

**OPTIMASI PENJADWALAN POLA KERJA-CUTI
OPERATOR PADA PERUSAHAAN KONTRAKTOR
PENAMBANGAN DENGAN METODE *DIFFERENTIAL
EVOLUTION ALGORITHM***

SKRIPSI

**ARTHUR DIAS
04 05 07 00 62**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Arthur Dias

NPM : 0405070062

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Arthur Dias
NPM : 0405070062
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Optimasi Penjadwalan Pola Kerja-Cuti Operator
pada Perusahaan Kontraktor Penambangan
dengan Metode *Differential Evolution Algorithm*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana S1 pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Boy Nurtjahyo, MSIE ()
Penguji : Ir. Hj. Erlinda Muslim, MEE ()
Penguji : Ir. Akhmad Hidayatno, MBT ()
Penguji : Dr. Ir. Teuku Yuri MZ., M.Eng.Sc. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus--Sahabat yang paling setia--yang selalu menuntun, memberkati, menyertai penulis terutama dalam menyusun dan mengerjakan skripsi ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Selain itu penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Adapun pihak-pihak tersebut antara lain:

1. Kedua orang tua dan anggota keluarga lainnya dalam memberikan dukungan, semangat, motivasi dan doa.
2. Bapak Ir. Boy Nurtjahyo, MSIE selaku dosen pembimbing yang telah memberikan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam menyusun skripsi.
3. Bapak Ir. Amar Rachman, MEIM, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan konsultasi dan masukan penting dalam menyelesaikan skripsi.
4. Bapak Ir. Sri Bintang Pamungkas, Bapak Armand Oemar Mois, ST, MSC. yang telah memberikan kritik dan saran saat seminar.
5. Bapak Gamma, yang telah memberikan topik skripsi dan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian di PT Pamapersada Nuantara.
6. Bpk. Darwin dan Bpk Ruli yang telah memberikan banyak masukan terhadap aplikasi program yang dibuat.
7. Bpk Komar yang telah mengajarkan metode DE dan sangat memberikan inspirasi dalam penyusunan skripsi ini..
8. Ibu Deni selaku dosen matematika UI yang telah meluangkan waktunya untuk menjelaskan tentang metode heuristik.
9. Christansen, Heri, dan Deka yang selalu memberikan semangat, keceriaan di saat suka maupun duka.
10. Pipop, Najwa, Keshia, Yopi sebagai teman-teman seperjuangan DE yang telah berbagi ilmu pengetahuan yang dimilikinya.

11. Teman-teman Gereja yang telah mendukung dan selalu membantu dalam doa.
12. Asisten dosen mata kuliah dasar komputer angkatan 2006 yang telah memberikan penulis kesempatan untuk mempelajari VBA Ms.Excel
13. Teman-teman angkatan 2005 lain yang telah memberikan dukungan.

Penulis menyadari bahwa laporan ini jauh dari sempurna. Untuk itu penulis mohon maaf atas segala kekurangan dan keterbatasan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dikemudian hari.

Depok, 24 Juni 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Arthur Dias
NPM : 0405070062
Program Studi : Teknik Industri
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Optimasi Penjadwalan Pola Kerja-Cuti Operator pada Perusahaan Kontraktor Penambangan dengan Metode *Differential Evolution Algorithm*”

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Nonekklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilih Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 24 Juni 2009

Yang menyatakan

(Arthur Dias)

ABSTRAK

Nama : Arthur Dias
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Optimasi Penjadwalan Pola Kerja-Cuti Operator pada Perusahaan Kontraktor Penambangan dengan Metode *Differential Evolution Algorithm*

Permasalahan utama dalam membuat penjadwalan operator di perusahaan penambangan yang menerapkan sistem *shift* adalah bagaimana mengalokasikan operator pada setiap *shift* dan menentukan pola kerja-cuti untuk setiap *shift* sehingga meminimalkan standar deviasi pendapatan antar operator dan meminimalkan jumlah jam mesin yang tidak terpakai.

Metode optimasi yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan ini, dilakukan dengan menggunakan *algoritma differential evolution*. Metode ini mempunyai pendekatan heuristik dimana hasil yang didapat merupakan solusi optimal lokal.

Selama penjadwalan dalam 2 bulan, didapat hasil akhir, yaitu standar deviasi pendapatan antar operator sebesar \$141 atau turun sebesar 77.4% dari kondisi awal perusahaan. Jumlah jam mesin *dump truck* dan *excavator* yang *idle* sebesar 17686 dan 3021. Keduanya mengalami penurunan $\pm 30\%$ dari kondisi awal perusahaan

Kata kunci :
Penjadwalan operator, *algoritma differential evolution*, optimasi

ABSTRACT

*Name : Arthur Dias
Study Program : Industrial Engineering
Title : Optimization of Days-off Scheduling in Coal Mining Industry with Differential Evolution Algorithm.*

The main problem of work scheduling in coal mining industry is determining the combination of day-off scheduling for each shift and finding the allocation of their manpower for satisfying operational duties for each days. The objectives are to evenly distribute the income among the operators and minimize the number of hour-machine which is not utilized.

The optimization method used to solve the problem is by using heuristical approach with differential evolution algorithm. The algorithm will find the local optimal solution of all the feasible solution generated.

The final result for 8 weeks scheduling show operator's income deviation with \$141 or significantly decreased up to 77.4%. Total hour-machine for dump trucks and excavators are 17686 and 3021. Both of them show satisfaction decreased until $\pm 30\%$ compared to the current condition.

*Keywords:
Scheduling, differential evolution algorithm, Optimization*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMAKASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 DIAGRAM KETERKATIAN MASALAH	3
1.3 PERUMUSAN PERMASALAHAN	3
1.4 TUJUAN PENELITIAN	5
1.5 RUANG LINGKUP PENELITIAN	5
1.6 METODOLOGI PENELITIAN	6
1.7 SISTEMATIKAPENELITIAN	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 <i>WORKFORCE SCHEDULING</i>	10
2.1.1 Penjadwalan hari kerja dan cuti	11
2.1.2 <i>Shift Scheduling</i>	12
2.2 ALGORITMA DIFFERENTIAL EVOLUTION	14
2.2.1 Sejarah Perkembangan DE	15
2.2.2 Konsep Dasar	16
2.2.3 Tahapan Pengerjaan Algoritma DE	17
BAB 3 PENGUMPULAN DATA	26
3.1 PROFIL PERUSAHAAN	26
3.1.1 Sejarah Singkat	26
3.1.2 Nilai-Nilai Perusahaan	26
3.1.3 Struktur Organisasi	28
3.1.4 Proses Bisnis	28
3.2 PENGUMPULAN DATA	30
3.2.1 Jadwal Kerja setiap <i>Shift</i>	30
3.2.2 Pola Kerja dan cuti	31
3.2.3 Pola Rotasi Shift	32
3.2.4 Biaya per Jam Operator	34
3.2.5 Jumlah Mesin <i>Excavator</i> dan <i>Dump truck</i>	34
3.2.6 Jumlah Operator mesin <i>Excavator</i> dan <i>Dump truck</i>	36
3.2.7 <i>Physical Availability(PA)</i>	37
BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA	38
4.1 INPUT DATA	38
4.1.1 Data	38
4.1.2 Model Matematis	38

