

**Prof. Dr. Ir. Sigit P. HADIWARDYO, DEA**

# **Jalan dan Model Pengembangan Infrastruktur Transportasi**

**32 tahun bersama UI untuk Indonesia**

Editor: Dr. Andri IRFAN

Setting & Layout: Johan WAHYUDI

© 2018, Kuadran, Bandung

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

# Jalan dan Model Pengembangan Infrastruktur Transportasi

32 tahun bersama UI untuk Indonesia

## Kontributor

---

**Abdellaif BENABDELHAFID**

Universite du Havre, France

**Andri IRFAN**

Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR

**António Gomes CORREIA**

Universidade do Minho, Portugal

**Bambang SUSANTONO**

Asian Development Bank

**Eny YULIAWATI**

Badan Litbang, Kementerian Perhubungan

**Hamdi**

Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR

**Hedy RAHADIAN**

Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR

**Herry Trisaputra ZUNA**

Badan Pengatur Jalan Tol

**Hipolito MARTELL-FLORES**

Université de Technologie de Compiègne, France

**Imam SONNY**

Badan Litbang, Kementerian Perhubungan

**Jean-Louis BATOZ**

Université de Technologie de Compiègne, France

**Laurent CARNIS**

Institut français des sciences et technologies des transports,  
de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar)

**Lita Sari BARUS**

Universitas Esa Unggul

**Paulo António Alves PEREIRA**

The research Centre for Territory, Environment and Construction, Portugal

**R. Jachrizal SUMABRATA**

Fakultas Teknik Universitas Indonesia

**Susanty HANDAYANI**

Badan Pengelola Transportasi Jabodetabek

**Yusuf LATIEF**

Fakultas Teknik Universitas Indonesia

---

## Daftar Isi

---

Kata Pengantar .....	v
Sambutan Rektor Universitas Indonesia .....	vii
Daftar Isi .....	viii

---

### Bagian I Audit Kelayakan Jalan untuk Mengoptimasi Peran dan Fungsinya

1. Audit Kelayakan Jalan untuk Mengoptimasi Peran dan Fungsinya .....	1
Sigit Pranowo HADIWARDYO	

---

### Bagian II Model Pengembangan Infrastruktur Transportasi

2. Model Decision Support System Berbasis Data Mining, Optimasi Manajemen Perkerasan Jalan dengan Muatan Berlebih.....	25
Andri IRFAN, Sigit Pranowo HADIWARDYO, António Gomes CORREIA	
3. Pengembangan Model Kualitas Pelayanan Jalan Tol.....	67
Herry T. ZUNA, Sigit Pranowo HADIWARDYO, Hedy RAHADIAN	
4. Model Sistem Dinamis pada Optimasi Fasilitas Bandara Berdasarkan Prediksi Penumpang .....	95
Eny YULIAWATI, Sigit Pranowo HADIWARDYO, Bambang SUSANTONO, Laurent CARNIS	
5. Model Volatilitas Lalu Lintas Dinamis dengan Pendekatan Geometric Brownian Motion untuk Penjaminan Investasi Jalan Tol .....	131
Susanty HANDAYANI, Sigit Pranowo HADIWARDYO, Yusuf LATIEF, R. Jachrizal SUMABRATA	
6. The Development of a Freight Distribution Model for Connecting Inter-Island Freight Transport .....	175
Imam SONNY, Sigit Pranowo HADIWARDYO, Bambang SUSANTONO, Abdellaif BENABDELHAFID	
7. Contribution to the Intercity Modal Choice considering the Intracity Transport Systems: Application of an Adapted Mixed Multinomial Logit Model for the Jakarta-Bandung Corridor .....	221
Lita Sari BARUS, Sigit Pranowo HADIWARDYO, Jean-Louis BATOZ, Hipolito MARTELL-FLORES	

8. Pavement Maintenance Optimization Startegies for the National Road Network in Indonesia Applying Genetic Algorithm .....	261
Hamdi, Sigit Pranowo HADIWARDYO, António Gomes CORREIA, Paulo António Alves PEREIRA	

---

### **Bagian III Implementasi Keilmuan untuk Layanan Prima Transportasi Indonesia**

9. Implementasi Pemodelan Data Mining dan Genetic Algorithm untuk Pengembangan Jalan .....	293
Andri IRFAN, Sigit Pranowo HADIWARDYO	
10. Implementasi Model Peningkatan Pelayanan Transaksi Jalan Tol, Elektronifikasi Jalan Tol .....	311
Herry T. ZUNA, Sigit Pranowo HADIWARDYO	
11. Langkah Awal Pengembangan Konsep Transportasi Modern di Jabodetabek, Klinik Transit Oriented Development .....	321
Susanty HANDAYANI, Sigit Pranowo HADIWARDYO	

---

Profil Penulis .....	x
Kesan Para Sahabat dan Mitra Kerja .....	xii

---

# Implementasi Pemodelan Data Mining dan Genetic Algorithm untuk Pengembangan Jalan

## Tahapan Perencanaan, Pelaksanaan dan Pemeliharaan



**Andri IRFAN**

Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR

**Sigit Pranowo HADIWARDOYO**

Fakultas Teknik Universitas Indonesia

---

## 9.1 Pendahuluan

Jaringan jalan merupakan penghubung utama setiap kegiatan ekonomi yang melibatkan seluruh pihak pemangku kepentingan. Untuk mewujudkan tujuan tersebut, dalam beberapa tahun terakhir penambahan jaringan jalan di Indonesia terus dikembangkan. Mulai dari penyempurnaan jaringan jalan di perbatasan negara, penambahan kapasitas jalan, sampai dengan percepatan pembangunan jalan. Selain keutuhan jaringan jalan, tingkat layan jalan yang mumpuni diyakini mampu melayani lalu lintas besar dan menerus di dalam dan antar kota.

Rasio panjang jalan di Indonesia masih jauh tertinggal dibandingkan dengan negara lain. Padahal berbagai pihak meyakini bahwa ketersediaan infrastruktur memainkan peranan penting dalam pertumbuhan ekonomi nasional (Berawi, Zagloel, Miraj, & Mulyanto, 2017). Pertumbuhan infrastruktur transportasi sebagai kunci dalam meningkatkan pertumbuhan dan pembangunan. Dari sejumlah penyediaan infrastruktur, sektor infrastruktur transportasi memiliki pengaruh yang multidimensi terhadap pertumbuhan ekonomi sektor lainnya (Ansar, Flyvbjerg, Budzier, & Lunn, 2016). Sehingga untuk mewujudkan pertumbuhan yang menyeluruh, pemerintah harus memastikan ketersediaan infrastruktur transportasi yang andal dan memadai sehingga mampu memberikan peranan substansial dan menentukan, bagi produktivitas.

