

Dr. Andri IRFAN



DATA MINING & DECISION SUPPORT SYSTEM

OPTIMASI PEKERJAAN TANAH KONSTRUKSI JALAN TOL



DATA MINING & DECISION SUPPORT SYSTEM

OPTIMASI PEKERJAAN TANAH KONSTRUKSI JALAN TOL

Dr. Andri IRFAN



DATA MINING & DECISION SUPPORT SYSTEM

OPTIMASI PEKERJAAN TANAH KONSTRUKSI JALAN TOL

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: Agustus 2021
15,5 cm x 23 cm

ISBN

978-623-6385-92-0

Penulis:

Dr. Andri IRFAN

Editor:

Nur Asih Wulandari, M. Pd.

Desain Cover:

Moushawi Almahi

Tata Letak:

Amar Al Farizi

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

Setiap orang mengucapkan ‘Jalan tol’ akan terdengar cukup menarik. Jenis jalan berbayar ini sangat dinantikan oleh berbagai kalangan, terutama bagi yang memerlukan fasilitas mobilitas yang tinggi. Bukan hanya calon pengguna yang tertarik membahas jalan tol namun semua pihak, termasuk para investor dan pemerintah daerah setempat. Harapan ‘jalan tol’ dapat mendorong pertumbuhan ekonomi melalui kemudahan mobilitas menjadi salah satu alasannya.

Saat ini panjang jalan tol yang beroperasi di Indonesia masih jauh tertinggal dibandingkan dengan negara lain. Padahal berbagai pihak meyakini bahwa ketersediaan infrastruktur memainkan peranan penting dalam pertumbuhan ekonomi nasional. 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 *stake holder* 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 sumber daya dalam pemindahan tanah mekanis memerlukan perhatian yang serius, karena kegagalan dalam tahap ini akan berdampak pada proses pembangunan secara keseluruhan.

Pekerjaan pemindahan tanah mekanis merupakan salah satu keilmuan tertua dalam rumpun ilmu Teknik sipil. Namun saat ini masih tetap menarik untuk terus dipelajari perkembangannya. Pada buku ini penulis mencoba menyampaikan bahwa pekerjaan pemindahan tanah adalah pekerjaan berulang dengan tantangan dan peluang yang hampir sama. Mestinya data dan informasi dari pekerjaan berulang ini dapat dimanfaatkan sebagai pembelajaran untuk pekerjaan sejenis lainnya. Buku ini mencoba mengupas secara

sederhana bagaimana data dan informasi tersebut dapat dimanfaatkan polanya menjadi sebuah pembelajaran untuk kegiatan berikutnya.

Tentu saja, pola data awal masih acak dan tidak beraturan serta sulit diinterpretasi. Sehingga melalui pendekatan arsitektur model yang disusun ditawarkan pemanfaatan data mining agar pola pembelajaran data dapat lebih teratur dan mudah diinterpretasi. Selain itu buku ini mencoba melengkapi pemahaman dasar dengan pengantar tentang kapasitas dan pola kerja peralatan berat yang jamak digunakan dalam pekerjaan ini. Pola gerak dan pola produktifitas tidak luput dari perhatian penulis dalam buku ini, guna memberikan pemahaman yang lengkap bagi para pembaca.

Sebagai bekal pemahaman teknis, penulis mencoba menguraikan berbagai metode pengumpulan data, pengolahan data dan cara analisisnya. Pendekatan data mining serta implementasinya dituliskan dalam Bahasa umum, dengan harapan semua pembaca dapat memahaminya dengan mudah. Pada bagian akhir diuraikan contoh penggunaan *rminer* sebagai *package R-Tools* untuk melakukan prediksi produktivitas. Kemudian akan ditutup dengan metode optimasi menggunakan pendekatan genetic algoritma.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada keluarga besar FT Universitas Indonesia, terutama kepada Prof. Yusuf Latief dan Lenny Sagita Riyanti, Ph.D yang telah membekali penulis dengan keilmuan manajemen konstruksi. Begitu juga ucapan terima kasih kepada Badan Pengatur Jalan Tol yang memberikan dukungan kepada penulis dalam mengumpulkan dan mengolah data sebagai studi kasus. Terakhir penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Universitas Internasional Batam yang memberikan dukungan pendanaan dan kesempatan dalam menulis buku ini.

Semoga buku ini bermanfaat!

Dr. Andri IRFAN

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TENTANG BUKU	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi

BAGIAN 1

PENGANTAR	1
-----------	---

BAGIAN 2

PEMINDAHAN TANAH MEKANIS	7
A. Produktivitas Pemindahan Tanah Mekanis	10
B. Sifat Fisik Material	12
C. Kondisi Tempat Kerja Dan Iklim (<i>Climate Condition</i>)	13
D. Jalan Angkut, Kemiringan, dan Jarak	14
E. Waktu Edar (<i>Cycle Time</i>) Alat	18
F. Produksi dan Alat Angkut	20
G. Optimisasi Produktifitas Pemindahan Tanah Mekanis	21

BAGIAN 3

DATA MINING	25
A. Pendekatan <i>Artificial Intillegence</i>	30
B. <i>Geographical Information System</i>	32
C. Konsep Pendekatan <i>Multi Objective Optimization</i>	33

BAGIAN 4	
DECISION SUPPORT SYSTEM	37

BAGIAN 5	
OPTIMALISASI PRODUKTIVITAS	41
A. Studi Kasus Implementasi Model	42
B. Analisa Produktivitas <i>Excavator</i>	43
C. Analisa Produktivitas <i>Dumptruck</i>	46
D. Analisa Produktivitas <i>Spreading</i>	47
E. Analisa Produk Pemasatan	49
F. Analisa Model Prediksi	
Produktivitas Peralatan Mekanis	50
G. Tahapan <i>Learning</i> dan Test Pemodelan	52
H. Interpretasi Model	53
I. Validasi Model	55
J. Arsitektur Model	57
K. Kontribusi Variabel	59

BAGIAN 6	
PENGEMBANGAN DECISION SUPPORT SYSTEM	65
A. Prediksi Produktivitas Peralatan Mekanis	66
B. Penyusunan Model DSS	68
C. Penyusunan Model Produktivitas	
Peralatan Pemindahan Tanah Mekanis	71
D. Penyusunan Model Dss	
Optimasi Pemindahan Tanah Mekanis	74
E. Definisi <i>Objective Functions</i> dan <i>Constraint</i>	78
F. <i>Project Cost Minimization</i>	80
G. Uji Model Optimasi	80
H. Simulasi Numerik Optimasi	82
I. Spatial Modul	86
J. Visualisasi	89

BAGIAN 7	
PENUTUP	93
DAFTAR PUSTAKA	95
GLOSARIUM	101
INDEKS	102

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Distribusi Group Efisiensi Excavator	45
Tabel 5.2	Hasil Simulasi Produktivitas Buldozzer	48
Tabel 5.3	<i>Error Metrics</i> Model DM	55
Tabel 5.4	<i>Relative Importance</i> Atribut dengan Model ANN	60
Tabel 6.1	Modul, Teknologi dan Fungsi	70
Tabel 6.2	Perbedaan DSS dan EDT	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	<i>Literature Map</i>	26
Gambar 3.2	DM Task	28
Gambar 3.3	Perkembangan <i>Artificial Intelligence</i>	31
Gambar 3.4	Konsep <i>pareto-optimality</i>	34
Gambar 3.5	<i>Pareto-front sorting</i>	35
Gambar 5.1	Histrogram Penggunaan <i>Machine Power Excavator</i>	44
Gambar 5.2	Histrogram Penggunaan Sudut <i>Swing</i>	44
Gambar 5.3	Distribusi <i>Cycle Time Dumptruck</i>	47
Gambar 5.4	Distribusi Dan Variasi Efisiensi Spreader	48
Gambar 5.5	<i>Scatterplot Compactor Predicted</i>	50
Gambar 5.6	Paramenter Produktivitas Alat Penggalian	51
Gambar 5.7	Scatterplot <i>Learning Stage</i> Pemodelan ANN	56
Gambar 5.8	<i>Scatterplot Validate Stage</i> Pemodelan SVM	57
Gambar 5.9	Arsitektur Model ANN	58
Gambar 5.10	Kurva VEC	62
Gambar 6.1	<i>Relative Importance</i> Setiap Atribut	66
Gambar 6.2	Algoritma Genetik dan Interaksi dengan Fungsi Kesesuaian	77
Gambar 6.3	Uji Model	81
Gambar 6.4	Kurva REC Pemilihan Jenis Optimasi	82
Gambar 6.5	Optimasi Pareto	84
Gambar 6.6	Hasil Optimasi	84
Gambar 6.7	Alokasi Kelompok Peralatan Mekanis	85
Gambar 6.8	Definisi dan Rule Pergerakan Peralatan Mekanis	88
Gambar 6.9	<i>Capture DSS</i> Optimasi Pekerjaan Pemindahan Tanah	89

Gambar 6.10 Visualisasi Histori Data	
Pekerjaan Pemindahan Tanah	90
Gambar 6.11 Konsep Alokasi Alat dan Pemilihan Rute	91

PENGANTAR

Jaringan jalan nasional 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 tol. Sebagai salah satu pendukung keutuhan jaringan jalan nasional, jalan tol diyakini mampu melayani lalu lintas besar dan menerus di dalam kota dan antar kota.

Panjang jalan tol yang beroperasi 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.

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 *stake holder* 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 sumber daya 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 metode 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 sumber daya yang dimiliki dapat dioptimalkan. 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, & and 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. *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 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* 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 (Maksimychev, 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.

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. Melalui pemahaman sederhana, diharapkan pendekatan baru dapat tersusun usulan model prediksi produktivitas peralatan mekanis melalui pemanfaatan ketersediaan data histori. Selain itu dapat pula disusun pengembangan *decision support system* optimasi peralatan mekanis dengan pertimbangan MOO.

***PEMINDAHAN TANAH
MEKANIS***

Pemindahan tanah mekanis adalah semua pekerjaan yang berhubungan dengan kegiatan penggalian (*digging, breaking, loosening*), pemuatan (*loading*), pengangkutan (*hauling, transporting*), penimbunan (*dumping, filling*), perataan (*spreading, leveling*) dan pemadatan (*compacting*) tanah atau batuan dengan menggunakan alat-alat mekanis (alat-alat berat/besar) (Alshibani & Moselhi, 2016). Pekerjaan-pekerjaan itu banyak terlihat di bidang pekerjaan/bangunan sipil, seperti: pembuatan jalan raya, dam-dam, tanggul, saluran irigasi, kanal, lapangan terbang, dan lain sebagainya.

Meskipun diberi nama pemindahan tanah mekanis, sebenarnya tidak hanya terbatas pada tanah (*soil*) saja, tetapi kadang-kadang juga berhubungan dengan batuan (*rock*) dan memang alat-alat mekanis yang akan dibicarakan juga tidak saja sanggup untuk “melayani” tanah, tetapi juga dapat dipakai untuk “melayani” batuan (Vahdatikhaki & Hammad, 2014). Yang dimaksud dengan tanah disini adalah bagian teratas dari kulit bumi yang relatif lunak, tidak begitu kompak dan terdiri dari butiran-butiran lepas. Sedangkan yang dimaksud dengan batuan adalah bagian kulit bumi yang lebih keras, lebih kompak dan terdiri dari kumpulan mineral pembentuk batuan tersebut.

Oleh karena perbedaan kekerasan dari material yang akan digali sangat bervariasi, maka sering dilakukan penggolongan-penggolongan berdasarkan mudah-sukarnya digali dengan peralatan pemindahan tanah mekanis (Markiz & Jade, 2016). Adapun salah satu cara penggolongan material tersebut adalah:

1. Lunak (*soft*) atau mudah digali (*easy digging*), misalnya :
 - a. Tanah atas atau tanah pucuk (*top soil*).
 - b. Pasir (*sand*).
 - c. Lempung pasir (*sandy clay*).
 - d. Pasir lempungan (*clayey sand*).
2. Agak keras (*medium hard digging*), misalnya :
 - a. Tanah liat atau lempung (*clay*) yang basah dan lengket.
 - b. Batuan yang sudah lapuk (*weathered rocks*).

3. Sukar digali atau keras (*hard digging*), misalnya :
 - a. Batu sabak (*slate*).
 - b. Material yang kompak (*compacted material*).
 - c. Batuan sedimen (*sedimentary rocks*).
 - d. Konglomerat (*conglomerate*).
 - e. Breksi (*breccia*).
4. Sangat sukar digali atau sangat keras (*very hard digging*) atau batuan segar (*fresh rocks*) yang memerlukan pemboran dan peledakan sebelum dapat digali, misalnya :
 - a. Batuan beku segar (*fresh igneous rocks*).
 - b. Batuan malihan segar (*fresh metamorphic rocks*).

Macam-macam material ini juga akan dapat berpengaruh terhadap faktor pengisian (*fill factor*) dan faktor pengembangan (*swell factor*) dari tanah/batuan yang digali. Penggunaan alat-alat berat yang kurang tepat dengan kondisi dan situasi lapangan pekerjaan akan berpengaruh berupa kerugian antara lain rendahnya produksi, tidak tercapainya jadwal/target yang telah ditentukan, atau kerugian biaya perbaikan dan pemeliharaan yang tidak semestinya.

Dalam pembangunan jalan, proses pemindahan tanah mekanis melibatkan sejumlah kegiatan, mulai dari penggalian dan pemilihan material, pengangkutan dan penghamparan dalam kondisi dengan memperhatikan geometri yang memadai. Selanjutnya proses pemadatan dengan peralatan yang dipilih agar memenuhi tujuan akhir dan persyaratan mutu. Proses ini memungkinkan terjadinya penyimpangan akibat beberapa faktor yang berbeda, seperti: manajemen yang buruk, penggunaan material yang kurang baik, tata letak dan penentuan rute transportasi yang kurang efisien.

