of a Pavement Management System fo Minnesota. *Transportation Research Noard* No. 1311, 22-41.
- Kang, M.-W., Jha, M. K., & Schonfeld, P. (2012). Applicability of highway alignment optimization models. *Transportation Research*, 257-286.
- Karan, M., & Haas, R. (1976). Determining Investment Priorities for Urbana Pavement Improvements. *Journal of Aasociation of Asphalt Paving Technology* Vol 45.

- Karlaftis, A., & Badr, A. (2015). Predicting asphalt pavement crack initiation following rehabilitation treatments. *Transportation Research Part C* 55, 510–517 .
- 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 Rehabilitation Treatments for Pavement Networks. *Transportation Research Board No. 1629*, 242-248.
- 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.
- 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 Mining*, (pp. 4-13). Hyderabad, India.
- Lytton, R. (1985). From Ranging 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.
- Mahoney, J., Ahmed, N., & Lytton, R. (1978). Optimization of Pavement Rehabilitation and Maintenance by Use of Integer Programming. *Transportation Research Board No. 674*, 15-22.
- 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., 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.

- Pais, J., Amorim, S., & Minhoto, M. (2013). Impact of Traffic Overload on Road Pavement Performance. *J. Transp. Eng., ASCE*, 139(9), 873–879.
- 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 .
- 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.
- 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,.
- Rifai, A.I., Hadiwardoyo, S.P., Correia, G.A., 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.I, Hadiwardoyo, S.P., Correia, G.A., & Pereira, P. (2015). A Conceptual Model Decision Support System for Maintenance Optimization of Overload Highway Pavements under Financial Constraints. *Quailty In Research*. Lombok, Indonesia.
- 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.
- Saha, P., & Ksaibati, K. (2015). A risk-based optimisation methodology for pavement management system of county roads. . *International Journal of Pavement Engineering*, 1-11.
- Santos, J., & Ferreira, A. (2012). Pavement design optimization considering costs and M&R interventions. *Social and Behavioral Sciences* 53 , 1184 – 1193.

- Sayers, M., & Karamihas, S. (1995). The little book of profiling, UMTRI, In:Sayers W, editor. On the calculation of IRI from longitudinal road profile.
- Shahin, M. (1994). Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots-, New York: Chapman & Hall.
- 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.
- Tack, J., & Chou, E. (2002). Multiyear Pavement Repair Scheduling Optimization by Preconstrained Genetic Algorithm. *Journal of Transportation Research Board* No. 1816, 3-9.
- Terzi, S. (2006). Modeling the Pavement Present Serviceability Index of Flexible Highway Pavements Using *Data mining*. *Journal of Applied Sciences*, 193-197.
- 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.
- Tinoco, J., Correia, A., & 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.
- 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.
- Wang, F., Zhang, Z., & Machedehl, R. B. (2003). Decision Making Problem for Managing Pavement Maintenance and Rehabilitation Projects. 82nd TRB Meeting, (pp. 1-10). Washington D.C.,.
- Wang, X. Z. (2012). *Data mining* and knowledge discovery for process monitoring and control. Springer Science & Business Media.
- 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, 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., 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

INDEKS

- A**
- Algoritma, 26, 60
American Association of State Highway Officials (AASHO), 3
artificial intelligence (AI), 6
- B**
- Biaya pemeliharaan, 5
- C**
- cumulative equivalent standard axle, 4
- D**
- Distress, 26
- E**
- ESAL, 20, 21, 26, 27, 29, 58
- G**
- GSA, 29
- H**
- Highway Development and Management (HDM), 3
- Hyperparameter, 25
- I**
- Input, 26
Interpretasi, vii, 6, 23
- K**
- Kinerja, 4, 19, 59, 60
- M**
- MAD, 23, 59, 60, 61
MR, 19, 23, 26
Muatan berlebih, 5
- O**
- Optimasi, 1, 3, 4, vii, viii, 13, 39, 55, 63
- P**
- Penurunan kinerja jalan, 4, 6, 54
Pothole, 26
Prediksi, viii, 19, 56, 58, 64
- R**
- Relative importance, 25
RMSE, 23, 59, 60, 61

S

SA, 29
Script, 25
Sistem manajemen perkerasan,
3

T

Traffic, 26, 72

V

VEC, 26, 27, 28, 39, 40
Volume, 70

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 Doktorat 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 Institut Sain & Teknologi Nasional Jakarta, Universitas Mercubuana Jakarta, dan Universitas Majalengka. Dalam bidang industri konstruksi, secara aktif turut serta menyumbangkan pemikirannya melalui 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. Dalam bidang penelitian, sudah puluhan jurnal internasional yang dipublikasikan dan beberapa buku yang diterbitkan. Penggiat *goves* ini pun cukup sering menjadi pembicara dalam beberapa seminar nasional dan internasional yang diselenggarakan berbagai pihak.



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 tentunya 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 ditawarkan 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 pemeliharaan jalan lebih baik lagi.