Pengembangan jaringan jalan dan penyediaan infrastruktur transportasi bukan merupakan hal baru, namun merupakan kegiatan berulang yang sudah berlangsung sejak lama. Setiap tahapan mulai dari inisiasi, perencanaan, pelaksanaan, operasional, dan pemeliharaan sudah dilakukan berulang dalam angka tak terhingga dan dilakukan pada setiap belahan dunia. Tentunya proses tersebut memiliki kondisi dan catatan tertentu pada setiap lokasi, dimensi waktu dan situasi yang berbeda. Sehingga, sangat wajar apabila catatan berupa data tersebut dapat dimanfaatkan dengan baik untuk perbaikan pada proses selanjutnya.

Namun, pemanfaatan catatan pada kegiatan-kegiatan pengembangan infrastruktur tidak sederhana dan memerlukan pendekatan khusus. Hal tersebut dapat disebabkan oleh tidak lengkapnya data yang diperlukan, tidak rapinya cara penyusunan data, jumlah data yang terlalu sedikit atau bahkan terlalu banyak, dan kesulitan dalam melakukan interpretasi terhadap data yang ada. Jumlah data yang sangat besar (*big data*) seperti

dua sisi mata uang; satu sisi memiliki potensi, satu sisi lagi memiliki kesulitan untuk menentukan interpretasi. Supaya dua sisi tersebut dapat berkompromi dan dapat dimanfaatkan dengan baik, maka diperlukan metoda terkini untuk melakukannya. Berbagai metoda pendekatan cukup berkembang sangat pesat, dapat dilakukan identifikasi dan pemetaan yang ideal untuk mendukung hal di atas.

Perkembangan pemanfaatan *big data*, *data mining (DM)*, *artificial intelligence*, dan sejenisnya memberikan tantangan tersendiri bagi para peneliti, analis dan praktisi untuk memanfaatkan sekumpulan big data dalam proses pengembangan infrastruktur jalan. DM merupakan salah satu metoda yang cukup banyak digunakan dalam melakukan interpretasi *big data* (Cortez, 2010). DM diyakini mampu memberikan informasi yang diperlukan melalui penyusunan algoritma dan analisa dari data yang dianggap penting. Data tersebut dapat berupa *sequence data*, *sequential data*, *time series*, *spatio-temporal* dan berbagai jenis data lainnya. Kelebihan DM dibandingkan metoda sejenis adalah mampu membaca berbagai kategori data dan kemudian menyajikan berdasarkan kaidah statistika yang baik serta dapat disajikan dengan sangat sederhana.

Kemampuan DM seperti yang disebutkan tersebut, dapat dimanfaatkan untuk membantu proses pengembangan jalan dengan baik melalui penguatan pemberian informasi yang tepat bagi para pemangku kepentingan di dalam mengambil keputusan. Dengan interpretasi yang tepat, maka proses inisiaasi sampai dengan tahapan operasional dan pemeliharaan dapat terukur dengan baik.

Untuk menyempurnakan proses pemodelan DM, implentasi optimasi cukup memegang peranan penting didalam menghasilkan solusi-solusi terbaik. Salah satu pendekatan optimasi yang memiliki kemudahan dan sinkron dengan DM adalah model *genetic algorithm (GA)* berbasis Bahasa R (*R language*). Pada bagian selanjutnya akan diuraikan berbagai studi kasus implementasi DM dan GA dalam pengembangan jalan, yang terdiri dari tahapan perencanaan, pelaksanaan, hingga pemeliharaan.

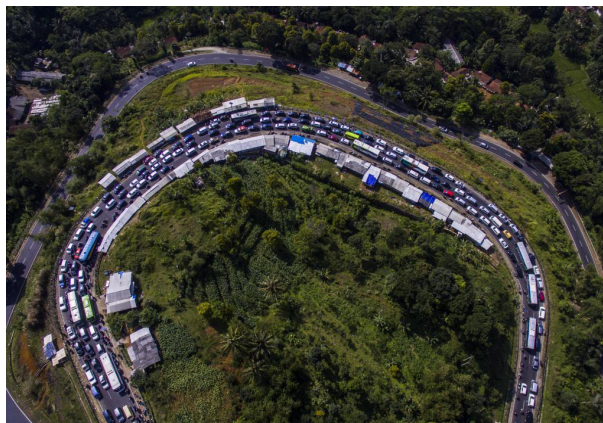
---

## **9.2 Tahapan Perencanaan: Studi Kasus Perencanaan Geometrik**

Dalam beberapa tahun terakhir, pengumpulan informasi tentang volume lalu lintas yang bersifat dinamis telah menjadi bagian yang sangat penting bagi program perencanaan jalan pada Direktorat Jenderal Bina Marga. Proses perencanaan yang baik adalah melakukan studi dan pemahaman yang purna terhadap seluruh informasi dan data yang ada di lapangan. Data dan berebagai kondisi yang didapatkan selanjutnya diolah untuk mengetahui kebutuhan teknis jalan yang akan dirancang saat ini serta prediksi terhadap waktu tertentu ke depan sesuai dengan target yang ditentukan. Karakter lalu lintas dan *trend*-nya menjadi hal mutlak yang harus dianalisa lebih lanjut, agar menghasilkan dokumen teknis perencanaan yang handal. Selanjutnya proses perencanaan diselaraskan dengan kondisi alam, medan, dan keadaan local lainnya guna menghasilkan desain yang tepat dan dapat diimplementasikan. Pada bagian ini akan diuraikan secara singkat kemampuan DM dalam memberikan informasi sederhana mengenai prediksi dan *trend* kondisi lalu lintas, penyesuaian kondisi geografis serta penyesuaian lainnya.