Selanjutnya adalah pekerjaan penimbunan yang dapat didefinisikan sebagai kegiatan meletakkan atau menambah volume material yang sejenis atau material lain dengan tujuan untuk meratakan permukaan yang berupa lubang sebelumnya atau meninggikan elevasi permukaan untuk mendapatkan kondisi permukaan tanah yang lebih baik. Timbunan biasanya perlu dilakukan untuk memenuhi syarat kemiringan jalan. Sedangkan timbunan sendiri

yakni material yang ditempatkan diatas kondisi tanah asli sebelumnya. Pekerjaan timbunan yang sering kita jumpai dalam kegiatan konstruksi sipil antara lain persiapan pembangunan jalan, persiapan lahan untuk bangunan di lokasi tanah lunak, pembuatan tanggul, bendungan, kegiatan reklamasi pantai, dan lain sebagainya. Tipe-tipe timbunan dibagi menjadi: *Common Embankment*, *Selected Embankment*, *Selected Embankment for Swampy Areas*, dan *Granular Structural Fill*

1. *Common Embankment* yakni penimbunan biasa yang dilakukan tanpa prosedur khusus lanjutan.
2. *Selected Embankment* yakni penimbunan yang ditujukan untuk perbaikan daya dukung tanah subgrade atau perbaikan struktur lereng. Penimbunan ini juga dapat digunakan pada area yang mempunyai kadar air tinggi atau tempat serupa dimana jika menggunakan material plastis *common embankment* akan sulit untuk dipadatkan dengan hasil memadai. Proses pemadatan untuk timbunan ini membutuhkan prosedur yang teliti dan diperhitungkan sebelumnya.
3. *Selected Embankment for Swampy Areas* yakni penimbunan yang diperlukan untuk menutup genangan air pada daerah rawa atau sejenisnya. Metode ini ditujukan untuk menurunkan level muka air tanah yang tidak bisa dikeringkan pada daerah rawa tersebut.
4. *Granular Structural Fill* digunakan untuk drainase pada timbunan, material yang digunakan biasanya koral dengan ukuran kecil yang dapat diresapi air secara mudah dan cepat.

A. PRODUKTIVITAS PEMINDAHAN TANAH MEKANIS

Berdasarkan konsep teknik, produktivitas adalah rasio dari output yang dihasilkan dari tiap sumber daya yang digunakan (*input*) dibandingkan menjadi sebuah rasio yang pada suatu waktu dengan kualitas sama atau meningkat. Dalam proyek konstruksi, rasio produktivitas adalah nilai yang diukur selama proses konstruksi, dapat dipisahkan menjadi biaya tenaga kerja, material, biaya, metode dan alat. Sukses dan tidaknya proyek konstruksi tergantung pada efektifitas pengelolaan sumber daya (Sheikh, Lakshmipath, & and Prakash, 2016).

Dalam sebuah sistem umumnya dibutuhkan "sesuatu" yang berfungsi menjalankannya, yaitu organisasi. Efektivitas organisasi merupakan modal utama untuk menggerakkan subsistem yang ada didalamnya. Faktor manusia menjadi penentu untuk mencapai tingkat produktivitas yang ditetapkan. Untuk mendapatkan tingkat produktivitas yang diinginkan dan meminimalkan segala resiko yang mungkin terjadi serta mengutamakan keselamatan dan kesehatan kerja, para pimpinan harus memahami kemampuan dan keterbatasan yang diakibatkan oleh kondisi lokasi proyek (Assefa Tschayae & Robinson Fayek, 2016).

Menurut pendekatan lain, produktivitas adalah kemampuan alat dalam satuan waktu (m^3/jam), dan alat berat merupakan faktor penting di dalam proyek terutama proyek-proyek konstruksi dengan skala yang besar. Tujuan penggunaan alat-alat berat tersebut untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan pekerjaannya sehingga hasil yang diharapkan bisa tercapai dengan lebih mudah dengan waktu yang relatif singkat. Produktivitas alat tergantung pada kapasitas, waktu siklus alat, dan efisiensi alat. Siklus kerja dalam pemindahan material merupakan suatu kegiatan yang dilakukan berulang. Waktu yang diperlukan dalam siklus kegiatan diatas disebut waktu siklus. Waktu siklus sendiri terdiri dari beberapa unsur, waktu yang diperlukan di dalam siklus kegiatan disebut waktu siklus atau *Cycle Time* (Koo, Hong, & Kim, 2015).

Waktu muat merupakan waktu yang dibutuhkan oleh suatu alat untuk memuat material ke dalam alat angkut sesuai dengan kapasitas alat angkut tersebut. Kemudian waktu angkut atau *hauling time*, merupakan waktu yang diperlukan oleh suatu alat untuk bergerak dari tempat permuatan ke tempat pembongkaran (Ashish & Pardeep, 2016). Waktu angkut tergantung dari jarak angkut, kondisi jalan, tenaga alat, dan lain-lain. Pada saat kembali ke tempat permuatan maka waktu yang diperlukan untuk kembali disebut *return time* (Subramani & Rajiv, 2016). Waktu kembali lebih singkat daripada waktu berangkat karena kendaraan dalam keadaan tidak ada muatan.

Pada akhir masa konstruksi, biasanya produktivitas cenderung menurun, terutama disebabkan oleh kurang tepatnya perencanaan.

Misalnya masa kontrak kerja belum berakhir sedangkan pekerjaan sudah menipis, sehingga terjadi kelebihan tenaga kerja; Sikap mental atau semangat yang mengendur karena melihat pekerjaan mulai berkurang dan belum tentu tersedia lapangan kerja berikutnya; dan terlambatnya demobilisasi, yang sering dijumpai penyelia menahan pekerja yang berlebihan dengan menunggu sampai hasil kerjanya meyakinkan.

Sehingga tujuan awal penggunaan alat berat tetap dapat tercapai, dengan melaksanakan proyek-proyek yang dikerjakan dengan alat berat yang optimal. Pada saat suatu proyek akan dimulai, kontraktor akan memilih alat berat yang akan digunakan di proyek tersebut. Tujuan penggunaan alat-alat berat tersebut untuk memudahkan pekerja dalam mengerjakan pekerjaannya sehingga hasil yang diharapkan dapat tercapai dengan mudah pada waktu yang relatif lebih singkat.

Sehubungan dengan pekerjaan pemindahan tanah mekanis pada proyek konstruksi jalan tol, produksi alat angkut dalam hal ini *haul truck* secara garis besar dipengaruhi oleh kondisi lapangan dan kemampuan (*performance*) dari alat berat tersebut, yang dapat diuraikan pada bagaian di bawah ini.

B. SIFAT FISIK MATERIAL

Material yang dimaksud disini adalah meliputi tanah dan batuan yang ada di areal pekerjaan, penting untuk mengetahui dari sifat fisik material tersebut karena dapat mempengaruhi produksi dari alat yang digunakan yaitu mudah tidaknya material untuk ditangani nantinya. Adapun sifat fisik material yang perlu diketahui yaitu:

Berat Material

Berat adalah suatu sifat yang dimiliki oleh setiap material, kemampuan angkut dari alat angkut sangat dipengaruhi oleh berat material tersebut. Pada umumnya setiap alat angkut memiliki batasan kapasitas, volume tertentu, sehingga berat dari material perlu diketahui. Berat material yang dimaksud di sini adalah berat total

material persatuan volume total.

Pengembangan dan Penyusutan Material

Pengembangan dan penyusutan material adalah perubahan (penambahan atau pengurangan) volume material, apabila material tersebut diganggu dari bentuk aslinya. Di alam, material didapati dalam keadaan padat dan terkonsolidasi dengan baik, sehingga hanya sedikit bagian - bagian kosong yang terisi udara di antara butir - butirnya. Sehingga apabila material yang ada di alam tersebut dibongkar, maka akan terjadi pengembangan volume (*swell*). Untuk menyatakan berapa besarnya pengembangan volume tersebut dikenal dua istilah yaitu *swell factor* dan *percent factor*. Pengembangan volume suatu material perlu diketahui karena yang diperhitungkan pada penggalian selalu didasarkan pada kondisi material aslinya yang dinyatakan dalam bank volume atau volume *insitu*, sedangkan material yang ditangani adalah material yang telah mengalami pengembangan (*loose volume*).

Persamaan untuk menghitung *swell factor* dan *prosentase swell* berdasarkan kerapatan (*density*) material adalah sebagai berikut :

$$\% \text{ swell} = \left(\frac{\text{density in bank} - \text{loose density}}{\text{loose density}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{swell factor} = \frac{\text{loose density}}{\text{density in bank}} \dots\dots\dots (2)$$

C. KONDISI TEMPAT KERJA DAN IKLIM (*CLIMATE CONDITION*)

Kondisi tempat kerja di lapangan dapat mempengaruhi produksi alat angkut yang digunakan. Kondisi tempat kerja yang luas, aman dan nyaman akan membuat kelancaran dan keleluasaan gerak alat angkut, sehingga produksi dari alat tersebut dapat lebih maksimal karena semakin kecil waktu tempuhnya.

Sedangkan pengaruh cuaca pada suatu daerah kerja (dimana akan berlangsung penggunaan peralatan mekanis) perlu diketahui,

karena akan dipakai untuk memperkirakan dalam satu tahun hujan selama beberapa hari. Perlu dipahami bahwa pada waktu hujan penggunaan peralatan mekanis tidak dapat efektif. Di samping itu pada waktu hujan lebat, tidak dapat dipergunakan peralatan mekanis karena tanah menjadi becek dan peralatan mekanis tidak dapat bekerja dengan baik. Sebaliknya pada musim panas akan timbul banyak debu yang dapat membuat kondisi kerja menjadi tidak nyaman.

Faktor iklim sangat berpengaruh terhadap produksi pekerjaan tanah pada proyek konstruksi jalan tol karena langsung berhubungan dengan udara luar sehingga perubahan iklim yang terjadi dapat mempengaruhi terhadap efisiensi kerja.

D. JALAN ANGKUT, KEMIRINGAN, DAN JARAK

Keadaan jalan, kemiringan dan jarak akan mempengaruhi daya angkut dari alat - alat angkut yang dipakai. Bila jalan dalam kondisi baik, kapasitas angkut dapat lebih besar dan alat - alat dapat bergerak lebih cepat. Kemiringan dan jarak harus diukur dengan teliti, karena hal tersebut akan menentukan waktu edar yang diperlukan untuk pengangkutan material (*cycle time*). Kemiringan jalan, jarak dan kondisi jalan (lebar dan kekuatannya) perlu direncanakan dengan baik sehingga pengangkutan material dapat lebih maksimal dan mengurangi ongkos pengangkutan.

Jalan Angkut (*Haul Road*)

Jalan angkut pada lokasi pekerjaan sangat berpengaruh terhadap kelancaran operasi pengangkutan material. Perhitungan lebar jalan angkut didasarkan pada lebar kendaraan terbesar yang dioperasikan. Semakin lebar jalan angkut maka operasi pengangkutan akan semakin lancar dan aman. Jalan angkut harus dilihat keberadaannya, apakah jalan tersebut becek, kuat atau cukup kasar permukaannya. Hal ini harus ditinjau karena keberadaan jalan angkut akan mempengaruhi besar kecilnya *rolling resistance* (RR) yang ditimbulkan jalan angkut terhadap roda/ ban alat angkut tersebut. Lebar jalan angkut menggunakan rumus sebagai berikut:

$$L = n \times Wt + (n + 1) \left(\frac{1}{2} Wt \right) \dots\dots\dots (3)$$

Di mana :

L = Lebar jalan angkut minimum (meter)

n = Jumlah jalur jalan angkut

Wt = Lebar alat angkut total (meter)

Kemiringan (*Grade*) Jalan Angkut

Kemiringan jalan angkut berhubungan langsung dengan kemampuan alat angkut baik dalam mengatasi tanjakan maupun dalam pengereman pada saat alat angkut berisi muatan maupun dalam keadaan kosong. Kemiringan jalan angkut dinyatakan dalam persen (%). Dalam pengertiannya kemiringan (α) 1 % berarti jalan tersebut naik atau turun 1 meter atau 1 ft untuk setiap jarak mendatar sebesar 100 meter atau 100 ft. Kemiringan (*grade*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$grade = \frac{\Delta h}{\Delta x} \cdot 100\% \dots\dots\dots(4)$$

Di mana :

Δh = Beda tinggi antara dua titik yang diukur

Δx = jarak datar antara dua titik yang diukur

Jarak Angkut (*Distance*)

Jarak angkut juga harus diperhatikan dalam menentukan kecepatan laju alat angkut tersebut. Kecepatan laju alat angkut makin cepat, maka produksi (*output*) alat angkut semakin besar pula. Sebaiknya *loading point* jaraknya tidak terlalu jauh dari tempat *dumping point*-nya.

Ketersediaan Alat

Salah satu hal yang mempengaruhi produksi dari alat angkut dalam pekerjaan pemindahan tanah adalah masalah kesediaan (*availability*) alat. Ketersediaan alat merupakan faktor yang menunjukkan kondisi alat angkut yang digunakan dalam melakukan pekerjaan dengan memperhatikan kehilangan waktu selama waktu kerja dari alat yang tersedia. Untuk itu perlu diperhatikan faktor - faktor sebagai berikut:

Kesediaan Mekanis (*Mechanical Availability*)

Kesediaan mekanis adalah faktor yang menunjukkan kesediaan alat untuk melakukan pekerjaan dengan memperhitungkan waktu yang hilang karena kerusakan atau gangguan yang terjadi pada alat tersebut (*mechanical reason*). Kesediaan mekanis merupakan perbandingan waktu kerja alat dengan jumlah waktu kerja alat dan waktu perbaikan alat. Persamaan untuk kesediaan mekanis (*mechanical availability*) adalah sebagai berikut:

$$MA\% = \frac{W}{W+R} 100\% \dots\dots\dots (5)$$

Di mana :

MA = *Mechanical availability* (%)

W = *Working hours*

R = *Repair hours*

Working hours didefinisikan sebagai waktu yang dihitung dari operator/ *crew* berada pada suatu alat dan alat tersebut berada dalam kondisi *operable* (siap digunakan untuk beroperasi), dan termasuk di dalamnya adalah *delay time* yaitu waktu-waktu untuk pulang pergi ke *front* kerja, pindah tempat, pelumasan dan pengisian bahan bakar, waktu untuk menunggu peledakan dan lain-lain. *Repair hours* atau jumlah jam untuk perawatan merupakan waktu untuk perbaikan dan waktu yang hilang karena menunggu saat perbaikan termasuk juga waktu untuk penyediaan suku cadang (*spare parts*) serta waktu untuk perawatan preventif.