4.1.3	Parameter Kontrol.....	45
4.2	PENYUSUNAN ALGORITMA	45
4.2.1	Langkah-langkah Penyusunan Algoritma <i>Differential Evolution</i> ...	46
4.2.2	Verifikasi dan Validasi Program	50
4.3	PENGOLAHAN DATA DAN HASIL.....	53
4.3.1	Optimasi Standar Deviasi Pendapatan Operator antar <i>Shift</i>	53
4.3.2	Hasil Optimal Meminimalkan Standar Deviasi Pendapatan antar Operator.....	54
4.3.3	Optimasi Jumlah Jam Mesin <i>Idle</i>	55
4.3.4	Hasil optimal jam mesin <i>idle</i> mesin <i>Dump truck</i>	56
4.3.5	Hasil Optimal Jam Mesin <i>idle</i> pada mesin <i>Excavator</i>	58
4.4.	ANALISA.....	59
4.4.1	Analisa Metode.....	60
4.4.2	Analisa Program	61
4.4.3	Analisis Hasil.....	64
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		75
5.1.	KESIMPULAN	75
5.2.	SARAN.....	76
DAFTAR REFERENSI		77
LAMPIRAN		79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Algoritma Proses Pindah Silang.....	23
Tabel 2.2 Algoritma Proses Seleksi	24
Tabel 3.1 Pembagian Jam Kerja Setiap Shift	31
Tabel 3.2 Pola Kerja–Cuti	32
Tabel 3.3 Jumlah Mesin <i>Excavator</i> dan <i>Dump truck</i>	25
Tabel 3.4 Jumlah Operator <i>Excavator</i> dan <i>Dump truck</i>	26
Tabel 4.1 Parameter Kontrol DE.....	45
Tabel 4.2 Verifikasi Pendapatan Operator.....	52
Tabel 4.3 Solusi Optimal Standar Deviasi Pendapatan Operator	54
Tabel 4.4 Pola perpindahan <i>shift</i> pada solusi optimal	55
Tabel 4.5 Solusi Optimal Jam Mesin <i>Idle</i> untuk <i>Dump Truck</i>	57
Tabel 4.6 Jumlah Jam Mesin <i>idle Dump Truck</i> Optimal.....	57
Tabel 4.7 Solusi Optimal Jam Mesin <i>Idle</i> untuk Mesin <i>Excavator</i>	58
Tabel 4.8 Jumlah Jam Mesin <i>Idle</i> Optimal Mesin <i>Excavator</i>	59
Tabel 4.9 Jumlah Iterasi untuk Berbagai Metode Optimasi	62
Tabel 4.10 Hasil optimal dan waktu komputasi.....	63
Tabel 4.11 Standar Deviasi Pendapatan pada kebijakan Perusahaan.....	65
Tabel 4.12 Pola perpindahan shift pada Kebijakan Perusahaan	65
Tabel 4.13 Alokasi operator Excavator sesuai Kebijakan Perusahaan	66
Tabel 4.14 Jam Mesin Idle Dump Truck sesuai Kebijakan Perusahaan	66
Tabel 4.15 Alokasi operator <i>Excavator</i> sesuai Kebijakan Perusahaan	67
Tabel 4.16 Mesin idle <i>Excavator</i> sesuai Kebijakan Perusahaan.....	68
Tabel 4.17 Perbandingan Hasil Standar Deviasi Pendapatan	69
Tabel 4.18 Total Jam Kerja Operator	70
Tabel 4.19 Perbandingan Hasil jumlah jam mesin <i>idle dump truck</i>	71
Tabel 4.20 Perbandingan Hasil jumlah jam mesin <i>idle Excavator</i>	71
Tabel 4.21 Tingkat Utilisasi mesin <i>Dump Truck</i>	73
Tabel 4.22 Tingkat Utilisasi mesin <i>Excavator</i>	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah	4
Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	7
Gambar 2.1 Klasifikasi Dari Metode Optimasi.....	18
Gambar 2.2 Aplikasi DE Pada Berbagai Permasalahan.....	18
Gambar 2.3 Diagram Alir Pengerjaan Algoritma DE	20
Gambar 2.4 Representasi Proses <i>Differential Evolution</i>	21
Gambar 2.5 Mendapatkan Ajuan Solusi Pada DE	25
Gambar 3.1 Struktur Organisasi PAMA.....	28
Gambar 3.2 <i>Business Process</i> PAMA.....	29
Gambar 3.3 <i>Dump Truck</i>	35
Gambar 3.4 <i>Excavator</i>	36
Gambar 4.1 Diagram Alir Optimasi Menggunakan Algoritma DE	49
Gambar 4.2 Hasil Optimal VS waktu komputasi.....	64
Gambar 4.3 Kebijakan Perusahaan VS Hasil Optimal DE (<i>Dump Truck</i>).....	72
Gambar 4.3 Kebijakan Perusahaan VS Hasil Optimal DE (<i>excavator</i>)	72

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Data Jumlah Mesin site KPCS
- Lampiran 2** Output Penjadwalan 8 Minggu Mesin Dump Truck
- Lampiran 3** Output Penjadwalan 8 Minggu Mesin Excavator



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Melaksanakan pekerjaan secara efektif dan efisien agar tujuan perusahaan tercapai adalah suatu hal yang diinginkan oleh semua manajemen perusahaan. Bagaimana pekerjaan diatur, sangat bervariasi untuk setiap perusahaan, hal ini tergantung pada aktivitas atau beban kerja dan filosofi setiap perusahaan. Pada umumnya, untuk setiap perusahaan yang melakukan operasi kegiatannya selama 7 hari per minggu untuk setiap tahunnya memerlukan adanya sistem *shift* untuk para pekerja dan pada umumnya dilakukan *rotating schedule* (pertukaran *shift*) setiap minggunya supaya dapat memberikan kesempatan yang sama bagi setiap pekerja supaya dapat merasakan *shift* yang berbeda¹.

Dengan menggunakan metode *shift*, seringkali memang memberikan rasa ketidaknyamanan bagi para pekerja. Metode *shift* dapat mempengaruhi kehidupan keluarga dan kehidupan sosial pekerja (Scott,1991). Dalam beberapa perusahaan, metode bekerja dengan *shift* sering mengundang banyak komplain dari pekerja. Hal ini terjadi karena adanya pembagian total jam kerja yang tidak sama antara satu pekerja dengan pekerja lainnya. Setiap perusahaan yang menerapkan sistem *shift* dalam perusahaannya, perlu menciptakan sistem *shift* yang baik yang dapat merotasikan pembagian *shift* dan membagi hari kerja maupun hari libur yang sama rata antara satu pekerja dengan pekerja lainnya. Laporte (1999) menyatakan bahwa pembuatan konsep penjadwalan merupakan sebuah karya seni.

Permasalahan *rostering* (penjadwalan operator) yang sering dihadapi setiap perusahaan yang menerapkan sistem *shift* adalah bagaimana menetapkan penjadwalan yang memperhitungkan hari kerja dan hari cuti para pekerja sehingga beban kerja setiap harinya dapat teprediksi dan tidak ada pekerjaan yang tertunda

¹ M Lezaun, G Perez dan E Sainz de La Maza, "Crew Rostering Problem in a public transport company", *Journal of the Operational Research Society*, 2006

atau terhambat karena kurangnya pekerja pada hari itu². Disamping itu perlu juga memperhatikan keadilan dan kesejahteraan setiap pekerjanya untuk dapat mendistribusikan hari kerja dan hari cuti yang sama rata terhadap para pekerja, tentunya dengan mempertimbangkan juga adanya rotasi *shift* yang baik, sehingga setiap pekerja dapat merasakan *shift* yang berbeda. Hal ini merupakan permasalahan yang rumit untuk diselesaikan dan memiliki banyak variasi penyelesaian masalah.