Pendekatan DM dapat memberikan rekomendasi spesifik tentang jumlah, aliran, dan *trend* dengan kualitas tinggi dalam bentuk informasi yang terintegrasi. Model yang dikembangkan merekomendasikan rancangan program analisa yang terdiri dari kombinasi penghitungan lalu lintas jangka pendek dan Analisa penghitungan lalu lintas permanen, yang ditujukan untuk mendapatkan pola lalu lintas harian rata-rata tahunan (*Annual Average Daily Traffic - AADT*), yang prediksinya dapat digunakan sebagai input utama dalam analisis desain perkerasan, *trend analysis*, *revenue study*, analisis kecelakaan, dan penelitian lain yang sangat penting. Perkiraan AADT didasarkan pada kedua jenis penghitungan: penghitungan durasi singkat memastikan keragaman dan cakupan geografis, sementara jumlah lalu lintas berkelanjutan membantu untuk memahami pola perjalanan *time of day*, *day of week*, dan musim. Karakter yang berbeda dari jalan yang sama, dari sudut pandang geometrik dan fungsional, didefinisikan, dan untuk setiap faktor penyesuaian kelompok dikembangkan untuk mengkonversi hitungan durasi pendek menjadi perkiraan akurat dari kondisi tahunan, menghilangkan bias temporal yang terjadi (Gecchelea, Rossia, Gastaldi, & Caprina, 2011).

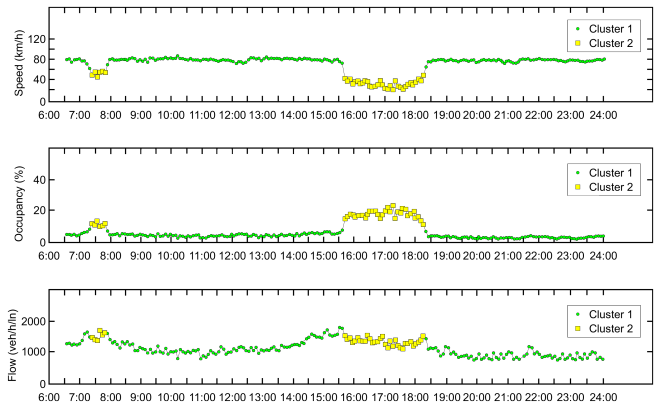
Untuk mendapatkan gambaran nyata dalam pemodelan, dipilih studi kasus arus lalu lintas pada jalan nasional arteri primer Bandung-Ciamis yang merupakan pilihan utama dari pusat Ibu Kota Jawa Barat menuju area selatan dan perbatasan Jawa Tengah memiliki karakter unik. Arus yang terjadi pada setiap lajur, setiap waktu harian, dan hari dalam minggu memiliki pola tertentu. Pada gambar 9.1 terlihat bahwa lajur yang disediakan cukup padat untuk arah tertentu, sementara arah lainnya terlihat sangat lenggang. Sedangkan pada kondisi lain, misalnya di malam hari atau di akhir pekan maka arus lalu lintas yang terjadi akan berbeda. Pola lalu lintas juga akan mengalami anomali pada saat libur sekolah, *long weekend*, libur lebaran dan kegiatan -kegiatan lain.



**Gambar 9.1.** Arus lalu lintas di jalan arteri nasional

Model DM yang dikembangkan dalam tahapan perencanaan ini, memungkinkan perencana dapat membaca berbagai kondisi lalu lintas dengan bentuk grafik yang dinamis. Sehingga para perencana dapat memperkirakan dengan lebih yakin mengenai *trend* kondisi lapangan seperti kecepatan, kepadatan, okupansi, dan lain hal lainnya. Bentuk bantuan grafik hasil Analisa DM dapat dilihat pada gambar 9.2. Pola lalu lintas yang dihasilkan dalam analisa DM tidak hanya bermanfaat bagi perencana, namun

apabila dapat ditayangkan dengan pendekatan yang lebih menarik maka para pengguna jalan pun akan lebih mudah untuk menemukan informasi tentang kondisi lalu lintas di masa mendatang, untuk mengetahui apa yang dapat mereka hadapi saat melakukan perjalanan. Oleh karena itu, analisa dan prediksi nilai perkiraan yang tepat dapat memberikan informasi tambah yang menarik bagi pengguna. Analisa perkiraan nilai densitas, kecepatan dan kepadatan dilakukan dengan mengidentifikasi pola evolusi parameter dan memproyeksikannya dengan kemampuan DM melalui *big data* yang tersedia (Raja, Bahuleyana, & Vanajakshia, 2016). Beberapa nilai densitas sebelumnya dapat digunakan sebagai input untuk memprediksi interval waktu berikutnya. Semakin rapat interval data yang dapat dijadikan input pada model DM terbangun maka output yang dihasilkan akan semakin baik dan semakin menarik untuk digunakan dalam penentuan perencanaan selanjutnya.



**Gambar 9.2.** Time series karakter lalu lintas

Selanjutnya tahap perencanaan yang sering menarik perhatian para pemangku kepentingan adalah kondisi alam dan *alignment* yang ditawarkan. Kondisi alam yang ada memberikan keuntungan dan tantangan yang berbeda pada setiap lokasi yang ada. Tantangan yang sering dihadapi di daerah Jawa Barat bagian selatan misalnya adalah medan berbukit dan pegunungan yang mengharuskan setiap perencana jeli melihat potensi teknis yang harus diambil.

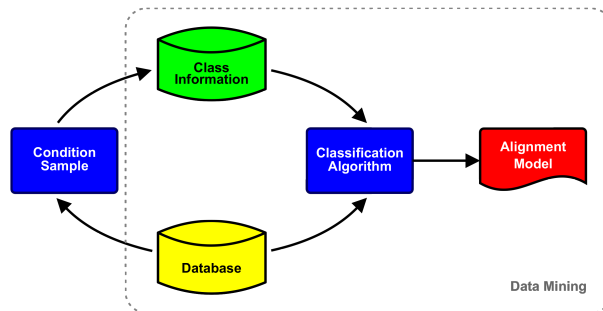


**Gambar 9.3.** Kondisi alam dan *alignment* di pegunungan



Pada gambar 9.3, terlihat *alignment* khas pegunungan Jawa Barat dengan berbagai *view* alam yang menarik sekaligus memberikan tantangan kepada para *engineer* untuk menentukan solusi teknik yang tepat. Selain bentuk morfologi permukaan medan, kondisi pergerakan tanah pun menjadi hal yang menarik.

Pemilihan desain dan *alignment* jalan melalui penyesuaian yang optimal adalah pendekatan multidisiplin, dengan kemungkinan terjadinya bertentangan pada tiap kepentingan. Masalahnya menjadi lebih kompleks karena jumlah solusi alternatif yang ada, kondisi alam yang meliputi geologi, geografi, kondisi tanah permukaan, curah hujan, aliran air permukaan, pilihan konstruksi, tata guna lahan dan berbagai kendala proyek lainnya. Berbagai kondisi tersebut harus secara tuntas dapat dirumuskan kemudian diambil solusi secara optimal. Pendekatan DM yang kemudian diikuti oleh optimasi dengan pendekatan GA berbasis R diyakini mampu memilih solusi perencanaan yang paling optimal. Pendekatan tersebut dapat dilihat secara sederhana pada skema berikut ini.