Kesediaan Fisik (*Phisical Availability*)

Kesediaan fisik merupakan catatan operasional dari alat, dan menunjukkan apa yang sudah dilakukan selama waktu - waktu yang lampau. Kesediaan fisik merupakan perbandingan waktu kerja yang tersedia dengan waktu kerja yang telah dijadwalkan. Di mana waktu kerja yang tersedia mencakup waktu kerja alat (*working hours*) dan *standby hours*. Kemudian waktu kerja yang telah direncanakan mencakup *working hours* dan *repair hours* ditambah dengan *standby hours*. Persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$PA\% = \frac{W+S}{W+R+S} \cdot 100\% \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

PA = *Physical availability* (%)

W = *Working hours*

R = *Repair hours*

S = *Standby hours*

Standby hours adalah waktu di mana alat siap dipakai (tidak rusak), tetapi karena satu dan lain hal tidak dipergunakan ketika operasi penambangan sedang berlangsung. Waktu *standby hours* adalah waktu ketika hujan deras, ketika terjadi kabut dan adanya kerusakan pada peralatan pendukung.

Used of Availability

Used of availability menunjukan berapa persen waktu yang digunakan oleh suatu alat untuk beroperasi pada saat dapat digunakan (*available*). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$UA\% = \frac{W}{W+S} \cdot 100\% \dots\dots\dots (7)$$

dimana :

UA = *Used of availability* (%)

W = *Working hours*

S = *Standby hours*

Dari *used of availability* dapat diketahui apakah suatu pekerjaan berjalan dengan efisien atau tidak dan pengelolaan alat berjalan dengan baik atau tidak.

Effective Utilization

Penggunaan efektif menunjukan berapa persen dari waktu yang digunakan oleh alat untuk bekerja dalam seluruh waktu kerja yang telah dijadwalkan. *Effective utilization* merupakan faktor kerja atau efisiensi alat, semakin tinggi nilai dari penggunaan efektif maka pemakaian alat akan semakin baik. Persamaan dari faktor ini adalah sebagai berikut:

$$EU = \frac{W}{W+R+S} \cdot 100.....(8)$$

- dimana :
- EU = *Effective utilization* (%)
 - W = *Working hours*
 - R = *Repair hours*
 - S = *Standby Hours*

E. WAKTU EDAR (CYCLE TIME) ALAT

Waktu edar adalah waktu yang digunakan oleh alat mekanis untuk melakukan satu siklus kegiatan. Setiap alat memiliki komponen waktu edar yang berlainan. Besar kecilnya waktu edar tergantung pada komponen yang ada dan waktu yang diperlukan oleh masing-masing komponen tersebut. Waktu edar tersebut dapat diketahui dengan melakukan pengamatan di lapangan. Waktu edar atau *cycle time haul truck* terdiri dari komponen *fix time* dan *travel time*.

Persamaan dari waktu edar tersebut adalah sebagi berikut:
 Cycle Time (CT) (min) = Fix Time + Travel Time(9)

Dimana
 Fix Time (min) = Spotting + Loading + Queuing +Dumping..... (10)

dan
 Travel Time (min) = Load Haul + Empty Haul(11)

- Keterangan:
- Spooting* = waktu mengambil posisi
 - Queuing* = waktu menunggu pemuatan
 - Loading* = waktu pemuatan
 - Load haul* = waktu pengangkutan bermuatan
 - Dumping* = waktu penumpahan
 - Empty haul* = waktu kembali kosong

Antrian di Shovel (*Queuing Time*)

Waktu antrian truck di *shovel* adalah waktu yang dihitung mulai dari saat truck masuk dalam “*radius beacon*” shovel dengan kecepatan 10 km/ jam sampai dengan operator shovel tekan “*full*” untuk truck sebelumnya. Waktu *queuing* di *shovel* hanya akan timbul ketika truck datang di shovel di mana sudah ada satu atau lebih truck yang sedang atau menunggu dimuati. Apabila ketika *truck* datang di shovel tidak ada truck yang sedang dimuati maka waktu *queuing* akan menjadi nol. Pergerakan truck harus senantiasa dicatatkan dengan baik, sebagai bahan evaluasi kinerja setiap alat.

Waktu Tunggu Shovel (*wait for truck*)

Waktu tunggu shovel adalah waktu dimana status shovel “*ready*” dan menunggu truck untuk diisi muatan. Waktu tunggu shovel dihitung mulai dari saat operator shovel tekan “*full*” (selesai memuati truck sebelumnya) sampai dengan truck berikutnya tiba (masuk *radius beacon* shovel). Waktu tunggu shovel akan menjadi nol apabila selalu ada truck yang dimuati dan atau sedang antri. Waktu tunggu shovel adalah indikator untuk melihat kondisi tingkat kelancaran shovel untuk memberikan muatan ke truck terhadap waktu “*ready*”nya. *Ready hours* (waktu siap) adalah waktu shovel siap dan bekerja (selain waktu *down*, *delay* atau *standby*).

Spotting at Shovel

Waktu *spotting truck* di shovel adalah waktu yang dihitung mulai dari saat truck masuk dalam radius beacon shovel dengan kecepatan di bawah 10 km/ jam sampai dengan operator truck tekan “muat pertama” untuk *single side loading* atau untuk truck tunggal. *Spotting* artinya manuver truck sebelum diisi atau membuang muatan atau waktu yang dihitung mulai dari saat operator shovel tekan full untuk truck sebelumnya sampai dengan operator truck berikutnya tekan “muat pertama” untuk “*double side loading*”. Waktu *spotting* adalah indikator untuk melihat kondisi *loading point*, semakin bagus *loading point* akan menunjukkan semakin kecilnya *waktu spotting*.

Loading Time

Loading time adalah waktu shovel untuk memuat material ke truck yang dihitung mulai dari ketika truck mendapat “*First Bucket*”

sampai operator shovel tekan “full”. *Loading time* adalah indikator untuk melihat kekerasan material dan kemampuan operator dalam mengoperasikan alat.

Loaded Haul dan Empty Haul

Waktu bermuatan (*loaded haul*) adalah waktu yang dihitung mulai dari full dari shovel sampai dengan tiba di *dumping*. Waktu kembali kosong (*empty haul*) adalah waktu yang dihitung mulai dari selesai dumping sampai dengan tiba kembali di shovel. Waktu *loaded haul* dan *empty haul* adalah indikator untuk melihat kondisi jalan dan hambatan selama pengangkutan. Waktu kembali kosong seharusnya lebih kecil dari waktu bermuatan. Beberapa faktor yang akan menentukannya adalah: kondisi jalan, jarak tempuh alat, dan hambatan lainnya.

Dumpingtime

Dumping time adalah waktu yang dihitung mulai dari saat truck masuk dalam *radius beacon dumping* sampai dengan operator tekan “OK” untuk penugasan selanjutnya. *Dumping time* adalah indikator untuk melihat kondisi tempat *dumping*, semakin bagus kondisi daerah *dumping* akan menunjukkan semakin kecilnya waktu *dumping* dan *manuver*.

F. PRODUKSI ALAT ANGKUT

Kemampuan produksi penambangan bijih tembaga dan emas dapat diketahui dengan melakukan perhitungan kemampuan produksi alat - alat mekanis yang ada. Semakin besar hasil produksi suatu alat berarti produksi alat tersebut juga semakin baik.

$$\text{produktivitas} = \frac{60}{CT} \times MA \times EU \times PL \times n \times 24 \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{produktivitas} = \frac{60}{CT} \times EU \times PL \times n \times 24 \dots\dots\dots (13)$$

dimana

- Produksi = (ton/ bulan)
- CT = *Cycle time* (menit)
- MA = *Mechanical availability* (%)
- EU = *Effective utilization* (%)

n = jumlah hari dalam satu bulan
 PL = *Pay load* (ton)

Setelah produksi dari alat angkut tersebut diketahui, maka jumlah kebutuhan alat angkut yang beroperasi dapat kita hitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{jml HT} = \frac{\text{Total Material}}{\text{produksi 1 unit}} \dots\dots\dots (14)$$

G. OPTIMIMASI PRODUKTIFITAS PEMINDAHAN TANAH MEKANIS

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

Pendekatan optimasi dalam pemindahan tanah mekanis diperlukan untuk mengoptimalkan sumber daya yang terbatas untuk memenuhi kebutuhan pemindahan tanah mekanis yang terus berkembang (Pan & Hou, 2016). 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 produktivitas peralatan mekanis 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, Muniandy, Hamid, & Md. Yusoff, 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 digunakan juga untuk mendapatkan hasil perencanaan yang optimal, salah satu model yang ada saat ini adalah integrasi algoritma genetika dengan sistem informasi geografis jalan untuk mendapatkan penyelarasan yang optimal (Kang, Jha, & Schonfeld, 2012) dan (Beg & Banerjee, 2015).

Selanjutnya Wang, James, & Li (2011) model optimasi pemindahan tanah mekanis mulai mengelompokkan segmen berdasarkan panjang jalan yang berdekatan. Setiap kelompok kemudian didefinisikan sesuai dengan hierarki dan jenis jalan dari model jaringan yang diusulkan. Pendekatan ini terus dikembangkan melalui langkah-langkah komputasi dengan pemrograman integer yang dapat memilih ruas jalan yang membutuhkan perlakuan prioritas. Hal ini sejalan dengan konsep penelitian yang dilakukan oleh (Parente M. C., 2016) yang memperkuat penelitian dengan memperdalam optimasi dengan rinci tentang pemindahan tanah mekanis sebagai ruang lingkup manajemen pekerjaan tanah pada konstruksi jalan tol.

Penggunaan alat bantu dengan pendekatan teknologi terbaru makin berkembang, terutama dalam optimasi sistem manajemen pemindahan tanah mekanis. Sebagai contoh, penggunaan teknologi melalui *case-based database reasoning* (Chou, 2008). Studi ini mengkaji

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

Dalam pemahaman sederhana, optimasi melibatkan berbagai sumber daya untuk memaksimalkan atau meminimalkan fungsi *objective* dari beberapa *biner*, variabel keputusan *integer* dengan mempertimbangkan ketidaksetaraan kendala. Sebuah kendala dengan fungsi *single-objective* disebut sebagai *single objective problem*, yang sebenarnya jarang terjadi dalam masalah manajemen pemindahan tanah mekanis. Dalam sistem manajemen pemindahan tanah mekanis justru sebagai *objective* dan kendala yang harus diselesaikan dalam waktu bersamaan (Gwak, Yi, & and Lee, 2014). *Objective* yang diharapkan dapat dicapai lebih dari satu dan bertentangan, sehingga perlu dilakukan optimasi secara simultan atau dengan cara minimalisasi beberapa *objective function*.

Kendala utama dalam memecahkan masalah pemindahan tanah mekanis adalah pertimbangan sejumlah besar pekerjaan pemindahan tanah mekanis yang terkait dengan periode waktu. Hal ini membuat langkah pencarian solusi optimasi menjadi sangat kompleks dan menantang dengan metode *particle swarm* (Su & and Dong, 2013). Oleh karena itu, beberapa pemindahan tanah mekanis lebih memilih menggunakan pendekatan *macroscopic* dibanding pendekatan *microscopic*, dengan tujuan untuk mengurangi jumlah variabel pengambilan keputusan.

Pendekatan optimasi pada tingkat jaringan, hanya berupa jumlah rencana total anggaran. Tingkat kerumitan dalam menyelesaikan masalah manajemen perkerasan pada tingkat jaringan, membuat tidak semua model pendekatan dapat digunakan dalam berbagai situasi dan kondisi tertentu (Henderson, Vaughan, Jacobson,

Wakefield, & Sewell, 2003). Henderson, 2003 selanjutnya mengembangkan model *simulating annealing* yang berkaitan dengan *single objective*, berupa optimasi dengan pilihan satu segmen jalan. Penelitian tersebut adalah model pertama dalam sistem yang menggabungkan *genetic algortihms* (GA) sebagai alat optimasi. Selanjutnya para peneliti terus mengembangkan optimasi untuk masalah perencanaan teknik jalan dengan menggunakan prinsip-prinsip operasi GA.

DATA MINING

B

A

G

I

A

N

4

DECISION SUPPORT SYSTEM

Decision Support System (DSS) sangat dibutuhkan untuk memberikan dukungan kepada para pengambil keputusan dalam mendapatkan keputusan yang tepat, seperti diungkapkan oleh Stankovic et.al (2015) yang melakukan pendekatan DSS melalui pengembangan DSS untuk melakukan penyediaan dukungan keputusan pengelolaan alat-alat mekanis untuk pekerjaan tanah, sehingga mampu meningkatkan kemudahan pengambilan keputusan pemeliharaan peralatan yang dikelola. Dalam setiap kegiatan atau aktifitas, termasuk kegiatan pengembangan infrastruktur jalan, sangat diperlukan sebuah dukungan sistem yang dapat memberikan alat bantu dalam pengambilan keputusan. Alat dukung pengambil keputusan memiliki sifat berjenjang dan terstruktur dengan rapih. Beberapa jenis keputusan dapat diuraikan sebagai berikut:

1. *Strategic planning decisions*, pengambilan keputusan berhubungan dengan kebijakan dan tujuan yang bersifat strategi;
2. *Management control decisions*, keputusan dibuat agar dapat memanfaatkan sumber daya tersedia dengan efektif dan efisien;
3. *Operational control decisions*, keputusan dibuat agar kinerja selama pelaksanaan berjalan dengan efektif;
4. *Operational performance decisions*: keputusan yang diambil sehari-hari dalam pelaksanaan.