Perkembangan industri pertambangan yang diikuti dengan peningkatan kapasitas produksi menuntut penambahan investasi peralatan dan sumber daya manusia. Operator sebagai tenaga kerja terlatih yang mengoperasikan unit produksi menjadi satu elemen penting dalam keberlangsungan produksi. Ketersediaan operator berarti menjamin kesiapan unit untuk beroperasi. Demikian pula jika operator tidak tersedia, maka mesin pun tidak bisa dioperasikan dan perusahaan harus menanggung biaya depresiasi yang cukup besar dengan utilisasi yang sangat rendah.

Dalam mengalokasikan operator untuk melakukan operasi penambangan di PT Pamapersada Nusantara dilakukan dengan menggunakan metode *shift*, hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kelelahan yang pasti akan dialami oleh operator jika dia bekerja terlalu lama. Sistem *shift* yang diterapkan di PT Pamapersada Nusantara adalah 2 *shift* (12 jam kerja/*shift*) atau 3 *shift* (8 jam kerja/*shift*). Selain pola *shift*, strategi yang dilakukan perusahaan agar operator tidak jenuh atau lelah karena bekerja terus menerus adalah menentukan pola kerja-cuti untuk setiap *shift*. Contoh: pola 4-2 berarti operator bekerja selama 4 hari berturut-turut sesuai *shift*-nya kemudian dilanjutkan 2 hari libur.

Kombinasi pola kerja dan pola cuti yang diterapkan untuk masing-masing *shift* akan sangat dipengaruhi oleh jumlah operator yang ada di *site*. Jika jumlah operator tidak cukup, maka kombinasi kedua pola tersebut dapat berjalan tidak optimal yang dampaknya adalah pada waktu tunggu mesin yang tinggi. Jika waktu tunggu mesin tinggi maka utilisasi (UA) akan rendah. Untuk meminimalisasi terjadinya mesin tidak terpakai atau dalam kondisi *no operator* (jumlah operator tidak mencukupi jumlah mesin yang tersedia), maka perlu adanya penjadwalan

² Paola Capanera, "A Multicommodity Approach to the Crew Rostering Problem", *Journal of the Operational Research* vol 52 No.4, 2004

operator yang baik yang dapat mencari optimasi kombinasi antara pola kerja dan pola cuti untuk masing-masing *shift* dan juga pengalokasian operator ke setiap *shift*.

Pada masalah penjadwalan pola kerja-cuti operator, solusi yang dihasilkan sangat bervariasi dan memiliki banyak kombinasi. Untuk itu, pendekatan heuristik sangat cocok untuk diterapkan. Dengan menggunakan pendekatan heuristik, hasil yang didapat merupakan solusi yang mendekati optimal. Metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan dalam mengoptimalkan antara pola kerja-cuti dan pengalokasian operator adalah menggunakan algoritma *Differential Evolution* (DE) yang merupakan pengembangan dari *Genetic Algorithm* (GA).

Prinsip DE dibuat berdasarkan pada konsep evolusi biologi, yang terdiri dari proses inisialisasi populasi proses mutasi, proses pindah silang, dan proses penyeleksian. DE banyak menggunakan acak sampling sehingga akan menghasilkan penyelesaian berbeda meskipun model awalnya tidak dirubah. DE akan menggabungkan elemen-elemen dari solusi-solusi yang telah ada untuk menciptakan solusi baru dengan mewarisi ciri-ciri yang dimiliki oleh tiap orang tua³. Keunggulan DE adalah strukturnya yang sederhana, mudah diimplementasikan, cepat dalam mencapai tujuan, dan bersifat tangguh.

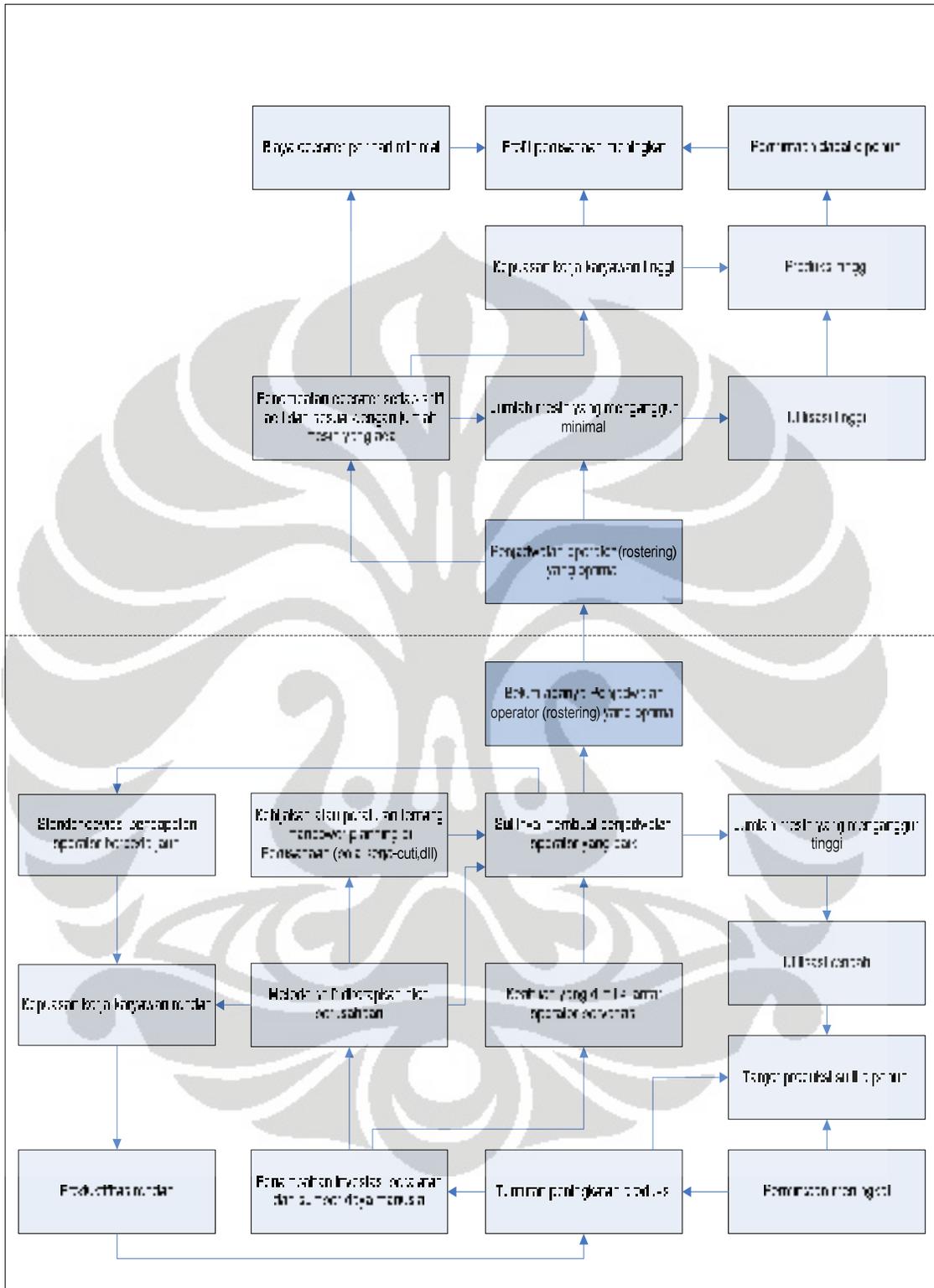
1.2 DIAGRAM KETERKAITAN MASALAH

Untuk memberikan gambaran umum mengenai permasalahan apa saja yang mungkin terjadi dan akibat dari solusi yang diberikan, maka disusun sebuah diagram keterkaitan masalah seperti terlihat pada gambar 1.1

1.3 PERUMUSAN PERMASALAHAN

Penjadwalan operator dilakukan oleh bagian *Manpower*. Penjadwalan ini disesuaikan dengan *Physical Availability* (PA) mesin pada hari tersebut. Dengan jumlah operator dan jumlah mesin yang tersedia saat ini di perusahaan, masih sering terjadi situasi dimana mesin tidak digunakan sepenuhnya karena operator yang ada pada saat itu tidak mencukupi.