**Gambar 9.4.** Pendekatan optimasi perencanaan jalan

Berbagai pendekatan di atas dengan konsep utama DM dan GA adalah teknik yang sangat berguna dan efisien untuk memilih solusi alternatif yang memberikan kinerja terbaik dengan memperhatikan beragam kriteria yang ditetapkan oleh berbagai pihak yang terlibat dalam perencanaan. Pendekatan ini mampu memberikan berbagai informasi penting dan sekaligus menampilkan hierarki pengambilan keputusan yang menjadikan para pengambil kebijakan lebih mudah dalam memilih alternatif yang diberikan. Kehandalan kombinasi DM dan GA pun termasuk cukup baik, hal ini disebabkan oleh tersedianya bahasa pemrograman yang sama untuk dua model tersebut, salah satunya adalah Bahasa R.

### 9.3 Tahapan Pelaksanaan: Studi Kasus Pekerjaan Pemindahan Tanah Mekanis Proyek Jalan Tol

Jalan Tol merupakan bagian dari jalan nasional yang cukup diandalkan dalam menjaga kinerja jaringan jalan secara keseluruhan. Saat ini jumlah jalan tol beroperasi masih jauh dari angka ideal. Untuk mengejar ketertinggalan serta mencapai target panjang jalan tol, berbagai strategi dilakukan, salah satunya dengan melakukan pembangunan secara simultan di berbagai tempat. Sehubungan dengan hal tersebut, penyelenggara

pembangunan jalan tol dan seluruh pemangku kepentingan harus terus mengembangkan diri untuk mempertahankan, memperluas dan meningkatkan kinerja progress pembangunan. Proses pelaksanaan yang dilakukan secara simultan dan serentak dapat menimbulkan permasalahan tersendiri, salah satunya adalah keterbatasan sumber daya. Sebagai contoh penggunaan sumberdaya dalam pemindahan tanah mekanis memerlukan perhatian yang serius, karena kegagalan dalam tahap ini akan berdampak pada proses pembangunan secara keseluruhan (Pradhananga & Teizer, 2015).

Sumber daya yang diperlukan dalam pemindahan tanah mekanis terdiri dari metoda pelaksanaan, peralatan mekanis, manusia, dan biaya. Perkembangan teknologi dan metode konstruksi jalan mendorong semakin tingginya tingkat kebutuhan alat mekanis pada setiap proyek konstruksi. Alat mekanis merupakan sumber daya vital pada proyek konstruksi (Rashidi, Nejad, & Maghiar, 2014). Namun, biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan alat mekanik tidak murah. Oleh sebab itu, peranan manajemen konstruksi dalam bidang pemindahan tanah mekanis dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap efisiensi dan profitabilitas pada pekerjaan konstruksi. Untuk mengetahui tingkat efisiensi dan efektivitas sebuah alat mekanis diperlukan besaran yang dinyatakan dengan produktivitas alat. Produktivitas digunakan sebagai pedoman dalam menentukan durasi pelaksanaan setiap pekerjaan dan jumlah alat mekanis yang diperlukan. Berbagai faktor dapat mempengaruhi produktivitas suatu alat mekanis. Alat mekanis dikatakan produktif apabila selama jam kerja alat mekanis tersebut terus bekerja sesuai dengan fungsi dan tujuan alat mekanis tersebut

Salah satu langkah untuk mencapai tingkat produktivitas yang baik diperlukan sistem manajemen yang lebih baik agar semua sumberdaya yang dimiliki dapat diopimalkan. Melalui pendekatan terkini yang dibantu oleh matematika modern dan teknologi komputer, optimasi penggunaan alat mekanis dalam pemindahan tanah mekanis sebagai salah satu sumber daya untuk peningkatan sistem manajemen konstruksi dapat diimplementasikan secara lebih baik (Golparvar-Fard, Heydarian, & Niebles, 2013). Sistem manajemen peralatan mekanis pada pekerjaan jalan dilakukan secara berkesinambungan, mulai dari perancangan, perencanaan, pengembangan, operasional, pemeliharaan, sampai dengan pengendalian. Seluruh tahapan dalam siklus sistem manajemen konstruksi memiliki peranan yang sama pentingnya. Tahapan sistem manajemen peralatan mekanis memiliki pengaruh yang signifikan dalam menjaga kinerja manajemen konstruksi apabila dilakukan secara berkesinambungan dalam rentang waktu yang panjang. Hal tersebut dipengaruhi oleh sifat dan karakter kinerja peralatan mekanis yang dapat dipolakan dengan berbagai pendekatan data dan catatan historis lainnya.

Kinerja peralatan mekanis dapat berkurang sebanding dengan bertambahnya umur alat tersebut serta beban pekerjaan yang dilaksanakan (Sheikh, Lakshmipath, & Prakash, 2016). Pada umumnya umur peralatan mekanis ditetapkan berdasarkan jam operasi yang dihitung mulai dioperasikan sampai dengan pencatatan akhir. Penurunan kinerja peralatan mekanis dan produktivitasnya secara keseluruhan mengikuti fungsi pertambahan umur dan beban pekerjaan, perubahan kondisi lingkungan, serta kondisi lainnya (Montaser & Moselhi, 2014).

Pada dasarnya produktivitas akan mengalami penurunan fungsi sesuai dengan bertambahnya umur. Namun demikian, fungsi dan produktivitas peralatan mekanis sering mengalami penurunan sebelum umur rencana tercapai, akibat berbagai kondisi dalam masa operasi. Penurunan produktivitas peralatan mekanis 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, Solla, Martínez-Sánchez, & Arias, 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 konstruksi pada pemindahan tanah mekanis dengan peralatan mekanis yang lebih baik melalui interpretasi dan prediksi data yang akurat (Akhavian & Behzadan, 2013).

Data histori dari produktivitas dan efektivitas alat mekanis yang digunakan dapat dimanfaatkan untuk merencanakan pekerjaan selanjutnya melalui interpretasi dan prediksi yang akurat. 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. 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 manajemen konstruksi dan pekerjaan tanah dapat menggunakan AI sebagai alat bantu untuk mendapatkan pendekatan lebih baik dalam melakukan Analisa (Parente, Correia, & Cortez, 2014).