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

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

Model DSS telah banyak digunakan dalam berbagai disiplin ilmu termasuk industri infrastruktur (Gluch & Baumann, 2004) dan (Rahman & Vanier, 2004). Kebutuhan alat bantu pengambilan keputusan di industri infrastruktur semakin meningkat, karena tingginya tingkat ketidakpastian yang melekat. Hal ini perlu juga diterapkan pada sistem manajemen perkerasan jalan. Berbagai kondisi dalam sistem manajemen perkerasan jalan tidak mungkin diketahui secara persis, sehingga alat pendukung keputusan dapat membantu dalam meningkatkan keakuratan proses pengambilan keputusan selama pemanfaatan peralatan mekanis (Aziz et. al., 2015).

Selanjutnya proses pengambilan keputusan strategis berhubungan dengan tingkat kepentingan dalam kebijakan manajemen atau yang lebih tinggi, sedangkan keputusan kinerja operasional terkait dengan keputusan rutin yang berkaitan dengan tugas tertentu. Hal yang cukup penting dalam klasifikasi ini adalah bahwa keputusan dengan konsekuensi tinggi, dibuat lebih jarang daripada keputusan dengan konsekuensi yang lebih rendah. Rangkaian manajemen pengelolaan jalan adalah proses yang menyertai beberapa langkah kegiatan yang melibatkan perencanaan, desain, konstruksi, operasi, pemeliharaan, serta pengembangan dan penelitian. Setiap kegiatan tersebut membutuhkan keputusan yang tidak jarang mendekati ambigu serta meragukan. Selain itu, karena adanya ketidakpastian masalah serta sisi subyektif dari para pengambil keputusan, unsur sosial politik, serta tidak ada nilai obyektif yang sepenuhnya dalam menemukan solusi terbaik (Gendreau & and Duclos, 1989).

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

dan menguraikan pemodelan yang rumit. Sedangkan sistem informasi didasarkan pada struktur analisis dan dukungan keputusan yang dihasilkan dalam bentuk jawaban yang unik. DSS menekankan pentingnya aktivitas interaktif dan keterlibatan langsung dari pengguna akhir. Hal ini memiliki arti umpan balik antara unsur-unsur yang berbeda dari keseluruhan sistem. Berdasarkan mekanisme umpan balik yang melekat dalam DSS, penggunaan DSS dapat meningkatkan kualitas pengambilan keputusan dan dapat mengoptimalkan keterbatasan sumber daya yang bergerak dinamis.

Peran DSS adalah untuk membantu menjawab pertanyaan "*what is, what would, and what if*". Tanpa DSS dan tanpa ukuran kebutuhan, cukup sulit dalam mendapatkan keputusan yang tepat. Masalah presentasi subjektif cukup dipahami oleh pengambil keputusan yang dihadapkan pada kenyataan yang tidak sesuai dengan fakta. Oleh sebab itu, dimensi subjektif pengambilan keputusan merupakan proses berdasarkan dasar pengetahuan dan bukan hanya sekedar "*black box*". Komponen utama dari DSS terdiri dari *model-base management system* (MBMS), *data-base management system* (DBMS), dan *display generation and management system* (DGMS). Aspek arsitektur DSS dalam implementasi ini disusun dengan memperhatikan kebijakan serta nilai pengetahuan yang berlandaskan teori yang sudah teruji dalam pengembangan keilmuan. Model DSS dapat memiliki nilai akurasi yang tinggi, apabila model pendekatan yang ditanamkan dalam sistem tersebut memiliki akurasi yang tinggi pula. Seluruh subsistem secara bersama-sama atau sendiri memberikan kontribusi dengan berbagai fungsi yang dimiliki oleh sub sistem tersebut. Keberhasilan sistem sangat tergantung dari kondisi sub sistem, sehingga diperlukan tindakan yang lebih berani untuk melaksanakan DSS. Pendekatan DSS yang dirancang dengan benar sebagian besar merupakan sistem berbasis perangkat lunak interaktif yang dimaksudkan untuk membantu para pengambil keputusan mengkompilasi informasi yang berguna dari data mentah, dokumen, pengetahuan pribadi, dan/atau model bisnis untuk mengidentifikasi dan memecahkan berbagai masalah dan mengambil keputusan. Sehingga sistem-sub sistem yang dikembangkan dapat terintegrasi dengan baik.

OPTIMALISASI PRODUKTIVITAS

A. STUDI KASUS IMPLEMENTASI MODEL

Untuk melakukan pemodelan dengan algoritma DM diperlukan data historis dengan rentang waktu yang cukup panjang (Rifai, Hadiwardoyo, Correia, & Pereira, 2015). Data tersebut dijadikan *learning data*, *test data*, *calibration data*, dan *validation data*. Data terkumpul ditabulasi dan disusun berdasarkan tahapan prosedur DM. Sebagai gambaran, cukup banyak parameter yang mempengaruhi produktivitas kombinasi peralatan mekanis pada pekerjaan pemindahan tanah mekanis. Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas, akan dilakukan studi kasus untuk pelaksanaan pekerjaan tanah pada proyek jalan tol di Indonesia.

Dalam konteks studi kasus ini, waktu yang diperlukan setiap kombinasi untuk menyelesaikan tugasnya, sebagian besar bergantung pada produktivitas aktualnya. Meskipun ditentukan secara individual untuk setiap peralatan dan kondisi kerja, namun secara keseluruhan produktivitasnya akan dihitung secara nyata pada produktivitas keseluruhan (produktivitas kombinasi). Sehingga dapat dibuat sebuah pendekatan sederhana mengenai tingkat produktivitas yang akan digunakan selanjutnya dalam implementasi ini. Berbagai pendekatan telah banyak disusun dalam berbagai penelitian mengenai pemindahan tanah mekanis dengan variasi studi kasus. Implementasi dilakukan melalui pendekatan produktivitas yang sederhana dan dapat digambarkan dalam persamaan berikut

$$Q_p = Q \times k \dots\dots\dots (15)$$

Dimana

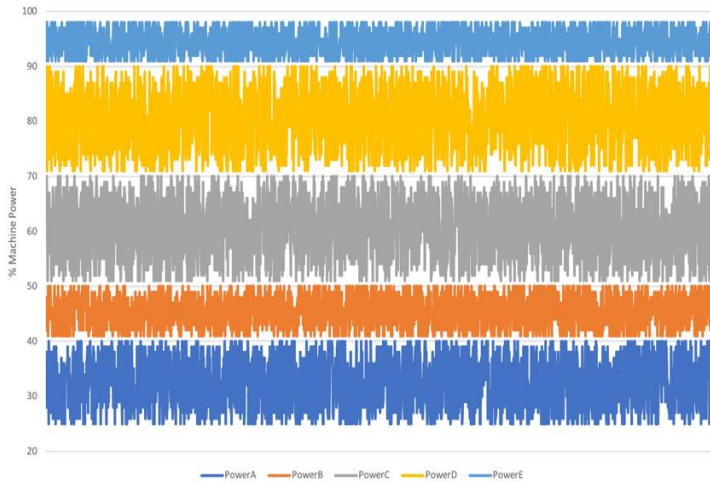
- Q_p : Produktivitas aktual (m³/jam);
- Q : Produktivitas teoritis [spesifikasi pabrikan] (m³/jam);
- k : factor efisiensi [koreksi] (%)

Dalam studi kasus ini faktor efisiensi didapatkan dari seluruh proses pekerjaan pemindahan tanah pada setiap proyek, dan menjadi input dalam proses pemodelan dengan pendekatan DM.

B. ANALISA PRODUKTIVITAS *EXCAVATOR*

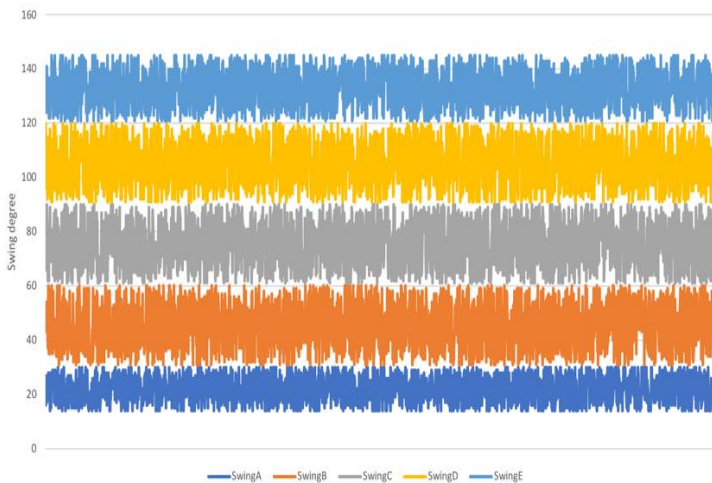
Secara umum, faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas sebagian besar peralatan di pekerjaan pemindahan tanah mekanis terkait dengan spesifikasi peralatan, kondisi lapangan dan kondisi material dan keterampilan operator. Selain pada jenis peralatan, faktor tambahan mungkin relevan dalam menilai tingkat produktivitas. Tentu saja, spesifikasi yang relevan berbeda untuk setiap jenis peralatan, seperti lapangan dan kondisi material yang berdampak pada produktivitas secara keseluruhan. Proses analisa pada kegiatan penggalian tingkat kerja nyata *excavator* di pekerjaan pemindahan tanah mekanis diambil dari basis data penggunaan kekuatan *excavator* (% machine power) dan sudut *swing* alat ($^{\circ}$). Sedangkan spesifikasi peralatan, seperti berat operasi dan kapasitas *bucket*, serta beberapa karakteristik geomaterial, seperti tipe dan kondisi kelembaban (yaitu, kadar air), adalah aspek utama yang menentukan tingkat kerja peralatan, aspek seperti keterampilan operator, Pembatasan ruang dan kondisi atmosfer secara langsung mempengaruhi efisiensi dalam peralatan dapat melaksanakan tugasnya.

Total waktu siklus (*cycle time*) *excavator* tergantung pada dimensi peralatan, karena *excavator* yang lebih kecil dapat berputar lebih cepat daripada yang lebih besar, dan kondisi lokasi. Semakin sulit kondisi lapangan, semakin lama waktu siklusnya. Misalnya, ketika material menjadi lebih sulit untuk digali, kesulitan mengisi *bucket* meningkat, dan ketika titik penggalian menjadi lebih dalam, *bucket* harus berjalan lebih jauh, dapat meningkatkan waktu siklus. Penempatan titik bongkar dibandingkan dengan titik penggalian dalam hal sudut putar juga memiliki pengaruh yang kuat pada waktu siklus. Jika truk berada tepat di samping titik penggalian dan di tanah yang lebih rendah, siklus yang sangat cepat dapat dicapai, jika tidak, jika truk terletak 180° dan di atas *excavator*, sebaliknya akan terjadi. Hasil pengumpulan dan analisa dengan DM dapat dikelompokkan menjadi 5 kelompok besar. Sebagai gambaran dapat dilihat pada gambar 5.3.



Gambar 5.1 Histogram Penggunaan *Machine Power* Excavator

Gambar yang menunjukkan Analisa visual berdasarkan penggunaan prosentase *machine power* untuk setiap jenis pekerjaan. Hal yang sama dilakukan untuk menganalisa derajat swing excavator dalam melakukan setiap gerakan dengan tingkat kesulitan yang berbeda. Hasil Analisa dapat dilihat pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Histogram Penggunaan Sudut *Swing*

Uji sederhana statistik dari basis data yang digunakan (2064 aktivitas penggalian) dengan pengelompokan terbesar dalam pekerjaan penggalian tanah. Pemanfaatan *machine power* dan *swing* dikelompokkan dalam 5 group. Setiap group penggunaan *machine power* dan *swing* memiliki karakteristik tertentu dan memiliki nilai efisiensi yang berbeda. Perbedaan aktifitas alat dan pergerakan sangat mempengaruhi nilai efisiensi alat individual, sekaligus produktivitas secara kelompok keseluruhan. Selanjutnya nilai efisiensi tersebut dapat diuraikan dalam tabel 5.1.

Tabel 5.1 Distribusi Group Efisiensi Excavator

	Group A		Group B		Group C		Group D		Group E	
	Power (%)	Swing (°)	Power (%)	Swing (°)	Power (%)	Swing (°)	Power (%)	Swing (°)	Power (%)	Swing (°)
Min	25,00	14,00	41,00	31,00	51,00	61,00	71,00	91,00	91,00	121,00
Max	40,00	30,00	50,00	60,00	70,00	90,00	90,00	120,00	98,00	145,00
Rerata	32,48	22,01	45,45	45,39	60,52	75,44	80,52	105,36	94,43	132,90

Hasil pengelompokan berdasarkan learning pada DM, seperti diringkaskan pada tabel di atas dapat dibuat uraian sebagai berikut:

1. Kondisi A. Penggalian yang mudah (tanah yang belum terpadatkan (tanah lepas), kerikil pasir, pembersihan parit, dan lain lain); Menggali hingga kurang dari 40% kemampuan kedalaman maksimum alat berat; *Swing* kurang dari 30°. kondisi tidak ada hambatan; dan kinerja operator bagus.
2. Kondisi B. Penggalian menengah (*dry clay*, tanah dengan kandungan 25% batu). Penggunaan hingga 50% kemampuan *machine's* maksimum; sudut *swing* hingga 60°; sedikit ada hambatan.
3. Kondisi C. Penggalian menengah-sulit (tanah keras, tanah dengan kandungan 50% batu). Penggunaan hingga 70% kemampuan *machine's* maksimum; sudut *swing* hingga 90°; posisi truk tidak terlalu jauh.
4. Kondisi D. Penggalian sulit (tanah keras, tanah dengan kandungan 75% batu). Penggunaan hingga 90% kemampuan

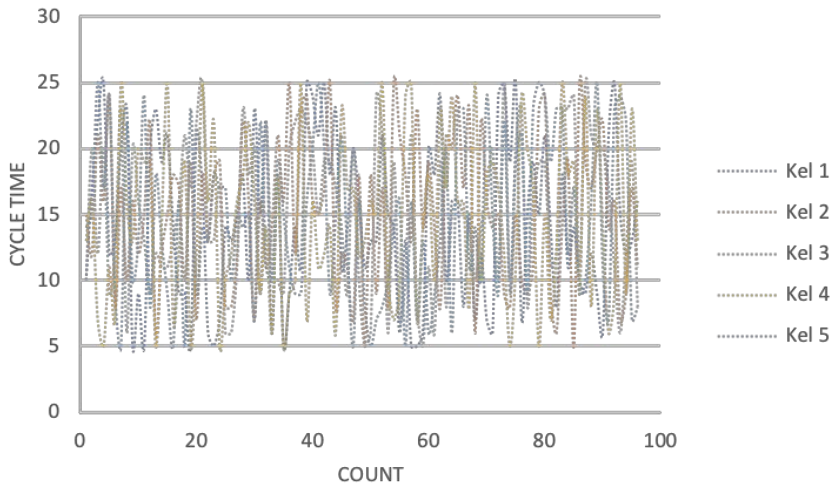
machine's maksimum; sudut *swing* hingga 120°; posisi truk cukup jauh.