³ K.V. Price “*An Introduction to Differential Evolution*”, *New Ideas in Optimization*, pages 79-108. Mc graw-Hill, UK, 1999



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

Ketika suatu pola kerja-cuti sudah ditetapkan, jumlah karyawannya tidak cukup untuk mendukung pola kerja yang ada dan dampaknya adalah potensi terjadinya kekurangan operator pada suatu periode tertentu. Oleh karena itu, pokok permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah belum optimalnya penjadwalan untuk pengalokasian jumlah operator dan pola kerja-cuti untuk masing-masing *shift* sehingga jumlah mesin yang tidak terpakai tinggi.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Output yang diperoleh adalah mendapatkan kombinasi dari pola kerja-cuti untuk masing-masing *shift* dan pengalokasian operator yang paling optimum sehingga meminimalkan jumlah mesin yang tidak terpakai dan juga meminimumkan standar deviasi pendapatan operator antar *shift*. dengan kendala utama atau variabel yang disesuaikan adalah jumlah operator, jumlah mesin yang tersedia dan kebijakan-kebijakan lain yang ditetapkan oleh perusahaan.

Untuk memudahkan perencanaan pengaturan jadwal operator yang akan datang, maka akan dikembangkan suatu aplikasi dengan menggunakan Ms. Excel yang dapat digunakan user terkait dalam perencanaan pengaturan operator dan menghasilkan penjadwalan operator.

1.5 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Untuk mendapatkan hasil yang spesifik dan terarah, maka dalam penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

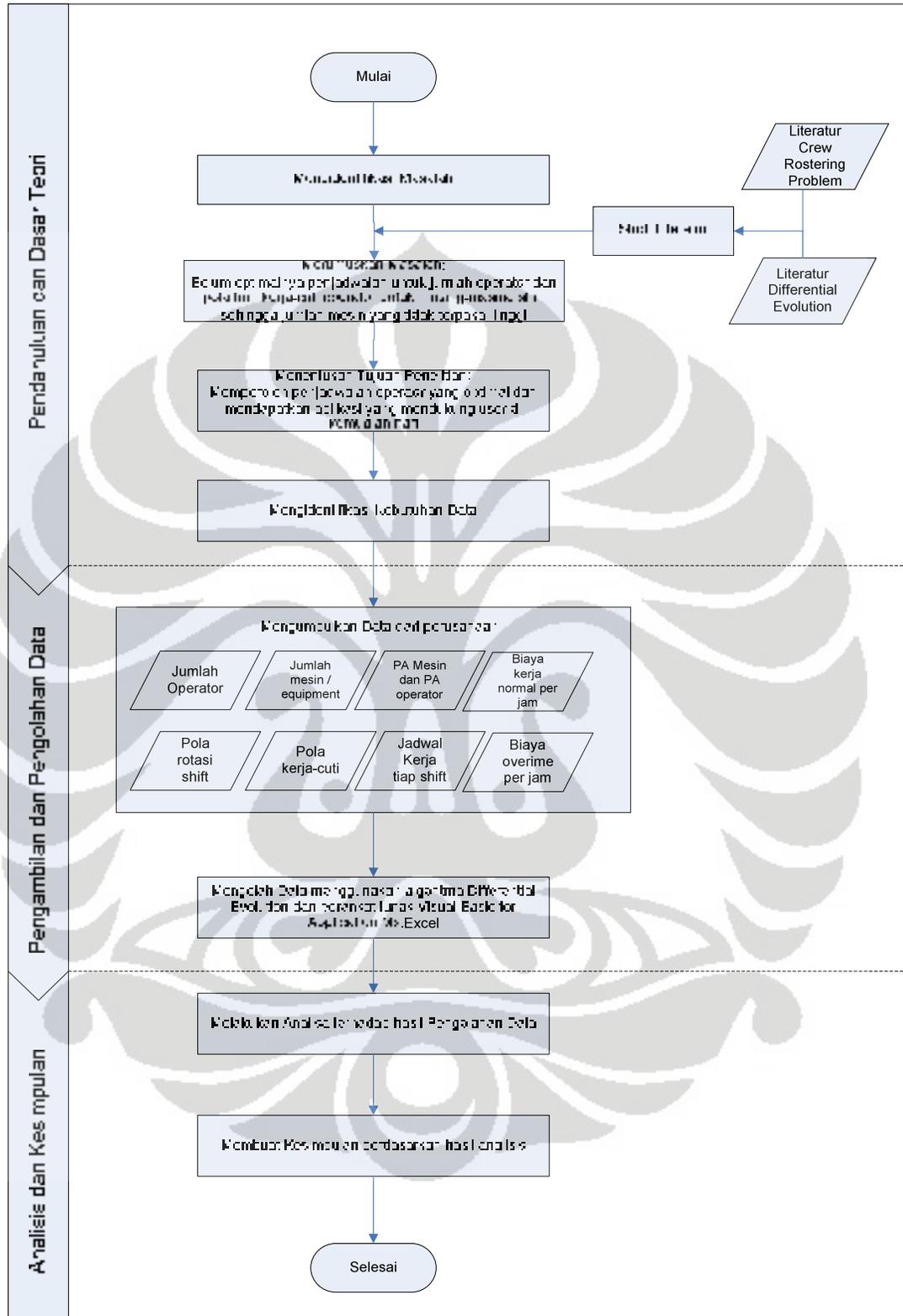
1. Dari 11 site penambangan yang dieksploitasi oleh PT Pamapersada Nusantara, penelitian hanya difokuskan pada site KPCS (*KalTim Prima Coal Sangata*).
2. Penjadwalan operator dilakukan pada operator produksi yang terdiri dari operator *excavator* dan operator *dump truck*.
3. Pendekatan yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan optimasi penjadwalan operator adalah dengan menggunakan metode *Differential Evolution Algorithm*.
4. Penulisan *source code* dan perhitungan nilai optimum pada metode DE dilakukan dengan menggunakan *Visual Basic for Application* (VBA) Microsoft Excel

5. Penjadwalan dilakukan selama 8 minggu (2 bulan) dengan memperhitungkan pola *rotating schedule*.

1.6 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam menjelaskan bagaimana langkah-langkah penelitian yang harus dilakukan dari permasalahan yang menjadi solusinya dapat dilihat pada gambar 1.2. Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada PT Pamapersada Nusantara
2. Mengumpulkan dan menyusun studi literatur yang berkaitan dengan masalah yang telah diidentifikasi. Literatur utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengenai *Crew Rostering Problem* dan *Differential Evolution Algorithm*
3. Menentukan tujuan penelitian
4. Mengidentifikasi dan mengumpulkan data-data yang dibutuhkan, melalui dokumen perusahaan, wawancara dengan staf ahli, dan berdasarkan studi literatur. Data-data yang dibutuhkan antara lain adalah jumlah operator, jumlah mesin/equipment, *constraint* yang meliputi kebijakan perusahaan mengenai *manpower planning*, pola *shift*, jenis operator, pola kerja-cuti yang berlaku.
5. Mengolah data menggunakan algoritma *differential evolution* dengan perangkat lunak VBA Ms. Excel
6. Menganalisis hasil pengolahan data dengan membandingkan antara teori terkait dengan kebijakan perusahaan selama ini.
7. Membuat kesimpulan berdasarkan hasil analisis.