Berbagai atribut dalam sistem manajemen konstruksi dalam pemindahan tanah mekanis 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 konstruksi dalam pemindahan tanah mekanis, pelaksana perlu mempertahankan produktivitas setinggi mungkin dengan tetap menjaga biaya yang digunakan serendah mungkin dalam waktu bersamaan. Kedua *objective* yang bertentangan satu sama lain, karena untuk menjaga tingkat produktivitas peralatan mekanis yang tinggi diperlukan penambahan biaya, dan sebaliknya. Beberapa *objective*, baik yang muncul terpisah maupun secara bersama-sama tetap harus menjadi perhatian bagi pemegang keputusan.

Terakhir, sistem manajemen konstruksi 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

pemindahan tanah mekanis (Maksimychew, et al., 2016). Sehubungan dengan hal tersebut diperlukan pengembangan optimasi berbasis ketersediaan data yang sederhana dan mudah dipahami untuk menyempurnakan sistem manajemen konstruksi dalam bidang pekerjaan pemindahan tanah mekanis.

Selanjutnya untuk melihat potensi DM dalam tahapan pelaksanaan pemindahan tanah mekanis, digunakan *data series* dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Serpong Balaraja yang sudah mulai pada tahapan awal (gambar 9.5). Data tersebut diperlukan untuk melihat *trend* produktifitas alat mekanis serta potensi optimasi yang mungkin dilakukan. *Trend* yang tergambar dari proses DM, selanjutnya dapat dioptimasi dengan menggunakan pendekatan genetic algorithm (GA) melalui konsep pareto.



**Gambar 9.5.** Tahapan persiapan pekerjaan tanah proyek jalan

Berdasarkan uraian beberapa konsep di atas, pengembangan optimasi pemindahan tanah mekanis diperlukan untuk menjelaskan bagaimana sesungguhnya optimasi dan penentuan prioritas sebagai strategi peningkatan produktivitas peralatan mekanis dilaksanakan sejak awal pekerjaan dengan pemanfaatan DM. Pendekatan ini diharapkan menjadi alternatif untuk melengkapi beberapa konsep model lain yang sudah ada. Hasil optimasi tersebut harus mampu memberikan solusi perbaikan untuk penyempurnaan model optimasi, sekaligus sebagai bahan awal dalam penyusunan konsep DSS pemindahan tanah mekanis pada proyek konstruksi jalan tol yang lebih komprehensif.

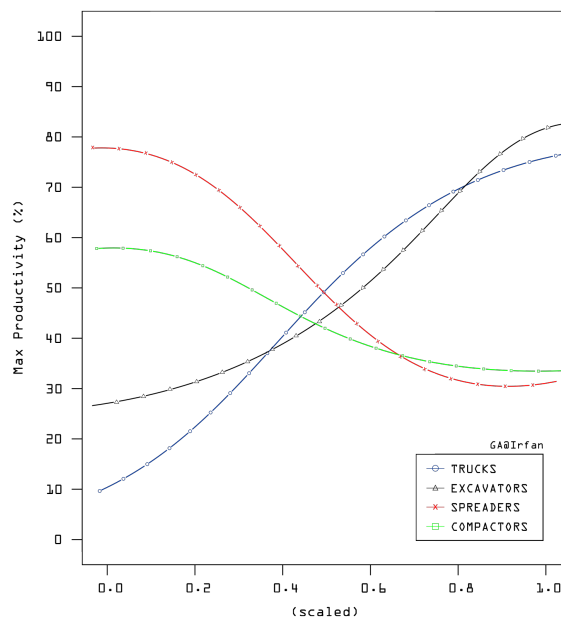
Pada tahapan awal penelitian dilakukan untuk mengembangkan model prediksi produktivitas peralatan mekanis dengan pendekatan DM, tanpa asumsi pembatasan apa pun yang mempertimbangkan data input secara keseluruhan. Melalui pertimbangan klasifikasi, pendekatan regresi, dan langkah evaluasi alternatif juga dapat dilakukan. Untuk regresi, proses evaluasi didasarkan pada perbedaan antara nilai yang diamati dan nilai estimasi (*error value*). Secara umum, semakin rendah nilai kesalahan, semakin baik model prediksi produktivitas peralatan kerja bumi, dimana kesalahan (nilai = 0) adalah nilai ideal yang ingin dicapai.

Pengembangan model ini diambil tiga pengukuran yaitu MAD, RMSE dan  $R^2$ . Model dengan nilai MAD dan RMSE terendah dan nilai  $R^2$  mendekati nilai maksimal dapat diartikan sebagai model dengan tingkat prediksi yang presisi. RMSE lebih sensitif terhadap nilai ekstrim dibandingkan dengan MAD, itu karena RMSE menggunakan nilai

kuadrat dari perbedaan antara hasil pengukuran dan hasil model yang diprediksi. Jika dibandingkan dengan MAD, RMSE lebih berpotensi menghasilkan nilai kesalahan yang lebih besar dalam sebuah model. Melihat perbedaan, mengukur nilai kesalahan melalui dua model akan memberikan perspektif yang berbeda pada model yang diusulkan sehingga dapat digunakan sebagai pembanding. Selain itu beberapa pilihan model dapat memberikan ruang kepada para engineer untuk mempertimbangan pendekatan lain.

Dalam bidang rekayasa, selain membutuhkan tingkat akurasi yang tinggi, diperlukan juga kemampuan interpretasi hasil pemodelan. Kemampuan interpretasi DM sangat dipengaruhi oleh kekuatan model data-driven untuk tujuan itu. Ketika DM diimplementasikan dengan algoritma Multi Regression (MR), Artificial Neural Network (ANN), dan Support Vector Machine (SVM) yang melibatkan ekspresi matematika kompleks, maka *data-driven* sebagai prosedur aplikasi yang disediakan harus dapat model yang baik. Dalam hal ini, interpretasi model dilakukan untuk mendapatkan input variabel pengukuran model prediksi produktivitas. Model ini disusun dengan tingkat kepercayaan 95% sesuai distribusi t-student. Semua model DM dengan MR, ANN dan SVM pada *training* algoritma menggunakan 4 atribut variabel masukan. Hasil pemodelan menunjukkan kapasitas prediksi semua hasil training cukup baik, dengan model diprediksi yang paling akurat adalah SVM.