5. Kondisi E. Penggalian sangat sulit (*sandstone, caliche, shale, certain limestone, hard frost*) hingga di atas 90% kemampuan *machine's* maksimum; sudut *swing* di atas 120°; jangkauan dan posisi truk cukup jauh; cukup banyak hambatan.

C. ANALISA PRODUKTIVITAS *DUMPTRUCK*

Sama halnya dengan pembahasan *excavator*, secara umum produktivitas truk juga bergantung pada aspek yang disebutkan secara umum: spesifikasi peralatan, kondisi lokasi, dan keterampilan operator. Secara khusus, jarak pengangkutan secara tradisional dianggap sebagai salah satu faktor utama yang mempengaruhi durasi siklus pengangkutan. Meskipun produktivitas truk tidak terbatas pada faktor itu saja, optimasinya harus mencakup keputusan lintasan yang diambil dalam siklus pengangkutan, mengurangi waktu siklus, penggunaan bahan bakar dan emisi karbon. Dalam konteks ini, pendekatan sistem informasi geografis dapat digunakan dalam penentuan rute terpendek antara area *loading - unloading*, sebagaimana dieksplorasi lebih pada bagian GIS. Selain itu, karena truk diberi muatan oleh *excavator*, ada aspek penentu lain yang menentukan produktivitas truk yang sangat tergantung pada produktivitas *excavator*.

Untuk menghitung produktivitas *dumptruck*, pengukuran *cycle time* memegang peranan penting, karena secara langsung mempengaruhi kemampuan pengangkutan. Proses analisis *cycle time* dalam studi kasus ini melibatkan penentuan lokasi *excavator* dan titik pemberhentian terdekat dari *dumptruck* pengangkut atau titik dengan kecepatan terendah. Waktu mulai dari titik berhenti didefinisikan sebagai akhir siklus dan awal siklus baru. Dengan demikian, waktu siklus didefinisikan sebagai perbedaan antara waktu dua titik pemuatan. Dalam satu siklus, diamati bahwa ada beberapa kejadian di mana peralatan berhenti untuk jangka pendek (misalnya, dua menit) dan kemudian melanjutkan perjalanan. Penghentian ini terkait dengan peralatan yang dihasilkan ke peralatan lain dan menunggu arahan dari operator *bulldozer* ke mana beban harus dibuang.

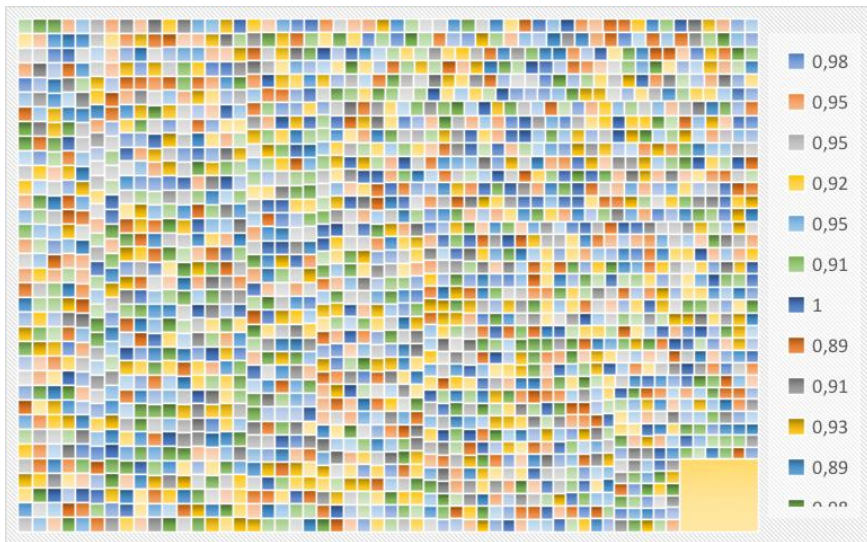


Gambar 5.3 Distribusi *Cycle Time Dumptruck*

Dalam analisa pada studi kasus ini *cycle time* tanpa penundaan dihitung dengan menghapus waktu berhenti selain waktu pemuatan dari cycle. *Cycle time* yang termasuk pada perubahan lokasi *excavator* tidak termasuk dalam analisis. Pada gambar 5.3 di atas terlihat hasil analisa awal mengenai waktu *cycle time* pada setiap kelompok kerja *dumptruck* yang dianalisis.

D. ANALISA PRODUKTIVITAS *SPREADING*

Sama halnya dengan pembahasan pada bagian truk, salah satu faktor utama yang mempengaruhi tingkat produktivitas pekerjaan dalam melakukan *spreader* sangat tergantung pada produktivitas dari tugas sebelumnya. Tentunya, ini termasuk produktivitas tidak hanya truk, tetapi juga dari produktivitas penggalian secara tidak langsung, karena tingkat pekerjaan yang pertama tergantung pada tingkat pekerjaan yang terakhir. Seperti peralatan kerja tanah lainnya, faktor-faktor lain yang secara umum mempengaruhi produktivitas terdiri dari spesifikasi *bulldozer* lokasi dan kondisi material dan keterampilan operator. Pada gambar 5.4 dapat dilihat distribusi efisiensi alat *spreading*.



Gambar 5.4 Distribusi Dan Variasi Efisiensi Spreader

Untuk menghitung kinerja maksimal *buldozzer*, harus dilakukan evaluasi tentang keterbatasan alat yang tersedia serta materi yang akan dipindahkan. Seperti diterangkan di awal, berat dan *horse power* peralatan merupakan faktor utama yang menentukan kemampuan alat dalam mendorong. Namun demikian, kondisi lokasi seperti medan dan kondisi permukaan tanah, serta cuaca yang menyebabkan perubahan konsisi tanah dapat membatasi kemampuan alat untuk menggunakan tenaga kuda maksimal. Dalam hal materi yang akan dipindahkan, hasil analisa pelaksanaan spreader dengan alat *buldozzer* pada pekerjaan pemindahan tanah pekerjaan jalan tol dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Simulasi Produktivitas Buldozzer

Operator	
Utama	0,91 - 1,00
Madya	0,65 - 0,89
Pemula	<0,60

Material	
<i>Loose stockpile</i>	1,20
<i>Hard to cut</i>	0,65 - 0,8
<i>Dry non-cohesive material</i>	0,65 - 0,8
<i>Rock ripped or blasted</i>	0,65 - 0,8
Visibility	
Debu, hujan, gelap	0,75-0,85
Efeciency Factor	
50 min/h	0,83
60 m/hour	0,67

E. ANALISA PRODUKTIVITAS PEMADATAN

Pemadatan biasanya merupakan tugas paling rumit dari proses pengerjaan pemindahan tanah mekanis. Bahkan, tidak hanya interaksi antara peralatan dan geomaterial termasuk jumlah variabel yang jauh lebih tinggi, tetapi juga metodologi dan teknik yang dipilih dapat menghasilkan tingkat kerja *roller* yang sangat berbeda.

Dari pemodelan awal, untuk dapat memperkirakan produktivitas *roller* dengan tepat, spesifikasi geomaterial, kondisi lokasi dan pemadatan spesifik, harus dimulai dengan mencirikan material yang akan dipadatkan dan peralatan pemadatan yang tersedia. Penilaian ini harus cukup rinci untuk memungkinkan penentuan sumber daya pemadatan yang diperlukan untuk mencapai hasil pemadatan yang baik, tergantung pada jenis material serta kondisi lapangan.

Dari uraian rangkaian kegiatan di atas mulai dari penggalian sampai dengan pemadatan, dengan menggunakan 2064 data awal,

Pangkalan data yang disusun berisi data profil dengan periode 5 tahun, yang mencakup 12.728 pengamatan. Selama periode *learning* tidak berhenti, jaringan terus dapat dilatih untuk memprediksi Qp sampai dengan model dengan tingkat keakuratan terbaik. Proses *learning* dapat di-*interception* apabila dibutuhkan selama tahap iterasi. Catatan *interception* yang dilakukan akan direkam sebagai proses penyempurnaan algoritma.

Perceptron dapat digunakan untuk mengklasifikasikan vektor *input* yang dapat dipisahkan oleh suatu batasan linier. Namun *perceptron* memiliki ketidakmampuan memecahkan permasalahan sederhana dengan bentuk batasan linier, sehingga diperlukan pemisahan dalam bentuk vektor. Keterbatasan penggunaan *hyperlane* dapat diselesaikan dengan pendekatan SVM. *Perceptron* pada ANN termasuk kedalam salah satu bentuk jaringan yang sederhana. *Perceptron* biasanya digunakan untuk mengklasifikasikan suatu tipe pola tertentu yang sering dikenal dengan istilah pemisahan secara linear.

Pada dasarnya *perceptron* pada ANN dengan satu lapisan memiliki bobot yang bisa diatur dan suatu nilai ambang. Algoritma yang digunakan oleh aturan *perceptron* ini akan mengatur parameter-parameter bebasnya melalui proses pembelajaran. Fungsi aktivasi dibuat sedemikian rupa sehingga terjadi pembatasan antara daerah positif dan daerah negatif

K. Kontribusi Variabel

Model DM yang terpilih sesuai dengan tabel 3.4 di atas yaitu ANN dengan nilai fit tertinggi. Selanjutnya dengan model ANN terpilih tersebut dapat menilai tingkat kontribusi setiap variabel dan atribut yang menjadi *data input* dalam model. Dalam studi kasus ini variabel atau atribut terdiri dari X_1 sampai dengan X_{16} . Sebuah vektor parameter dalam model DM ini dipilih untuk menjelaskan bahwa merupakan fungsi peragam dan bukan parameter-parameter sebagaimana dalam pendekatan parametrik. Satu-satunya syarat bagi sebuah fungsi peragam adalah mampu membangkitkan sebuah matrik ragam peragam yang definit non negatif. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menduga nilai-nilai *hyperparameter*. Nilai 0

dapat diduga dalam DM ini dengan menggunakan metode metode *cross validation*. *Hyperparameter* yang digunakan (H and γ) adalah H (2, 4, ..., 10) dan γ (2-15, 2-13, ..., 23). Nilai tersebut menghasilkan model paling presisi dengan waktu *run* yang cukup optimal. Untuk pengembangan model selanjutnya dapat digunakan pendekatan dengan mencoba nilai *hyperparameter* lainnya. Kontribusi setiap atribut dan dimensi merupakan *relative importance* dalam penyusun model. *Script* untuk mendapatkan nilai kontribusi ini disusun sebagai berikut:

```

mgraph (y=NN, x = NULL, graph="IMP",
leg = c("initial","excavacation","transport","spreader","compaction"),
xval = -1, PDF = "", PTS = -1,
size = c(5, 5), sort = TRUE, ranges = NULL, data = NULL,
digits = NULL, TC = -1, intbar = TRUE, lty = 1, col = "black",
main = "", metric = "MAE", baseline = FALSE, Grid = 0, axis =
NULL)

```

Kontribusi individu setiap atribut dan dimensi pembentuk model prediksi produktivitas ditunjukkan pada tabel 3.5.

Tabel 5.4 *Relative Importance* Atribut dengan Model ANN

Notasi	Kode	Relative Importance
X ₁	<i>D</i>	0,0360
X ₂	<i>WH</i>	0,0594
X ₃	<i>AC</i>	0,0554
X ₄	<i>M</i>	0,0777
X ₅	<i>NE</i>	0,0337
X ₆	<i>EP</i>	0,0930
X ₇	<i>OES</i>	0,0495
X ₈	<i>NT</i>	0,0833

Notasi	Kode	Relative Importance
X ₉	TP	0,0739
X ₁₀	OTS	0,0467
X ₁₁	NS	0,0957
X ₁₂	SP	0,0890
X ₁₃	OSS	0,0525
X ₁₄	NC	0,0295
X ₁₅	CP	0,0970
X ₁₆	OCP	0,0276

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

```
mgraph (y=ANN, x = NULL, graph="VEC", leg = NULL, xval = -
1, PDF = "", PTS = -1,
size = c(5, 5), sort = TRUE, ranges = NULL, data = NULL,
digits = NULL, TC = -1, intbar = TRUE, lty = 1,
col = "black", "red", "green", "blue"
main = "", metric = "MAE", baseline = FALSE, Grid = 0,
axis = NULL)
```

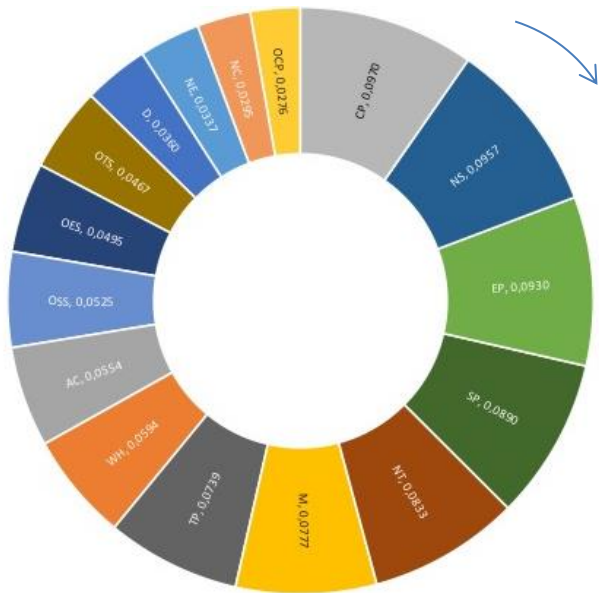
Sedangkan atribut truk mulai mempengaruhi penurunan produktivitas disaat skala atribut mencapai 0.8. Perubahan ini didukung oleh tindakan efisiensi, yang tergambar memiliki hubungan dinamis cukup baik dan mampu memperbaiki nilai Q_p . Model DM dengan algoritma ANN yang digunakan dalam penyusunan kurva VEC ini menunjukkan pengamatan bahwa hampir seluruh atribut memiliki hubungan *nonlinier* dengan Q_p . Sebagai data empiris dalam model ini ditunjukkan bahwa penambahan *dump truck* yang berlebih pada awalnya memiliki dampak positif dalam prediksi Q_p namun kemudian mulai berkurang. Di sisi lain, peningkatan *spreader* dan *compactor* terlihat menurunkan nilai Q_p . Ini menunjukan bahwa dampak negatif dalam perilaku Q_p dapat dikurangi dengan berbagai tindakan penyesuaian kombinasi peralatan mekanis secara menerus dan konsisten.