Gambar 1.2 Diagram alir metodologi penelitian

1.7 SISTEMATIKA PENELITIAN

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan standar baku penulisan skripsi yang telah ditetapkan. Penulisan dibagi menjadi lima bab, yaitu bab pertama adalah pendahuluan, bab kedua dasar teori, bab ketiga pengumpulan data, bab keempat pengolahan data dan analisis, dan bab kelima merupakan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan. Berikut merupakan penjelasan singkat mengenai bab-bab yang ada dalam penulisan laporan ini:

- **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab kesatu merupakan pengantar dan ringkasan singkat proses yang akan dilakukan. Pada dasarnya bab ini menjelaskan 5W+1H, *Why, What, Where, When, Who dan How*. Dalam bab ini terdapat uraian tentang latar belakang permasalahan, diagram keterkaitan masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, metode penelitian dan sistematika penelitian.

- **BAB II : LANDASAN TEORI**

Bab kedua berisikan landasan teori penelitian yang dilakukan dari teori-teori yang didapat selama masa perkuliahan di Teknik Industri. Landasan teori utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengenai *Workforce Scheduling* dan *Differential Evolution Algorithm*

- **BAB III : PENGUMPULAN DATA**

Bab ketiga menjelaskan data-data yang dibutuhkan dan proses pengumpulan data yang dilakukan melalui studi lapangan, studi literatur, dan wawancara dengan staf ahli perusahaan. Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah data jumlah operator, jumlah mesin dan batasan-batasan lain yang berlaku di PT Pamapersada Nusantara.

- **BAB IV : PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS**

Bab keempat berisikan mengenai pengolahan data dan analisis. Untuk memperoleh tingkat optimal dari kombinasi hari kerja dan cuti untuk masing-masing *shift*, data akan diolah menggunakan metode algoritma *differential algorithm* dan dengan dibantu perangkat lunak VBA Ms. Excel. Langkah

selanjutnya akan dilakukan analisis untuk membandingkan hasil penelitian dengan kebijakan penjadwalan yang sudah ditetapkan di perusahaan.

- **BAB V : KESIMPULAN**

Bab kelima merupakan kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dan merupakan ringkasan dari pembahasan yang telah dilakukan.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *WORKFORCE SCHEDULING*

Workforce scheduling merupakan penjadwalan pekerja yang berhubungan dengan pengalokasian pekerja dan penempatan pekerja ke dalam *shift* yang dilakukan supaya dapat memenuhi permintaan dengan sumber daya yang bervariasi setiap saat⁴. Permasalahan yang umumnya terjadi pada proses penjadwalan ini biasanya dibatasi oleh peralatan atau *equipment* yang tersedia, dana, kebijakan perusahaan, jumlah tenaga kerja yang tersedia, dan lain-lain. Permasalahan penjadwalan yang terjadi adalah merupakan permasalahan yang berat.

Memahami konsep penjadwalan sangat penting untuk dilakukan oleh setiap perusahaan. Penjadwalan akan berimplikasi pada banyak hal, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan *asset* yang dimiliki perusahaan menjadi efektif sehingga investasi yang ditanamkan perusahaan akan memberikan hasil yang optimal.
2. Kapasitas yang akan digunakan akan lebih terukur sehingga jumlah output dapat dipastikan dan pelayanan kepada konsumen dapat lebih baik.
3. Penjadwalan yang baik akan mempercepat pengiriman produk kepada konsumen yang berarti dapat tercapai⁵ keunggulan kompetitif bagi perusahaan dalam pelayanan yang cepat.

⁴ Pinedo, Michael L. “*Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*” Springer. Ch 12. p. 289-291

⁵ Dwiningsih, Nurhidayati, SE, MM. “Penjadwalan”. Bab 11

2.1.1 Penjadwalan hari kerja dan cuti

Setiap pekerja diharuskan untuk bekerja sejumlah hari yang telah ditentukan dalam seminggu. Jumlah pekerja mungkin dapat berbeda-beda dari hari ke hari, namun kebutuhan yang harus dipenuhi tetap akan sama dari minggu ke minggu. Jumlah pekerja yang tersedia harus diatur dan ditempatkan pada hari-hari yang telah ditentukan. Permasalahan umum yang sering terjadi pada penjadwalan pekerja yang mempertimbangkan hari kerja dan cuti adalah menemukan jumlah operator yang paling minimal supaya permintaan dapat diselesaikan setiap harinya. Biasanya permasalahan ini mempunyai batasan sebagai berikut⁶:

- (i) Permintaan per hari, $n_j, j = 1, \dots, 7$, (n_1 adalah hari Minggu dan n_7 adalah hari Sabtu)
- (ii) Setiap pekerja mempunyai k_1 minggu cuti setiap bekerja selama k_2 minggu
- (iii) Setiap pekerja bekerja tepat 5 hari dari 7 hari dalam seminggu
- (iv) Setiap pekerja bekerja tidak lebih dari 6 hari berurutan.

Ada 3 batasan bawah untuk menentukan jumlah minimum pekerja, W . Pertama adalah batasan selama 1 minggu. Rata-rata jumlah pekerja yang hadir harus melebihi maksimum permintaan pada minggu tersebut. Dalam k_2 minggu, setiap pekerja akan tersedia sebanyak $k_2 - k_1$ minggu.

$$(k_2 - k_1)W \geq k_2 \max(n_1, n_7) \quad (2-1)$$

Dengan demikian,

$$W \geq \left\lceil \frac{k_2 \max(n_1, n_7)}{(k_2 - k_1)} \right\rceil \quad (2-2)$$

Kedua, terdapat batasan permintaan total. Jumlah keseluruhan pekerja setiap hari dalam seminggu harus dapat memenuhi jumlah keseluruhan

⁶ Pinedo, Michael L. "Planning and Scheduling in Manufacturing and Services" Springer. Hal 289-291

permintaan per minggunya. Karena setiap pekerja bekerja 5 hari dalam seminggu, maka

$$5W \geq \sum_{j=1}^7 n_j \quad (2-3)$$

Dengan demikian,

$$W \geq \left\lceil \frac{1}{5} \sum_{j=1}^7 n_j \right\rceil \quad (2-4)$$

Ketiga, terdapat batasan permintaan maksimum dalam sehari.

$$W \geq \max(n_1, \dots, n_7) \quad (2-5)$$

2.1.2 *Shift Scheduling*

Ciri khas dari *shift* kerja adalah adanya kontinuitas dalam bekerja, pergantian atau rotasi jam kerja dan jadwal kerja khusus. Menurut Suma'mur (1994), *shift* kerja merupakan pola waktu kerja yang diberikan pada tenaga kerja untuk mengerjakan sesuatu oleh perusahaan dan biasanya dibagi atas kerja pagi, sore dan malam.

Permasalahan penjadwalan *shift* lebih sulit daripada penjadwalan hari kerja dan cuti biasa. Hal ini dikarenakan siklus pekerja masuk kerja untuk setiap minggunya tidak sama.