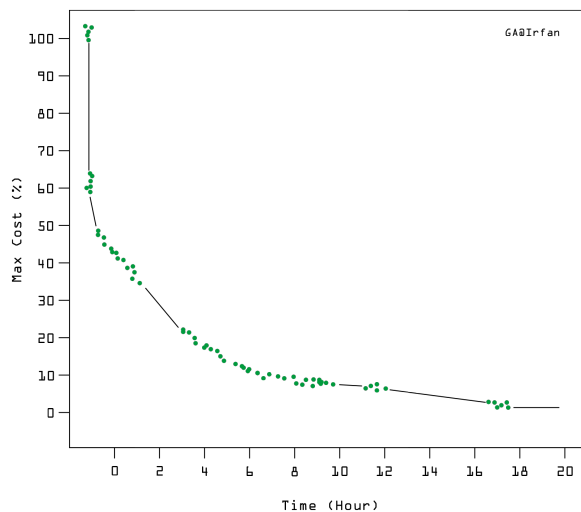
Selanjutnya model prediksi dapat dilanjutkan untuk melakukan pola produktivitas tiap peralatan mekanis melalui analisis VEC. Kurva VEC yang dihasilkan dapat menggambarkan pengaruh atribut utama yang bergerak secara dinamis dalam model prediksi produktivitas peralatan mekanis yang terdiri dari truk, ekskavator, spreader, dan compactor. Peningkatan produktivitas berikut alokasi peralatan yang disiapkan. Sebagai ilustrasi perubahan nilai produktivitas dalam model prediksi dapat dilihat pada gambar 9.6.



Gambar 9.6. Kurva VEC

Model produktivitas peralatan yang bersifat dinamis di atas, digunakan untuk melanjutkan optimasi alokasi peralatan dengan pendekatan solusi Pareto berbasis-DM. Solusinya disusun dengan optimalisasi nilai produksi dan besarnya biaya pemindahan mekanik. Hasil optimasi yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dapat digunakan sebagai solusi akhir. Optimasi dilakukan dengan berbagai skenario peralatan alokasi. Program alokasi peralatan mekanis yang optimal dipilih menggunakan pendekatan solusi Pareto. Model Pareto terpilih yang digunakan untuk membangun model optimisasi dapat dilihat pada gambar 9.7. Proses mendapatkan model solusi Pareto dilakukan secara bertahap dan berjenjang. Dimulai dengan mencari pola kejadian berulang, yang selanjutnya dikumpulkan untuk dipilih menjadi pola dengan pendekatan *generate*. Hasil melakukan *generate* terhadap beberapa skenario didapatkan pola pembentukan model yang paling optimal.

Dengan menggunakan model pilihan di atas, sistem ini mampu mencapai dampak baik yang tinggi dalam alokasi biaya dan durasi. Dari paparan singkat di atas, DM cukup memiliki potensi untuk digunakan dalam melakukan prediksi produktivitas, melakukan optimasi serta menyusun berbagai strategi dalam pelaksanaan pekerjaan jalan. Contoh kasus di atas memang untuk pekerjaan pemindahan tanah mekanis, namun pada prakteknya pola pekerjaan jalan secara umum dapat dilakukan pendekatan yang serupa dengan model tersebut. Seluruh pola penggunaan alat, material dan sumberdaya lainnya dapat dipolakan dan dipetakan secara terukur.



Gambar 9.7. Solusi Pareto

## 9.4 Tahapan Pemeliharaan: Studi Kasus *Long Segment Maintenance Contract*

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 pemangku kepentingan 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, Sun, & Chen, 2013). Hal tersebut dipengaruhi oleh sifat dan karakter struktur perkerasan jalan yang dapat dipolakan dengan berbagai pendekatan data dan catatan historis lainnya.

Dalam perkembangannya melalui berbagai proses ujicoba implementasi, Ditjen Bina Marga menerapkan menerapkan *Long Segment Maintenance Contracts (LSMC)* pada 2015 sebagai cara untuk meningkatkan standar pemeliharaan dan menggantikan pendekatan swakelola berbasis tenaga kerja langsung yang diterapkan sebelumnya. Kontrak-kontrak tersebut mencakup unsur kompensasi hasil yang merupakan hal fundamental dalam pendekatan *Performance Based Maintenance Contract (PBMC)* namun berdurasi lebih pendek. Oleh karenanya, beberapa kesulitan terkait dengan bentuk kontrak PBMC dapat dihindari. Diharapkan dengan LSMC ini, sistem manajemen perkerasan jalan di Indonesia semakin baik. Kinerja jalan yang menjadi parameter utama dalam mengukur keberlangsungan LSMC memerlukan perhatian khusus.

Kinerja jalan dapat berkurang seiring dengan bertambahnya umur perkerasan serta beban lalu lintas (Yuhong Wang, Wen, Zhao, Chong, & Wong, 2014) Penurunan kinerja jalan secara keseluruhan mengikuti fungsi penambahan volume dan beban lalu lintas, perubahan kondisi lingkungan, serta kondisi lainnya. Tahapan pemeliharaan bukanlah pekerjaan yang selesai dilakukan dalam sekali jalan, namun proses menerus dan berkesinambungan. Pemeliharaan dengan pendekatan LSCM ini mengembalikan pemahaman tentang cara merawat jalan secara fundamental. Para pengelola jalan dipaksa untuk kembali memahami dengan baik tentang apa, bagaimana, dimana, dan kapan melakukan pemeliharaan jalan yang baik dan benar.

Untuk mencapai tingkat layan jalan yang baik, seluruh bagian dan kelengkapan jalan harus dipelihara dengan rutin dan tepat. Salah satu langkah sederhana dan sering diabaikan adalah melakukan pembersihan bahu, memotong rumput, memastikan aliran air samping, mengarahkan limpasan air pada badan jalan, menghindarkan genangan air, menjaga grade, serta menghindarkan aliran air dari luar jalan ke badan jalan. Langkah-langkah tersebut sebenarnya cukup dilakukan secara praktis dengan cara melakukan pemotongan rumput dengan berkala. Sebagai negara yang memiliki potensi sumber daya manusia berlimpah, mestinya penggunaan tenaga pemeliharaan tidak menjadi masalah.