***PENGEMBANGAN
DECISION SUPPORT
SYSTEM***

A. PREDIKSI PRODUKTIVITAS PERALATAN MEKANIS

Hasil analisa data pada bagian sebelumnya menunjukkan bahwa produktivitas peralatan mekanis pekerjaan pemindahan tanah pada pekerjaan jalan tol di Indonesia dipengaruhi 16 variabel utama yang memiliki *relative importance* berbeda. Dari 3 jenis pemodelan yang digunakan, ANN menjadi model terpilih karena memiliki nilai *fit* tertinggi dan tingkat *error* terkecil. Selanjutnya model tersebut digunakan sebagai algoritma untuk menyusun model prediksi produktivitas peralatan mekanis, yang digunakan untuk merumuskan langkah-langkah optimasi.

Hasil analisa kontribusi *variable* dalam DM pada bab sebelumnya dapat disederhanakan dan ditampilkan dalam gambar 4.1 yang menampilkan *relative importance* dengan atribut paling berpengaruh *compaction productivity* (CP) dengan angka 0,0970 kemudian diikuti oleh jumlah spreader (NS) dengan angka 0,0957 dan atribut lainnya searah jarum jam sampai dengan atribut terendah yaitu skill operator peralatan pemadatan (OCP) dengan angka 0,0276.



Gambar 6.1 *Relative Importance* Setiap Atribut

akan dibahas tahapan optimasi sebagai pendekatan kedua didalam menyusun DSS. Tujuan pendekatan ini adalah untuk membantu pengambilan keputusan dari sumber yang berbeda melalui DM untuk mendukung pilihan potensial. Dengan menghadirkan kemampuan sistem dalam pengambilan pengetahuan dari pangkalan data yang besar, secara simbolis mewakili pengetahuan *heuristik* dan memanipulasi berbagai algoritma untuk meniru pola pikir manusia. Pendekatan pola pikir manusia tersebut dilakukan dengan optimasi dan potensi pemecahan masalah terbaru yang inovatif.

Model optimasi dikembangkan dengan aspek-aspek yang terstruktur dan terukur dari proses pengambilan keputusan, sementara teknik AI diarahkan untuk fitur kualitatif dari 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, seperti yang dibahas lebih lanjut sub-bab berikut. Pendekatan ini dirancang untuk menyusun dan menunjukkan bahwa AI dan DM mampu memberikan solusi praktis dalam penyusunan DSS optimasi pemindahan tanah mekanis pada proyek pembangunan jalan tol.

Upaya awal untuk mengintegrasikan AI dan model optimasi tradisional didasarkan pada pengetahuan ahli dan praktisi manajemen peralatan mekanis. 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 metaheuristik.

Secara umum, aplikasi DM dalam optimasi pemindahan tanah mekanis didasarkan pada kemampuan algoritma AI. Kemampuan fitur *learning* dalam memprediksi produktivitas dengan berbagai kondisi seperti sudah dibahas bagian sebelumnya adalah salah satu keunggulan AI. Perlu diingat bahwa simulasi proses yang digunakan

sebagai dasar dalam pelaksanaan pekerjaan adalah data histori. Dengan demikian, sistem prediksi DM tergantung pada algoritma *learning* yang diterapkan dalam pangkalan data, sedangkan hasilnya terbatas pada jenis data yang diperoleh.

Model prediksi produktivitas 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. Hasil analisa pada bab sebelumnya memerlukan pengelompokan modul.

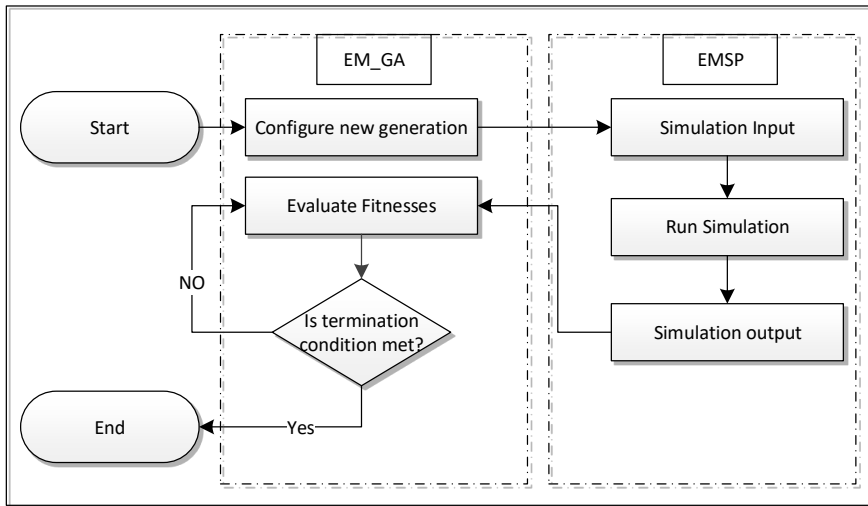
Tabel 6.1 Modul, Teknologi dan Fungsi

Modul	Teknologi	Tools	Fungsi
<i>Productivity</i>	DM	R, rminer	a. <i>database</i> b. <i>Input data</i> c. <i>prediction</i>
Optimasi	Metaheuristics	R, GA	Optimasi pemindahan tanah mekanis
Spatial	GIS	QGis	Pemodelan spatial

Meskipun tidak ada aplikasi praktis yang dikembangkan dalam implementasi teknik sipil sejauh ini, ide menggabungkan DM dengan optimasi akan dibahas lebih lanjut. Temuan yang dapat diangkat untuk menyusun aplikasi optimasi pekerjaan pemindahan tanah dapat dibagi menjadi beberapa modul sistem. Pada tabel 5.1 dapat dilihat modul, aplikasi dan kegunaannya.

Pendekatan AI yang digunakan dalam sistem tahapan optimasi ini berbeda dengan sistem DM saat tahapan pemodelan prediksi. Kedua pendekatan itu tidak lagi sebatas pada *learning approach* namun

terdiri dari beberapa solusi potensial yang berbeda. Masing-masing individu diselengi dalam kesesuaian melalui simulasi. Interaksi antara GA dan mesin simulasi diilustrasikan dalam gambar 4.2.



Gambar 6.2 Algoritma Genetik dan Interaksi dengan Fungsi Kesesuaian

Sumber: (Parente, Correia, & Cortez, 2014)

Sistem ini difokuskan pada optimasi pekerjaan tanah mekanis pada proyek jalan tol yang didukung oleh GA dan GIS. Optimasi dilakukan dengan melakukan iterasi secara menerus sampai sistem optimasi menemukan pola terbaik untuk diusulkan menjadi sebuah model yang fit. Selanjutnya sistem ini diharapkan tidak hanya mengoptimalkan sumber daya yang tersedia selama fase perencanaan, tetapi juga untuk melanjutkan proses optimasi seluruh tahap pemindahan tanah mekanis itu sendiri, memperbarui data dalam fungsi yang dikumpulkan oleh GPS, sementara pada saat yang sama juga mengelola setiap kegiatan pemindahan tanah mekanis secara *real time*.

E. Definisi objective functions dan constraint

Objective function yang harus dipertimbangkan dalam pekerjaan tanah mekanis harus mencerminkan tujuan organisasi proyek secara keseluruhan. Pada bagian ini menguraikan pernyataan matematika dari masalah dalam studi kasus ini dengan memberikan formulasi MOO secara rinci. Untuk mendapatkan optimasi dalam pemindahan tanah mekanis proyek jalan tol ada dua fungsi utama yang harus dapat dicapai, yaitu:

1. *Objective 1* : meminimalkan biaya pelaksanaan
2. *Objective 2* : memaksimalkan produktivitas alat

Pada saat masing-masing *objective* beridiri sendiri, keduanya dalam bentuk linier, sehingga masalah dapat dipertimbangkan sebagai masalah *linear objective problem*. Namun saat pengambil keputusan mempertimbangkan *objective* tambahan dalam bentuk *non-linear*, maka pendekatan optimasi pun berubah menjadi *non-linear multiobjective optimization problem*. Sebagai contoh, pembuat keputusan mungkin ingin memberikan produktivitas secara merata, kemudian ditambahkan *objective* lainnya berupa pencapaian produktivitas tiap alat jaringan jalan. Dua *objective* tersebut tidak dapat ditempatkan dalam persamaa linier secara bersamaan, namun berupa *non-linear multiobjective optimization problem*. Kondisi produktivitas alat setiap kelompok, seringkali memiliki perbedaan yang signifikan dengan produktivitas pada tiap lokasi. Kondisi tersebut menjadi tambahan *constraint* tersendiri untuk dapat dipetakan.

Untuk menyelesaikan masalah ini, semua *objective* dibatasi oleh *constraint*. Jenis dan nilai *constrain* tergantung pada kebijakan lembaga penyelenggara jalan. Pada studi kasus ini dilakukan dengan pendekatan MOO, yaitu memaksimalkan produktivitas dan meminimalkan biaya pelaksanaan. Selanjutnya, model yang dikembangkan dengan mempertimbangkan variabel muatan berlebih dan *life cycle cost* dalam anggaran pekerjaan pemindahan tanah secara keseluruhan dalam lingkup satu ruas. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa nilai produktivitas yang lebih besar menunjukkan kinerja peralatan mekanis lebih baik, dalam

persamaan berikut, memaksimalkan nilai produktivitas menggunakan notasi [Max].

Maximize:

$$\text{Max} \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n d_i} \right) * \sum_{i=1}^n \left(d_i * \sum_{j=1}^m Qp_{ij}^1 * x_{ij} \right) \dots \dots \dots (16)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^m Qp_{ij}^1 * x_{ij} \leq Qp_{ui} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \dots \dots \dots (17)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} * x_{ij} \leq B \dots \dots \dots (18)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \dots \dots \dots (19)$$

Dimana:

- C_{ij} = cost parameter of task j selected to area i
- d_{ij} = distance weight parameter to cut & fill area i
- Qp_{ij}^1 = Productivity for task j applied to area i
- Qp_{ui} = unacceptable Qp level for each individual area i
- B = budget level for area network project
- x_{ij} $1 \rightarrow$ if task j selected to area i
 $0 \rightarrow$ if task j not selected to area i
- n = total number of area of the network
- M = total number of areat management task options

Dalam permasalahan di atas, dijelaskan bahwa tujuan dari optimasi ini adalah untuk mendapatkan produktivitas maksimal seperti yang tertulis dalam persamaan (5.2) dengan memanfaatkan anggaran yang terbatas seperti ditulis dalam persamaan (5.4). Biaya total yang diperlukan dan rata-rata produktivitas dalam seluruh lingkup pekerjaan jalan tol adalah dua *objective* yang dipertimbangkan. Sedangkan total anggaran, nilai maksimal produktivitas setiap area, dan waktu pelaksanaan secara bersamaan adalah *constraint* yang didefinisikan. Untuk menemukan pola optimasi melalui pendekatan *Pareto optimal solutions*, diperlukan tahapan mengonversi MOO menjadi masalah SOP terlebih dahulu. Langkah tersebut diperlukan sebagai strategi untuk mendapatkan

solusi matematika yang lebih sederhana. Pendekatan tersebut dapat dilihat dalam persamaan sebagai berikut:

Maximize:

$$\left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n d_i}\right) * \sum_{i=1}^n (d_i * \sum_{j=1}^m Qp_{ij}^1 * x_{ij}) \leq average_{Qp}.....(20)$$

Dimana $average_{Qp}$ = Predefined *area network average Qp level*

F. Project Cost Minimization

Selain memaksimalkan produktivitas dengan nilai target Qp terteeinggi, Manajemen proyek juga harus meminimalkan anggaran yang digunakan untuk biaya pelaksanaan pekerjaan pemindahan tanah mekanis ini. Dalam persamaan (5.7), hal ini dijelaskan bahwa anggaran yang digunakan untuk pekerjaan pemindahan tanah mekanis tergantung pada biaya unit dikalikan dengan panjang jalan segmen.