Siklus yang telah ditentukan mempunyai m periode. Jarak antar periode tidak harus sama. Selama periode i , $i = 1, \dots, m$, sejumlah b_i pekerja dibutuhkan (b_i merupakan bilangan integer). Ada n pola *shift* dan setiap pekerja ditempatkan pada salah satu pola *shift* tersebut. Pola *shift* j didefinisikan sebagai vektor $(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj})$; nilai dari a_{ij} adalah 0 atau 1; bernilai 1 jika pada periode i adalah periode kerja, dan bernilai 0 jika sebaliknya. C_j merupakan biaya yang dikeluarkan kepada pekerja untuk *shift* j dan x_j (bilangan integer) merupakan variabel keputusan yang menggambarkan jumlah orang yang ditempatkan pada *shift* j . Permasalahan umumnya adalah meminimalkan biaya total dari penempatan pekerja untuk memenuhi permintaan yang ada dan memiliki model matematis sebagai berikut:

Fungsi tujuan:

Minimalkan:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Dengan kendala:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1 \quad (2-6)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2$$

:

:

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

2.1.2.1 Jenis-jenis pola shift

Pola *shift* standar yang umumnya diterapkan di perusahaan dapat berupa pola *shift*:

- *Continuous* (24 jam sehari, 7 hari perminggu)
- *Semi-continuous* (berkelanjutan untuk setengah minggu), dan
- *Discontinuous* (tidak 24 jam sehari, tapi bisa 7 hari seminggu).

Sistem *shift continuous* dan *semi-continuous* biasanya menerapkan jam kerja berdasarkan rata-rata lama *shift*, yaitu 8 jam atau 12 jam. Masing-masing pola kerja shift mempunyai keuntungan dan kerugian.

Kerugian menggunakan sistem *shift* 12 jam adalah cenderung lebih lama dan ada beberapa pertimbangan sehubungan dengan daya tahan tubuh, kesehatan, keselamatan, dan produktifitas. Variabel utama manusia yang berkaitan dengan kerja shift adalah *circadian rhythm*, yaitu tingkat fungsionalitas tubuh manusia dalam siklus 24 jam. Fungsi-fungsi tubuh biasanya meningkat pada siang hari dan menurun pada malam hari termasuk temperatur tubuh, detak jantung, tekanan darah, kemampuan mental, produksi adrenalin, dan kemampuan fisik.⁷

Keuntungan menggunakan pola *Shift* 12 jam adalah memerlukan kehadiran pekerja yang lebih sedikit sehingga dapat menghemat biaya pekerja.

⁷ <http://id.answers.yahoo.com/question/>

Shift 12 jam menghasilkan periode yang lebih lama untuk mengatur waktu libur. Kadangkala periode pengaturan waktu libur yang lebih lama dalam sistem 12 jam mengakibatkan lebih lamanya komunikasi dan kelanjutan dari segi produktifitas.

2.1.2.2 Perpaduan antara shift 8 jam dan 12 jam

Ada beberapa keuntungan menggunakan *shift* 12 jam, misalnya jumlah kehadiran yang lebih sedikit dan lebih panjangnya waktu libur, namun ada ancaman yang cukup berpotensi yaitu produktifitas yang lebih rendah. Dalam sistem berkelanjutan beberapa perusahaan, sebagai jalan tengah, menggunakan perpaduan antara 8 jam dan 12 jam kerja dengan 12 jam kerja pada akhir minggu. Sebagai contoh, dalam 5 tim rata-rata ada 3 minggu libur pada setiap minggu kelima berdasarkan 12 jam, dibandingkan dengan 2 hingga 5 minggu dalam 8 jam kerja⁸.

2.2 ALGORITMA DIFFERENTIAL EVOLUTION

Dalam [matematika](#) dan [komputasi](#), algoritma merupakan kumpulan perintah untuk menyelesaikan suatu masalah. Perintah-perintah ini dapat diterjemahkan secara bertahap dari awal hingga akhir. Masalah tersebut dapat berupa apa saja, dengan catatan untuk setiap masalah, ada kriteria kondisi awal yang harus dipenuhi sebelum menjalankan algoritma. Algoritma akan dapat selalu berakhir untuk semua kondisi awal yang memenuhi kriteria, dalam hal ini berbeda dengan [heuristik](#). Algoritma sering mempunyai langkah pengulangan ([iterasi](#)) atau memerlukan keputusan ([logika Boolean](#) dan [perbandingan](#)) sampai kriteria atau output sudah dihasilkan.

[Kompleksitas](#) dari suatu **algoritma** merupakan ukuran seberapa banyak komputasi yang dibutuhkan algoritma tersebut untuk menyelesaikan masalah. Secara informal, algoritma yang dapat menyelesaikan suatu permasalahan dalam waktu yang singkat memiliki kompleksitas yang rendah, sementara algoritma

⁸ <http://www.rostering.co.uk/>

yang membutuhkan waktu lama untuk menyelesaikan masalahnya mempunyai kompleksitas yang tinggi⁹. DE merupakan algoritma yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang mempunyai kompleksitas tinggi.

2.2.1 Sejarah Perkembangan DE

DE berkembang atas dasar keinginan Price untuk menyelesaikan permasalahan *Chebyshev Polynomial* yang diajukan oleh Rainer Storn. Ide pertama muncul dengan menggunakan perbedaan vektor untuk mengembangkan populasi vektor. Semenjak munculnya simulasi komputer menghasilkan banyak perkembangan yang membuat DE menjadi metode yang serbaguna dan handal untuk digunakan saat ini.

Metode *Genetic Annealing* yang dikembangkan oleh Price merupakan awal mula terbentuknya algoritma DE. Ulasan yang membahas tentang *Genetic Annealing* diterbitkan pertama kali oleh *Dr. Dobb's Journal* (1994). Ulasan tersebut membahas mengenai kombinasi algoritma berdasarkan populasi yang nilainya berdasarkan hasil rata-rata dari populasi. Setelah melakukan beberapa percobaan Price memodifikasi *Genetic Annealing* dari pengkombinasian menjadi *continuous optimizer*¹⁰.

Dengan cara ini, Price menemukan prosedur dari *differential mutation*. Price dan Storn menemukan bahwa *differential mutation* dikombinasikan dengan *discrete recombination* dan seleksi berpasangan tidak diperlukan dalam faktor *annealing*. Oleh karena itu, mekanisme *annealing* akhirnya tidak dipakai lagi. Dengan demikian, metode DE mulai diterapkan.

Untuk pertama kalinya DE diperkenalkan oleh Price dan Storn dalam ICSI ("*Differential Evolution -- a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces, 1995*"). Satu tahun kemudian, keberhasilan DE diikutsertakan dalam kontes *Evolutionary Optimization* tingkat internasional yang pertama pada bulan Mei 1996, yang diadakan bersama dengan IEEE (*International Conference of Evolutionary Computation*) tahun 1996, dan berhasil meraih juara ketiga dengan metodenya.

⁹ <http://id.wikipedia.org/wiki/Algoritma>

¹⁰ Feoksitov, vitally. 2006 "*Differential Evolution: In Search of Solutions*". Springer p. 13

Selanjutnya, Price menampilkan DE dalam kontes *Evolutionary Optimization* tingkat internasional yang kedua pada tahun 1997 (*Differential Evolution vs. the Functions of the Second ICEO*). Pada kesempatan tersebut, DE merupakan salah satu yang terbaik dari sekian banyak algoritma. Dan akhirnya, dua tahun kemudian pada tahun 1999, dia merangkumkan algoritma tersebut dalam tajuk "*New Ideas in Optimization*".