Kebijakan pemerintah pada tahun 2018 untuk mendorong keterlibatan masyarakat sekitar untuk secara aktif ikut serta dalam pemeliharaan jalan melalui program padat karya adalah salah satu langkah cerdas. Pada gambar 9.8 terlihat satu kelompok padat karya sedang melakukan pemeliharaan rutin dengan cara melakukan pemotongan rumput dan *grading* bahu metoda manual. Pada bagian lain, pekerjaan sejenis berupa normalisasi saluran samping, penyempurnaan tali air, pemadatan bahu terus dilakukan secara bertahap dan menerus. Harapannya kinerja jalan terus dapat dijaga, dan pekerjaan besar lainnya seperti *overlay* lapisan permukaan dapat terjaga dengan baik dengan dukungan pekerjaan-pekerjaan manual di bagian samping jalan.



**Gambar 9.8.** Pemeliharaan bahu jalan secara manual

Pengendalian dan pemeliharaan bahu, memegang peranan penting dalam menjaga kinerja lapis permukaan jalan. Dengan kondisi bahu yang baik aliran air samping akan terkendali, sehingga lapis permukaan jalan terutama perkerasan lentur akan terjaga dari kerusakan dini akibat genangan. Selain itu, fungsi bahu sebagai pendukung lajur lalu lintas akan tetap maksimal. Bahu dapat dimanfaatkan untuk menjaga keselamatan



pengguna jalan, untuk berhenti darurat dan sebagai dukungan jarak pandang serta kenyamanan para pengendara. Apabila kondisi bahu memerlukan penanganan lebih luas dan cepat, sementara penggunaan tenaga kerja secara manual tidak optimal, maka dalam LSCM ini dimungkinkan penggunaan alat mekanis, seperti dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 9.10.** Pemeliharaan bahu jalan dengan alat mekanis

Pada saat kondisi bahu sudah baik, maka selanjutnya pengendalian air pada seluruh bagian jalan, baik air limpasan badan jalan akibat hujan maupun air limpasan samping akibat sumber air lainnya harus secara seketika dialirkan melalui tali air, saluran samping dan bangunan pelengkap lainnya. Langkah pemeliharaan praktis dan sangat fundamental adalah melakukan pemeliharaan saluran secara berkala, baik manual maupun dengan peralatan mekanis. Idealnya saluran dibuat secara teknis dan permanen, namun apabila belum memungkinkan saluran pun dapat dibuat dan disesuaikan dengan kondisi alam, dengan syarat mutlak tetap dapat mengendalikan aliran air.



**Gambar 9.11.** Pemeliharaan saluran secara manual

Pada gambar 9.11 dapat dilihat proses pemeliharaan saluran dengan memanfaatkan potensi tenaga kerja secara manual. Terlihat seperti langkah kecil, namun akan berdampak sangat besar pada kinerja permukaan jalan. Kondisi saluran yang terpelihara secara tidak langsung dapat membantu menjaga muka air tanah tetap pada elevasi yang

diharapkan. Saluran samping pun dapat menjadi penjaga bernilai psikologis bagi para pihak untuk menjaga bagian jalan serta tidak memanfaatkannya di luar fungsi jalan itu sendiri. Masyarakat sekitar akan merasa sungkan melakukan aktifitas lain pada badan jalan apabila saluran terlihat baik, rapih dan berfungsi.

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. 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. Kerusakan-kerusakan pada badan jalan tidak terjadi begitu saja, namun akan diawali oleh indikasi awal. Terjadinya pothole misalnya, kemungkinan besar diawali oleh retakan-retakan kecil, depresi, atau perubahan bentuk visual lainnya. Proses pemeliharaan jalan mestinya tidak perlu menunggu sampai terjadinya kerusakan yang menyebabkan menurunnya kinerja jalan serta terganggunya tingkat pelayanan untuk para pengguna. Pada gambar 9.12 dapat dilihat implementasi pemeliharaan dan pencegahan kerusakan lanjut dengan metoda *slurry seal*.



**Gambar 9.12.** Pekerjaan slurry seal

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. Pendekatan teknik baru dan pemanfaatan teknologi terkini perlu dilakukan agar sekumpulan data yang telah dikumpulkan melalui pengukuran Indeks Pelayanan Jalan (IK) atau Performance Index (PI) dapat dimanfaatkan secara terstruktur dan terukur guna mendukung sistem manajemen perkerasan jalan yang lebih baik melalui interpretasi dan prediksi data yang akurat. Pada bagian ini akan dibahas secara

singkat bahwa pelaksanaan pemeliharaan jalan dapat didukung dengan implementasi DM. Proses implementasi akan diuraikan pada bagian berikut.

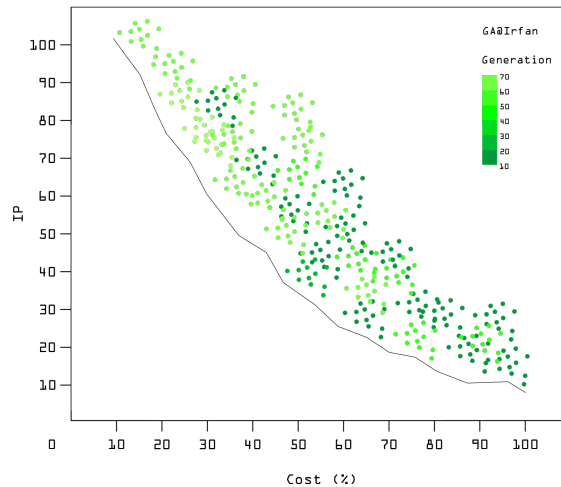
LMSC membutuhkan pergeseran kultur penyedia jasa. Kemampuan teknis dan inovasi penyedia jasa agar dapat kompetitif. Pola bisnis jasa konstruksi juga akan berubah dengan makin terintegrasinya tahap desain, konstruksi, operasi dan pemeliharaan. LMSC juga membutuhkan perubahan kultur pengguna jasa, mengingat sebagian resiko dapat terjadi karena perilaku pengguna jasa. Banyak asumsi yang digunakan dalam desain jalan dan jembatan dijaga melalui berbagai peraturan mengenai lalu-lintas angkutan jalan raya. Salah satu contoh penting adalah pembebanan lalu-lintas. Ketidaktaatan pengguna jalan pada aturan mengenai Muatan Sumbu Terberat (MST) akan menyebabkan ketidakpastian dalam desain kekuatan struktur jalan. Akibatnya, reliabilitas desain akan menurun yang berujung pada resiko *premature failure*.