Minimize:

$$Min \sum_{i=1}^n 0 \sum_{j=1}^m C_{ij} * x_{ij}.....(21)$$

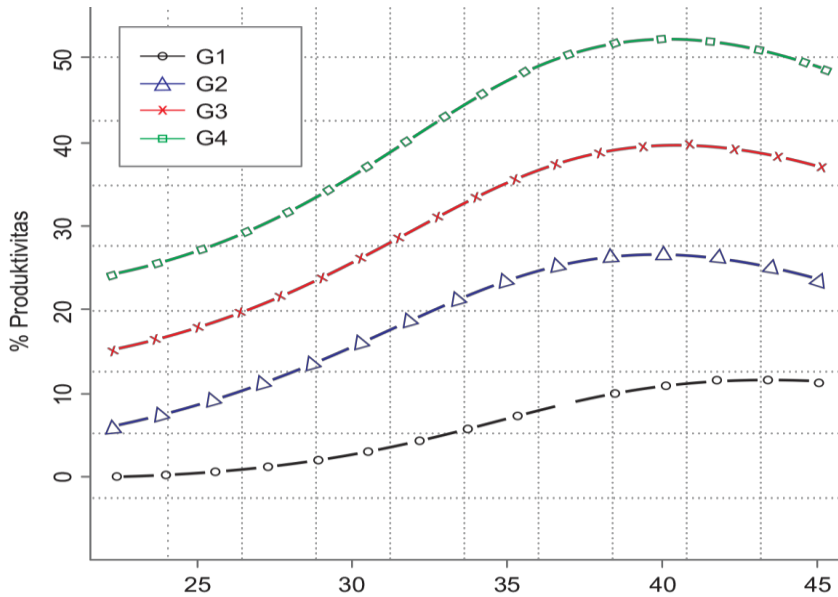
Subject to (4.3), (4.4), & (4.5)

Dimana C_{ij} = *cost parameter of task j selected to area i*

G. Uji Model Optimasi

GA sendiri dapat digunakan untuk menemukan *Pareto solution* untuk optimasi pemindahan tanah mekanis secara langsung. Namun pengambilan keputusan pasca-optimasi masih memerlukan metode lanjutan yang dapat digunakan untuk memilih solusi akhir. Solusi akhir tersebut dapat diilustrasikan selama penerapan model. Area pekerjaan yang digunakan dalam simlai model ini menggunakan data yang sama dengan bagian sebelumnya dengan 2064 data terpilih.

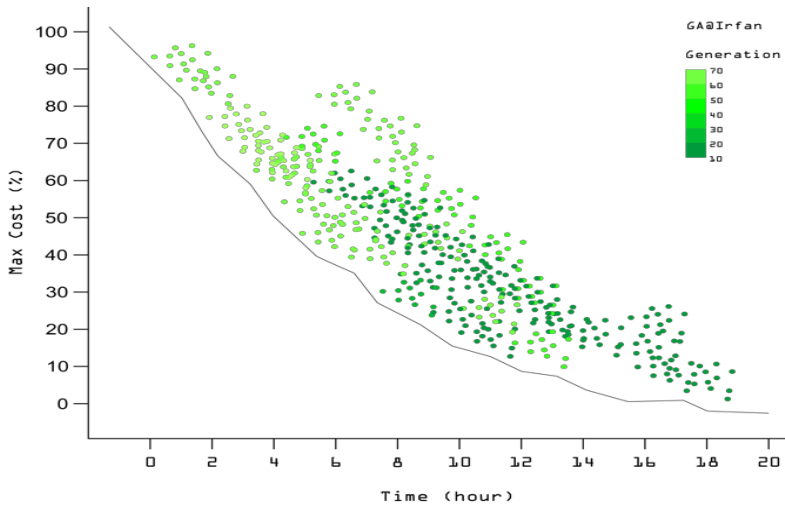
Solusi yang diperoleh dengan menggunakan algoritma dan *script* di atas dengan menyederhanakan MOO menjadi SOP terlebih dahulu dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 6.3 Uji Model

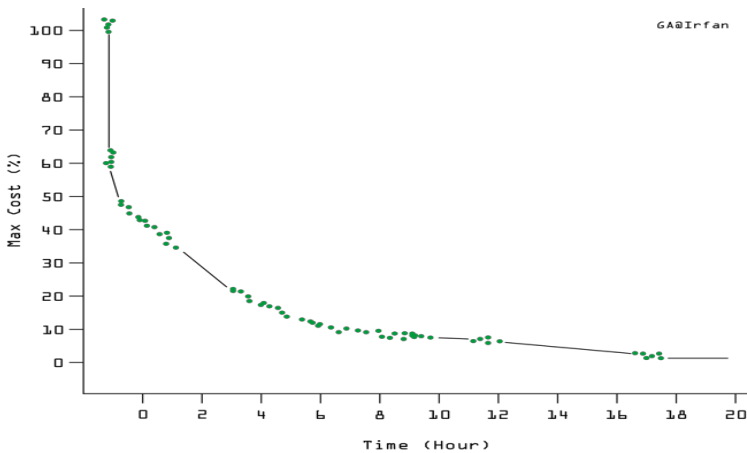
Pemodelan dijalankan dengan pemisahan setiap kelompok alat. Masing-masing strategi diskenariokan sebagai awal pekerjaan tanah mekanis (G1 kelompok awal *excavation*, G2: *Transport*, G3: *Spreader*, dan G4: *Compaction*) menggunakan anggaran maksimal. Sumbu-x menunjukkan prosentasi penggunaan anggaran maksimal, dan sumbu-y menunjukkan nilai produktivitas yang dapat dicapai pada setiap jenis strategi pekerjaan. Gambar tersebut menunjukkan bahwa model bergerak secara dinamis, dengan menjalankan *objective* tunggal namun berulang.

Untuk menguji model dengan pendekatan MOO digunakan data yang sama dan dibandingkan tingkat akurasi optimasinya antara model dengan pendekatan MOO dan SOP. Strategi pekerjaan pemindahan tanah mekanis tetap sama dengan sebelumnya, namun untuk MOO digunakan strategi pilihan bersama, dan membiarkan GA memilih strategi yang ada melalui proses evolusi. Strategi alokasi yang dinilai tidak cocok untuk jenis kondisi jalan dimaksud, dengan sendirinya akan diabaikan dan melangkah pada strategi selanjutnya. Proses evolusi ini mendekati proses yang sudah diuraikan dalam



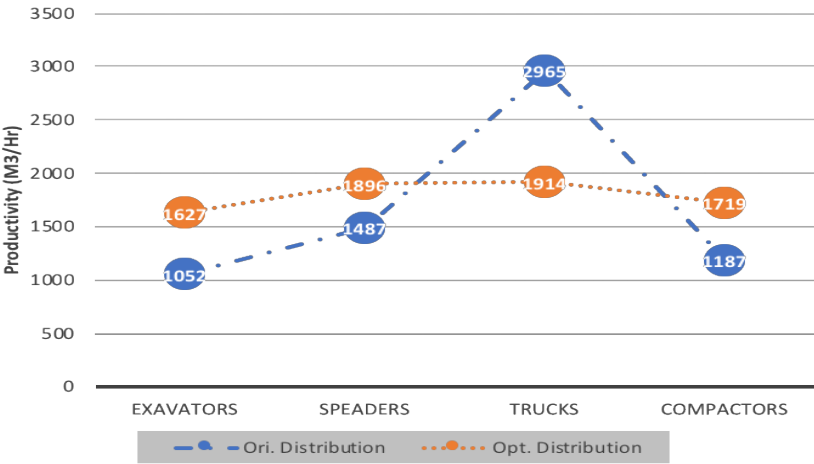
Gambar 6.5 Optimasi Pareto

Dengan menggunakan hasil simulai sistem tersebut, selanjutnya usulan sistem dibandingkan dengan alokasi manual asli yang dilakukan oleh kontraktor, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7. Pada gambar tersebut, NSGA-II dioptimalkan depan Pareto, dengan solusi asli yang diperoleh dengan alokasi manual (garis biru). Ketika menganalisis gambar tersebut jelas bahwa NSGA-II melakukan perbaikan substansial (baik dalam hal biaya dan durasi) bila dibandingkan dengan alokasi peralatan manual.



Gambar 6.6 Hasil Optimasi

Output sistem menunjukkan beberapa pengaturan potensial mulai dari sekitar 38 hingga 73 jam durasi konstruksi, terkait dengan perkiraan biaya 6 sampai dengan 6,4 milyar rupiah. Ini sesuai dengan pengurangan sekitar 55% dalam durasi dan 70% dalam biaya, jika dibandingkan dengan durasi 127 jam dan biaya yang diperoleh dalam alokasi asli. Alokasi manual konvensional asli jauh dari solusi optimal, yang dapat dijelaskan oleh kurangnya optimalisasi otomatis yang efisien dan juga oleh penundaan yang tak terduga.



Gambar 6.7 Alokasi Kelompok Peralatan Mekanis

Dengan menggunakan model pilihan ini, sistem alokasi peralatan mekanis mampu mencapai dampak yang lebih baik dalam biaya dan durasi pemindahan tanah mekanis untuk studi kasus ini dalam proyek jalan tol. Pada gambar 6.7, dapat dilihat bahwa tingkat pekerjaan di setiap kelompok peralatan kerja dalam bentuk pengaturan distribusi asli tidak terstruktur dengan baik, sementara yang lain diatur dengan cukup baik. Dalam distribusi peralatan asli, produktivitas tim ekskavator mengalami hambatan (sekitar 350 m³/jam) untuk lini produk yang tersisa. Ini menunjukkan peralatan transportasi, yang memiliki potensi produktivitas hampir 2.000 m³/jam, dipaksa menunggu bahan yang akan digali sebelum dapat mengangkutnya ke daerah yang ditimbun dan dipadatkan.

I. Spatial Modul

Pekerjaan pemindahan tanah mekanis pada pekerjaan jalan tol di Indonesia membentuk suatu sistem dengan perilaku kolektif, setiap kegiatan berinteraksi yang dianggap baku. Dalam studi kasus ini dapat memberikan penambahan informasi yang memungkinkan untuk mengeksplorasi pemecahan masalah secara kolektif (atau terdistribusi) tanpa kontrol terpusat atau penyediaan model global. Model yang diusulkan diharapkan mampu memberikan kekuatan sistem adaptif yang kompleks untuk memecahkan masalah stokastik non-linear yang sulit, pemodelan ini menampilkan karakteristik tertentu.

Pada bagian akhir buku ini akan diuraikan secara singkat perancangan modul spasial didasarkan pada teknologi GIS. Tujuan utamanya adalah untuk mengumpulkan informasi yang diperlukan, yang dihasilkan dari data spasial, untuk membantu optimalisasi yang tepat dari distribusi peralatan transportasi dan alur kerja. Data ini dikaitkan dengan rute, jarak dan waktu siklus optimal antara area galian dan area timbunan, serta dengan model spasial lokasi konstruksi pekerjaan tanah, yang mencakup informasi mengenai posisi relatif antara *front* dan kemungkinan rute yang menghubungkannya. Di sisi lain, modul spasial diharapkan dapat memberikan dasar untuk visualisasi input dan output spasial, meningkatkan sistem dengan kemungkinan menerima data GPS (jika tersedia) selama fase konstruksi proyek pekerjaan tanah, sebagai sarana memperbaiki produktivitas yang diperkirakan selama fase proyek jika perlu. Mempertimbangkan sifat proyek pekerjaan tanah yang dinamis dan sulit diprediksi selama konstruksi, fitur-fitur ini menambah keserbagunaan yang diperlukan bagi sistem untuk menangani peristiwa atau masalah yang tidak terduga.

Salah satu tujuan awal dari penyusunan buku ini adalah mengembangkan integrasi modul spasial dan modul optimasi. Ini tidak hanya akan mengintegrasikan GUI pada QGIS dengan R, tetapi juga memfasilitasi pembagian data antara perangkat lunak, karena beberapa spesifikasi peralatan yang dimasukkan dalam modul peralatan dapat diimpor ke modul spasial, sedangkan output dari yang

terakhir juga bisa langsung diimpor ke modul optimasi. Namun, setelah bereksperimen dengan perangkat lunak, disimpulkan bahwa integrasi penuh antara QGIS dan R memerlukan pendalaman lagi.

Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa, untuk mencapai integrasi yang tepat antara R dan QGIS diperlukan instalasi paket antarmuka yang berorientasi objek dari R dengan bahasa *Python* dimana QGIS dibangun. Namun, versi yang tersedia dari antarmuka ini akan memaksa instalasi versi sebelumnya dari R dan QGIS, sehingga memungkinkan kompatibilitas antara perangkat lunak. Dengan demikian, menindaklanjuti dengan opsi ini dapat menghambat berfungsinya paket R yang digunakan untuk DM dan modul pengoptimalan, karena ini dikembangkan pada versi yang lebih baru dari yang sebelumnya.

Pembuatan jaringan pada sebagian besar GIS membutuhkan pembuatan *file geodatabase*, yang dalam hal ini diselesaikan melalui alat ArcCatalog. Pada gilirannya, *file geodatabase* memadukan *dataset fitur*, yang direferensikan dalam sistem koordinat yang sama yang disebutkan dalam langkah sebelumnya, yang mencakup kelas fitur, seperti garis (digunakan untuk mewakili jalur atau lintasan) dan titik (digunakan untuk menentukan penggalian, timbunan, dan pembuangan). Elemen-elemen ini terdiri dari jaringan itu sendiri dan ditambahkan pada lapisan yang berbeda di atas gambar asli, menggunakan georeferensi yang sama dengan yang terakhir. Dengan demikian, gambar digunakan sebagai referensi untuk posisi dan dimensi jalan, jalur dan zona konstruksi di mana peralatan mekanik dapat bekerja atau melakukan perjalanan. Jalan dan jalur, yang terkait dengan kelas fitur garis dihamparkan pada gambar bergeoreferensi sebelumnya, sesuai dengan garis merah yang digambarkan pada Gambar 6.8.



Gambar 6.8 Definisi dan Rute Pergerakan Peralatan Mekanis

Citra georeferensi juga berfungsi sebagai referensi untuk mengidentifikasi front kerja di lokasi konstruksi (ditentukan oleh kelas fitur titik). Beberapa atribut yang diperlukan untuk menganalisa jaringan berikutnya sudah dapat didefinisikan dalam fase ini. Atribut sesuai dengan kolom yang ada dalam tabel atribut dari fitur garis/titik yang sesuai.