Seperti yang telah diulas dalam jurnal "*Differential evolution - A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces*", elemen utama yang membedakan DE dari teknik perhitungan berdasarkan populasi lainnya adalah pada proses mutasinya. Sejumlah strategi yang menampilkan proses mutasi diajukan oleh R. Storn dan K. Price. Ide awal untuk menemukan proses mutasi diilhami oleh Price, dimana mutasi muncul dikarenakan operasi khusus sebelum proses seleksi. Selanjutnya Price menganalisa strategi tersebut dan menyimpulkan bahwa strategi tersebut terbentuk dari proses mutasi dan proses *crossover*. Dengan proses ini menghasilkan efek yang cukup dinamis pada penelitian.

2.2.2 Konsep Dasar

Salah satu metode penyelesaian permasalahan *np-hard* yang cukup efektif adalah metode algoritma heuristik (*Heuristic Algorithm*), yaitu suatu jenis algoritma yang termasuk ke dalam jenis algoritma sub-optimal. Meskipun algoritma heuristik termasuk ke dalam jenis algoritma sub-optimal yang tidak dapat menjamin tercapainya suatu solusi yang optimal (*best solution*), namun algoritma heuristik akan dapat secara efektif mengatasi permasalahan *combinatorial optimization* yang cukup sulit dan berskala besar dengan cara mencari *good solution* yang dapat memuaskan semua kriteria dengan waktu komputasi yang relatif kecil, selain itu algoritma heuristik juga mudah diimplementasikan dan bersifat fleksibel. Salah satu metode algoritma heuristik yang cukup populer adalah *Genetic Algorithm*, *Simulated Annealing*, *Differential Evolution* dan *Tabu Search*.¹¹ Perbedaan utama antara GA dan DE adalah pada proses mutasi yang membuat DE lebih beradaptasi sendiri dan pada proses

¹¹ Betrianis dan Putu Teguh Aryawan, "Penerapan Algoritma Tabu Search dalam Penjadwalan Job Shop" VOL 7, 2003

seleksi. Pada DE, semua solusi mempunyai kesempatan yang sama untuk terpilih sebagai vektor orang tua tanpa tergantung pada *fitness value*.

Seperti yang terlihat pada gambar 2.1, metode optimasi secara garis besar diklasifikasikan menjadi 2 kelas, yaitu (1) *continuous optimization*, dimana area pencarian dan solusi dapat disituasikan kontinu; dan (2) *combinatorial optimization*, dimana area pencarian dibatasi oleh bilangan yang terbatas dan solusi yang layak.

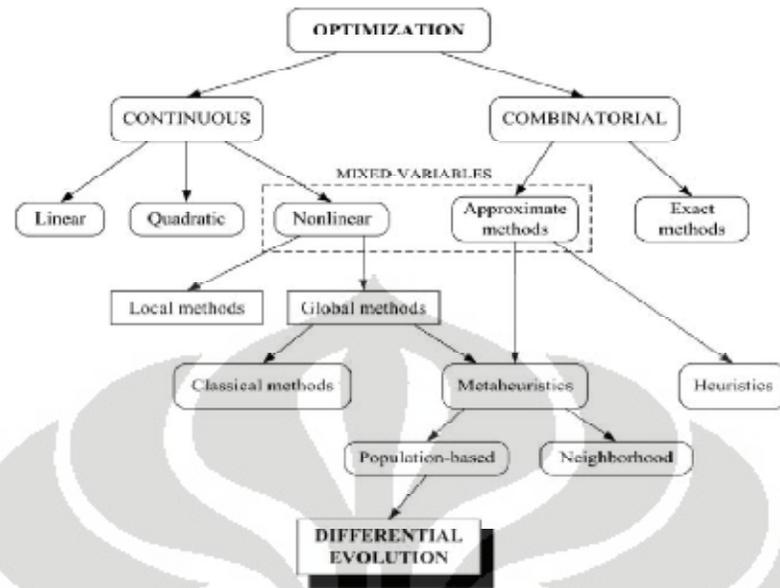
Dalam *nonlinear programming* yang merupakan bagian dari *continuous optimization*, pencarian nilai optimal yang didapat adalah pencarian nilai optimum lokal. Pencarian optimum global biasanya didapatkan dengan membandingkan antara nilai-nilai optimum local yang didapat.

Pada *combinatorial optimization*, dibagi menjadi dua kategori. Kategori pertama merupakan metode eksak, dimana optimum global didapat melalui sekumpulan solusi yang ada, Kategori kedua merupakan metode pendekatan dimana solusi yang didapat merupakan solusi yang mendekati optimum. Metode pendekatan yang sering digunakan disini adalah melalui pendekatan *heuristic*

Metode DE merupakan metode yang menggunakan pendekatan metaheuristik yang mempunyai beberapa keunggulan sebagai berikut¹²:

1. Tidak memerlukan kondisi tertentu untuk fungsi tujuan dan batasan yang ada.
2. Dapat diaplikasikan untuk permasalahan yang kontinu maupun kombinasi.
3. Dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang mempunyai *multiobjective optimization*

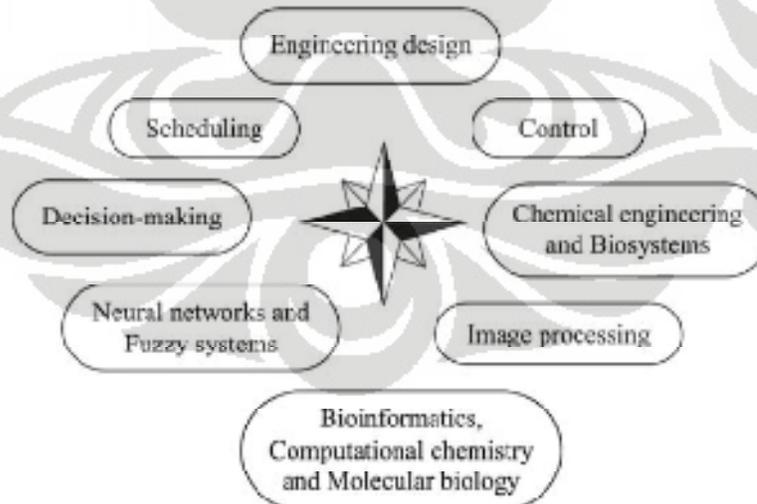
¹² Feoksitov, vitally. 2006 “*Differential Evolution: In Search of Solutions*”. Springer p. 13



Gambar 2.1 Klasifikasi dari metode optimasi

(Sumber: Feoksitov, vitally, 2006)

Metode DE dapat diterapkan pada berbagai permasalahan di bidang *engineering*, kontrol, teknik kimia, biosistem, penjadwalan, pengambilan keputusan, dan lain-lain. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Aplikasi DE pada berbagai permasalahan

2.2.3 Tahapan Pengerjaan Algoritma DE

Algoritma DE merupakan metode optimasi stokastik dengan meminimalkan fungsi tujuan yang dapat memodelkan permasalahan dengan batasan-batasan (*constraints*) yang ada. Algoritma DE mempunyai tiga keuntungan, yaitu dapat menemukan titik minimum global terhadap parameter yang ada, kecepatan dalam proses penyelesaian masalah, dan parameter kontrol yang sedikit.