Salah satu sasaran utama dari LMSC ini adalah berlangsungnya kegiatan pemeliharaan dalam upaya mempertahankan kondisi, kapasitas layanan jaringan jalan yang sudah dibangun sehingga dapat memenuhi kebutuhan pengguna maupun pemanfaat jalan. Melalui pekerjaan pemeliharaan kondisi jalan yang sudah ada dipertahankan agar tetap dalam keadaan mantap. Dengan demikian tingkat pelayanan minimal sesuai dengan Standar Pelayanan Minimal, juga umur rencana jalan dapat terpenuhi serta kinerja jalan akan dikembalikan seperti kondisi awal pada saat dibangun. Untuk dapat mempertahankan layanan jalan, mengefektifkan pemeliharaan jalan dan terjaminnya biaya pemeliharaan maka diperlukan suatu kontrak inovasi seperti kontrak berbasis kinerja, dalam penerapannya diharapkan kendala-kendala yang ada dapat terpecahkan.

Skenario pemeliharaan dalam kerangka LSCM dilakukan dengan iterasi memanfaatkan tools yang disediakan oleh *R-tools* pada DM dengan melakukan *simulation generation* berjenjang. Skenario pemeliharaan dilakukan bertahap secara berurut kemudian dikombinasikan untuk mencapai titik optimum yaitu yang disebut *Pareto optimality*. Pola optimasi dengan pendekatan Pareto dilakukan dengan melakukan transformasi dengan *first generation*. Hal ini sesuai dengan Teori Pareto, bahwa sebagian kecil (20%) dari faktor penyebab permasalahan memberikan potensi penyelesaian sebagian besar (80%) masalah. Dalam melakukan optimasi pemeliharaan jalan, dikenal indikator yaitu nilai IK. Diharapkan dengan memilih skenario pemeliharaan yang yang menjadi kelompok indeks berbasis Pareto, maka pola biaya pemeliharaan mampu membaca pergerakan nilai IP secara keseluruhan. Hasil first generation pendekatan parto dapat dilihat pada gambar 9.13.

Pola pemeliharaan serta pencatatan IP dilakukan secara berkala, menggunakan form laporan harian, laporan mingguan hingga laporan bulanan. Setiap laporan satuan waktu tersebut memiliki konsekwensi langsung terhadap kinerja pemegang kontrak. Sehingga menjadi ukuran penting bagi penyedia jasa dalam mengajukan progress pekerjaan. Apabila IP tidak tercapai pada setiap satuan waktu, maka penyedia jasa akan mendapatkan sanksi pengurangan progress dan pengurangan hak terhadap tagihan serta harus memperbaikinya dalam waktu segera dan seketika, yang kemudian akan diukur kembali pada kerangka waktu tertentu. Sebagian Index Performance dalam LSCM

dapat dilakukan pendekatannya dengan model perubahan IRI (International Roughness Index) pada pengukuran kinerja jalan secara umum. Perbaikan IRI akibat pola pemeliharaan dan optimasi yang terukur dapat dilakukan dengan pendekatan DM dan GA (Rifai et. al., 2015).



**Gambar 9.13.** Pareto optimality generation

Untuk menyederhanakan skenario optimasi ini dilakukan pendekatan kondisi jalan dengan dengan 4 jenis penanganan LSMC. Pemeliharaan dipilih dengan mencapai PI terbaik dan menggunakan anggaran tersedia. Gambar di atas memberikan ilustrasi mengenai pergerakan skala anggaran terhadap perubahan IP. Dengan pendekatan Pareto yang disediakan oleh optimx pada R, didapatkan pola kegiatan pemeliharaan tiap segmen serta prediksi nilai PI yang diprediksi pada masing masing ruas.

---

## 9.5 Daftar Pustaka

- Akhavian, R., & Behzadan, A. (2013). Knowledge-based simulation modeling of construction fleet operations using multimodal-process data mining. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(11), 04013021.
- 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.
- Ansar, A., Flyvbjerg, B., Budzier, A., & Lunn, D. (2016). Does infrastructure investment lead to economic growth or economic fragility? Evidence from China. *Oxford Review of Economic Policy*, 32(3), 360-390.
- Berawi, M., Zagloel, T., Miraj, P., & Mulyanto, H. (2017). Producing Alternative Concept for the Trans-sumatera Toll Road Project Development using Location Quotient Method. *Procedia Engineering*, 171, 265-273.

- 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.
- 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.
- Gecchelea, G., Rossia, R., Gastaldi, M., & Caprina, A. (2011). Data Mining Methods for Traffic Monitoring Data Analysis: A case study. *Procedia Social and Behavioral Sciences 20*, 455-464.
- Golparvar-Fard, M., Heydarian, A., & Niebles, J. (2013). Vision-based action recognition of earthmoving equipment using spatio-temporal features and support vector machine classifiers. *Advanced Engineering Informatics, , 27(4)*, 652-663.
- Maksimych, O., Ivakhnenko, A., Ostroukh, A., Ephimenko, D., Zbavitel, P., & Karelina, M. (2016). Technology of Monitoring and Control Algorithm Design for Earth-Moving Machine. *International Journal of Applied Engineering Research, 11(9)*, 6430-6434.
- Martinaz Diaz, M., & Perez, I. (2015). Mechanistic-empirical pavement design guide: features and distinctive elements. *Journal of Construction, 32-40*.
- Montaser, A., & Moselhi, O. (2014). Truck+ for earthmoving operations. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 19(25)*, 412-433.
- 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* .
- Pradhananga, N., & Teizer, J. (2015). Cell-based construction site simulation model for earthmoving operations using real-time equipment location data. *Visualization in Engineering, 3 (1)*, 12.
- Raja, J., Bahuleyana, H., & Vanajakshia, L. D. (2016). Application of data mining techniques for traffic density estimation and prediction. *Transportation Research Procedia 17*, 321 – 330.
- Rashidi, A., Nejad, H., & Maghiar, M. (2014). Productivity estimation of bulldozers using generalized linear mixed models. . *KSCCE Journal of Civil Engineering, 18(6)*, 1580-1589.
- Rifai, A., Hadiwardoyo, S. P., Correia, A. G., & Pereira, P. (2016). Genetic Algorithm Applied for Optimization of Pavement Maintenance under OverloadTraffic: Case Study Indonesia National Highway. *Applied Mechanics and Materials* ISSN: 1662-7482, Vol. 845, Trans Tech Publications, Switzerland, pp 369-378
- Sheikh, A., Lakshmipath, M., & and Prakash, A. ( 2016). Application of Queuing Theory for Effective Equipment Utilization and Maximization of Productivity in Construction Management. *International Journal of Applied Engineering Research, 11(8)*, 5664-5672.

- 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.
- 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.
- 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.