Dalam implementasi lapangan, cukup mudah untuk menyimpulkan bagaimana informasi yang dikompilasi dalam matriks biaya dapat digunakan dalam penentuan produktivitas peralatan mekanis. Bahkan, akses ke spesifikasi peralatan memberikan pemahaman tentang kapasitas *on-the-job*-nya, yang, bersama dengan data GIS yang dikumpulkan mengenai waktu tempuh antara front kerja, memungkinkan untuk memperkirakan produktivitas satu truk dalam kondisi tertentu. Selain itu, sebagaimana dibahas pada bagian sebelumnya, dengan mengingat bahwa produktivitas maksimum dari setiap tugas (dalam garis produksi pekerjaan tanah) seharusnya tidak melebihi produktivitas sebelumnya, jumlah optimal dari truk di setiap kegiatan dapat ditentukan. Memanfaatkan pengetahuan ini, maka menjadi mungkin untuk mengalokasikan peralatan mekanis yang tersedia jika diperlukan, tergantung pada kebutuhan produktivitas

Selanjutnya simulasi juga dapat menampilkan pengaruh pada hasil analisis optimasi terkait dengan penyesuaian yang dibuat untuk menunjukkan perbandingan original alokasi dan optimasi alokasi. Simulasi tersebut di atas adalah bentuk *tools* tambahan bagi para *stakeholder* didalam melaksanakan manajemen peralatan pemindahan tanah mekanis. Sistem ini dirancang agar model prediksi produktivitas peralatan mekanis, model optimasi dan proses DSS bisa dengan sederhana dipahami secara terintegrasi.

B

A

G

I

A

N

7

PENUTUP

Pengembangan model dalam buku ini dilakukan sebanyak 3 tahap, yaitu pengembangan model prediksi produktivitas peralatan mekanis, model optimasi pekerjaan pemindahan tanah, dan terakhir model DSS. Model prediksi produktivitas dikembangkan dengan melakukan pendekatan dan pendalaman DM. Selanjutnya GA dimanfaatkan untuk menyelesaikan MOO dalam tahapan optimasi, dan terakhir pendekatan GIS digunakan untuk menyusun aplikasi *interface* bagi para pengguna sebagai penyederhanaan dari konsep DSS yang dikembangkan. Pengembangan model dengan pendekatan DM dimulai dengan menggunakan data awal pada tahapan *learning*, kemudian masuk tahapan *test* dan terakhir tahapan validasi.

Teknik DM, terutama algoritma ANN dan SVM terbukti menjadi alat yang kuat untuk memprediksi dan menginterpretasi nilai produktivitas peralatan mekanis. Pendekatan ini mampu menjalankan tahapan *learning* dengan akurasi yang tinggi dan mampu menggambarkan hubungan yang kompleks antara perubahan nilai produktivitas dengan kombinasi peralatan sebagai faktor yang berkontribusi. Berdasarkan studi kasus yang dilakukan, pendekatan model ANN mencapai kinerja yang tinggi dengan R^2 mencapai 0,89 sebagai indikator kinerja serta nilai error didapatkan MAD 0,48 dan RMSE 0,62.

Berdasarkan algoritma GSA, ditunjukkan bahwa kontribusi terbesar adalah *Compaction*. Hal ini membuktikan bahwa perubahan produktivitas sangat dipengaruhi oleh kombinasi peralatan yang tepat. Berdasarkan uji hipotetikal melalui implementasi model optimasi, dihasilkan bahwa optimasi MOO dengan pendekatan *pareto optimality* dengan generate 0, 10, 20, 50, dan 100 memberikan pilihan optimasi yang cukup baik. MOO dapat memberikan model optimasi yang mempertimbangkan berbagai kondisi secara menyeluruh.

Konsep DSS dengan aplikasi QGis dan ArcInfo yang dikembangkan mampu menampilkan aplikasi *interface* yang sederhana dan mampu memberikan pemahaman kepada para *stake holder* untuk melaksanakan optimasi pemindahan tanah mekanis pada pekerjaan jalan tol dengan langkah sederhana dan menyeluruh. Konsep *interface* cukup sederhana dan fleksibel dapat dikembangkan kembali sesuai dengan kebutuhan lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abo-Sinna, M., & Amer, A. (2005). Extensions of TOPSIS for multi-objective large-scale nonlinear programming problems. *Journal of Applied Mathematics and Computation* 162, 243–256.
- Ahn, S., Dunston, P., Kandil, A., & Martinez, J. (2015). Process Mining Technique for Automated Simulation Model Generation Using Activity Log Data. *In Computing in Civil Engineering*, 636-643.
- 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.
- Alshibani, A., & Moselhi, O. (2016). Productivity based method for forecasting cost & time of earthmoving operations using sampling GPS data. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 21(3), 39-56.
- 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.
- Assefa Tschayae, A., & Robinson Fayek, A. (2016). Developing and Optimizing Context-Specific Fuzzy Inference System-Based Construction Labor Productivity Models. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(7), 04016017.
- Ashish, S., & Pardeep, K. G. (2016). Cost and Productivity Analysis of Equipment's for Flexible Pavement-A Case Study. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 03, 965-969.
- Aziz, R. F., & Aboel-Magd, Y. R. (2015). Suitably selection for earthwork equipment in Egyptian sites. *International Journal of Education and Research*, 3(1), 539-550
- Bakko, A. I., & Horvath, Z. (2011). Decision Supporting Model for Highway Maintenance. *Journal of Computing in Civil Engineering*.
- 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.
- 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*
- Biatna, D., Denny, & Dhandy. (2005). Studi Standar Teknik Sampling dan Ukuran. *Jurnal Standardisasi*, 41-45.
- Chambers, J. M. (2008). *Software for Data Analysis: Programming with R*. Springer-Verlag.
- Chou, J.-S. (2009). Web-based CBR system applied to early cost budgeting for pavement maintenance project. *Expert Systems with Applications*, 2947–2960.
- Chou, J.-S. (2008). Applying AHP-Based CBR to Estimate Pavement Maintenance Cost. *Tsinghua Science and Technology*, 114-120.
- Cortez, P. (2010). Data Mining with Neural Networks and Support Vector Machines Using the R/rminer Tool. *10th Industrial Conference on Data Mining (ICDM 2010)*, (p. Lecture Notes in Artificial Intelligence 6171). Advances in Data Mining.
- Cortez, P., & Embrechts, M. (2013). Using sensitivity analysis and visualization techniques to open black box data mining model. *Information Sciences*, 1-17.
- Coutinho-Rodrigues, J., Simão, A., & Antunes, C. H. (2011). A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. *Decision Support Systems*, 51(3), 720-726.
- 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.
- Ertel, W. (2009). *Introduction to Artificial Intelligence*. Springer, ISBN 9780857292988
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). From data mining to knowledge discovery in databases. *AI magazine*, 37-54.
- Fu, T. C. (2011). A review on time series data mining. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(1), , 164-181.

- Freitas, A. A. (2013). *Data mining and knowledge discovery with evolutionary algorithms*. Springer Science & Business Media.
- 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.
- Gwak, H., Yi, C., & Lee, D. (2014). Methodology for Selecting Optimal Earthmoving Haul-Routes using Genetic Algorithm. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 30(3), 141-150.
- Henderson, D., Vaughan, D., Jacobson, S., Wakefield, R., & Sewell, E. (2003). Solving the shortest route cut and fill problem using simulated annealing. *European Journal of Operational Research*, 145(1), 72-84.
- Heersink, D. K., & Furrer, R. (2013). Sequential spatial analysis of large datasets with applications to modern earthwork compaction roller measurement values. *Spatial Statistics*, 6, 41-56.
- Herabat, P., & Tangphaisanakun, A. (2005). Multi-Objective Optimization Model using Constraint-Based Genetic Algorithms for Thailand Pavement Management. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 1137 - 1152.
- Jahanshahloo, G., Hosseinzadeh, L., & Izadikhah, M. (2006). An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval data. *Journal of Applied Mathematics and Computation*, 1375–1384.
- Kang, M.-W., Jha, M. K., & Schonfeld, P. (2012). Applicability of highway alignment optimization models. *Transportation Research*, 257-286.
- Kantardzic, M. (2011). *Data mining: concepts, models, methods, and algorithms*. John Wiley & Sons.
- Koo, C., Hong, T., & Kim, S. (2015). An integrated multi-objective optimization model for solving the construction time-cost trade-off problem. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(3), 323-333.

- 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.
- Lu, P., & Tolliver, D. (2013). Multiobjective Pavement-Preservation Decision Making with Simulated Constraint Boundary Programming. *Journal of Transportation Engineering*, 139(9), 880-888.
- Lyer, P. S. (2008). *Operation Research*. Tata McGraw-Hill Education.
- Markiz, N., & Jrade, A. (2016). An Integrated Expert System for Linear Scheduling Heavy Earthmoving Operations. *Journal of Construction Engineering*.
- Maksimychev, 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.
- 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.
- Montaser, A., & Moselhi, O. (2014). Truck+ for earthmoving operations. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 19(25), 412-433.
- Mukhopadhyay, A., Maulik, U., Bandyopadhyay, S., & Coello Coello, C. (2014). A survey of multiobjective evolutionary algorithms for data mining: Part I. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 18(1), 4-19.
- Ottosson, R. O., Engström, P. E., Sjöström, D., Behrens, C. F., Karlsson, A., Knöös, T., & Ceberg, C. (2009). The feasibility of using Pareto fronts for comparison of treatment planning systems and delivery techniques. *Acta Oncologica*, 48(2), 233-237.

- Pan, Y., & Hou, L. (2016). Lifting and parallel lifting optimization by using sensitivity and fuzzy set for an earthmoving mechanism. , . Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 0954407016660454.
- 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 .
- Parente, M. C. (2016). A Novel Integrated Optimization System for Earthwork Tasks. Transportation Research Procedia, 14, 3601-3610.
- 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.
- 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.).
- Ramesh, R., & Zionts, S. (2013). Multiple criteria decision making. In Encyclopedia of Operations Research and Management Science (pp. 1007-1013). Springer US.
- Rashidi, A., Nejad, H., & Maghiar, M. (2014). Productivity estimation of bulldozers using generalized linear mixed models. . KSCE Journal of Civil Engineering, 18(6), 1580-1589.
- Saha, P., & Ksaibati, K. (2015). A risk-based optimisation methodology for pavement management system of county roads. . International Journal of Pavement Engineering, 1-11.
- 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.
- Stankovic, L., Elafoudi, G., Tachtatzis, C., Andonovic, I., Cassels, G., & Fickling, A. (2015, May). Decision support system for proactive maintenance of earthworks assets. In World Water Congress XV.

- Subramani, T., & Rajiv, S. (2016). Improving Construction Efficiency And Productivity Of Industry Using SPSS. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM)*, 5(5), 239-250.
- Su, Z., & and Dong, C. (2013). Milling Parameter Optimization Based on Quantum-behaved Particle Swarm Optimization Algorithm. *Meikuang Jixie(Coal Mine Machinery)*, 34(5), 151-153.
- Tatsuoka, F., & Correia, A. G. (2018). Importance of Controlling the Degree of Saturation in Soil Compaction linked to Soil Structure Design. *Transportation Geotechnics*.
- 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.
- Vahdatikhaki, F., & Hammad, A. (2014). Framework for near real-time simulation of earthmoving projects using location tracking technologies. *Automation in Construction*, 42, 50-67.
- Varela-González, M., Solla, M., Martínez-Sánchez, J., & Arias, P. (2014). A semi-automatic processing and visualisation tool for ground-penetrating radar pavement thickness data. *Automation in Construction* 45, 42-49.
- Venables W, N., & Ripley B, D. (2000). *S Programming*. New York.: Springer-Verlag.
- Wang, I.-L., James, Y.-C. T., & Li, F. (2011). A network flow model for clustering segments and minimizing total maintenance and rehabilitation cost. *Computers & Industrial Engineering*, 593-601.
- Wang, X. Z. (2012). *Data mining and knowledge discovery for process monitoring and control*. Springer Science & Business Media.
- Wu, X., Zhu, X., Wu, G. Q., & Ding, W. (2014). Data mining with big data. *Knowledge and Data Engineering*. , *IEEE Transactions on*, 26(1), 97-107.

GLOSARIUM

AI	: Artificial Intellegence
ANN	: Artificial Neural Network
DBMS	: Data-base Management System
DM	: Data Mining
DSS	: Decision Support System
GA	: Genetic Algorithms
GIS	: Geographical Information System
KDD	: Knowledge Discovery from Database
MOO	: Multi-Objective Optimization
SVM	: Support Vector Machine

INDEKS

A

Arsitektur Model, 56, 58
Artificial Intillegence, 29
Artificial Neural Network, 100

B

breaking, 7

C

compacting, 7
Cycle Time, 10, 46

D

Data Mining, 1, 3, 4, 94, 96,
97, 100
Decision Support System, 37,
100
digging, 7, 8
Distance, 15
dumping, 7, 15, 19
Dumpingtime, 19
Dumptruck, 46

E

Excavator, 43, 44

F

filling, 7

G

Genetic Algorithms, 95, 100

Geographical Information
System, 31, 100

Grade, 14

H

Haul Road, 14

I

Interpretasi, 52

J

Jalan Angkut, 14
Jarak, 15, 81

K

Kemiringan, 13, 14

L

leveling, 7
Loaded Haul, 19
Loading Time, 19
loosening, 7

M

Multi Objective Optimization,
32

O

Objective, 22, 32, 75, 76, 95, 100

P

Pemadatan, 48

Pemindahan Tanah Mekanis, 1,
3, 4

Pemodelan, 51, 55, 56, 57, 68,
69, 79

Q

Queuing Time, 18

R

R-Tools, vi

S

Shovel, 18, 19

spreading, 7, 47

Support Vector Machine, 100

T

Tools, 68, 72

transporting, 7

V

Validasi, 55

Percepatan pembangunan harus didukung oleh kemampuan penyelenggara jalan dalam proses pembangunan, salah satunya pekerjaan pemindahan tanah mekanis. Data histori pemindahan tanah mekanis dapat dimanfaatkan sebagai basis data pengetahuan yang dapat diolah oleh pendekatan data mining untuk dilakukan interpretasi dan prediksi produktivitas. Buku ini berisi pengembangan *decision support system* pemindahan tanah mekanis pada pekerjaan konstruksi jalan tol dengan implementasi pendekatan menggunakan data historis pekerjaan jalan tol di Indonesia.

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 dan Liquefaksi Palu dengan Pendanaan World Bank. Dalam bidang penelitian, sudah puluhan jurnal internasional yang dipublikasikan dan beberapa buku yang diterbitkan. Penggiat gowes ini pun cukup sering menjadi pembicara dalam beberapa seminar nasional dan internasional yang diselenggarakan berbagai pihak.