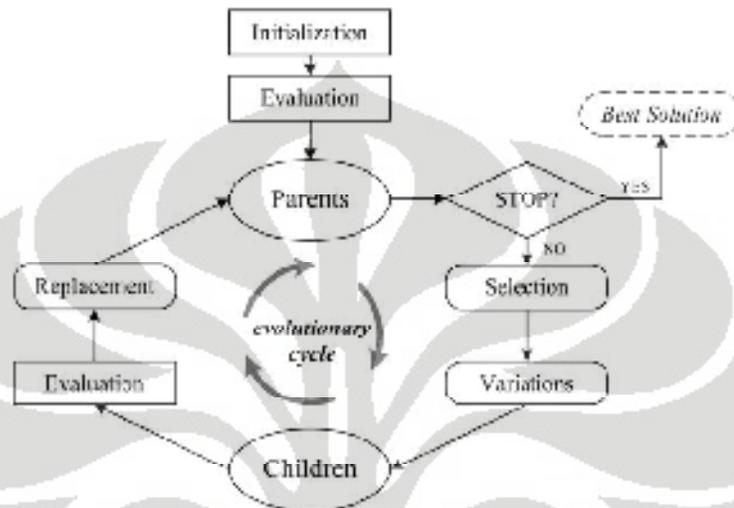
Differential Evolution (DE) adalah suatu metode optimasi dari fungsi tujuan yang multidimensi dan berada pada kelas strategi evolusi optimasi. Algoritma DE merupakan algoritma yang berdasarkan pada populasi, seperti halnya pada GA dengan menggunakan perintah yang sama, yaitu *crossover*, mutasi dan seleksi. Perbedaan utama GA dan DE dalam menghasilkan solusi yang lebih baik adalah, pada GA lebih mengutamakan proses *crossover*, sedangkan pada DE lebih mengutamakan proses mutasi. Proses tersebut tergantung pada perbedaan dari solusi acak pasangan didalam populasi.

Algoritma DE menggunakan proses mutasi untuk melakukan pencarian kemungkinan solusi dan proses seleksi melakukan pemilihan terhadap pencarian yang sudah dilakukan. Algoritma DE juga menggunakan *non-uniform crossover* yang dapat mengambil parameter vektor anak yang dihasilkan dari orangtuanya. Dengan menggunakan komponen dari populasi yang sudah ada untuk membangun *vector trial*, proses *crossover* akan secara random menggunakan informasi tentang kombinasi dari solusi yang lebih baik. Gambar 2.3 menunjukkan langkah-langkah utama dari algoritma DE:

Prinsip-prinsip dasar dari metode DE cukup mudah, yaitu :

1. Mengkodekan permasalahan dalam *string biner*.
2. Membuat suatu populasi acak. Bagian ini termasuk membuat sebuah kumpulan genetik yang merepresentasikan kelompok-kelompok solusi yang mungkin.
3. Menghitung nilai kecocokan (*fitness*) dari masing-masing subyek. Nilai ini akan langsung bergantung dengan jarak dari solusi optimalnya.
4. Seleksi subyek yang akan berpasangan sesuai dengan bagiannya pada populasi kecocokan global.

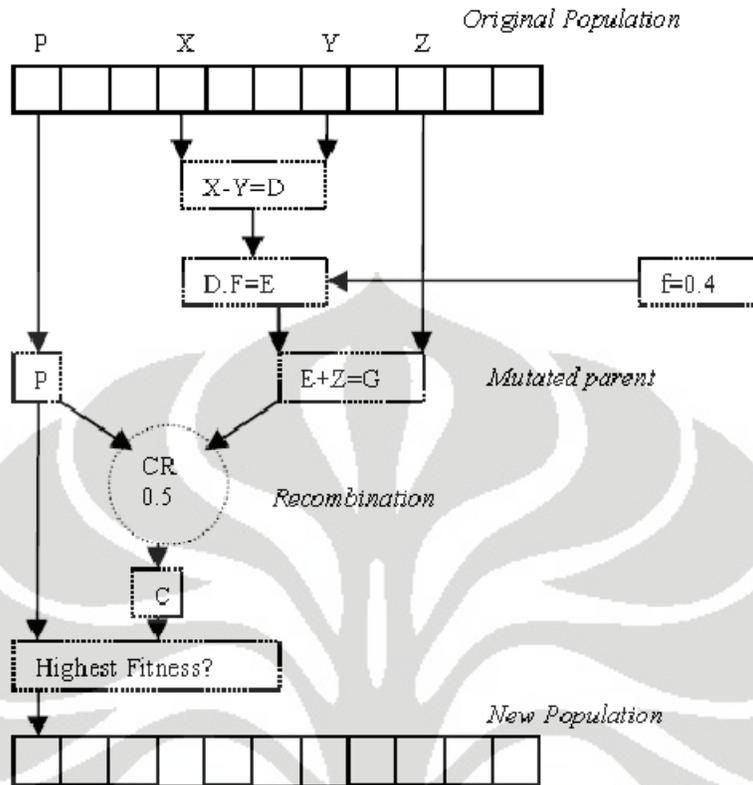
5. Perkawinan silang dan mutasi genom.
6. Kemudian diulangi lagi langkah demi langkah dari langkah ke-3 sampai menemukan optimal.



Gambar 2.3 Diagram alir pengerjaan algoritma DE

Secara umum algoritma DE mempunyai langkah pengerjaan seperti yang terlihat pada gambar 2.4. Pertama kali, anggota dari populasi dipilih sebagai orang tua (P). Setelah itu vektor anak (C) dibuat dan akan menggantikan orang tua jika mempunyai *fitness value* yang lebih besar. Untuk menghasilkan vektor anak tersebut, 3 anggota lain dipilih secara acak dari populasi (ketiga anggota ini dapat ditandai dengan X, Y, X). Perbedaan antara X dan Y akan menghasilkan nilai vektor (D) yang menggambarkan pengukuran secara acak dari perbedaan di populasi tersebut. Proporsi dari perbedaan ini kemudian akan dikalikan dengan faktor skala (F) yang akan menghasilkan (E). Vektor E akan ditambahkan dengan Z untuk menghasilkan orang tua lainnya. Vektor anak kemudian akan dibuat dengan memilih alel dari orang tua (P) dengan peluang CR, dimana CR adalah *crossover rate*¹³.

¹³ Neal M., et.al., "Applying Differential Evolution to a Whole-Farm Model to Assist Optimal Strategic Decision Making", 2007



Gambar 2.4 Representasi proses *differential evolution*

2.2.3.1 Inisialisasi

Tahap inisialisasi merupakan tahap penetapan parameter kontrol. Tujuan penetapan parameter kontrol adalah untuk menemukan solusi yang dapat diterima melalui sejumlah evaluasi fungsi dan nantinya akan berdampak pada performa DE (efektifitas, efisiensi, dan ketangguhan). Ada tiga parameter kontrol pada DE, yaitu ukuran populasi (NP), *Crossover Rate* (CR), dan parameter kontrol mutasi (F).

Ukuran populasi (NP) merupakan jumlah saluran populasi dalam satu generasi, dan nilainya tidak akan berubah selama proses pencarian. Namun, jika pencarian mengalami kondisi *stuck* maka NP dapat dinaikkan. Pada umumnya = $10 \times d$, dimana d adalah ukuran dimensi. Dimensi merupakan input parameter yang nilainya akan berubah-ubah selama proses pencarian solusi optimal. Populasi awal (berisikan sejumlah NP) yang diinisialisasikan, merupakan populasi

solusi awal yang dapat diperoleh dari metode heuristik ataupun diperoleh secara acak.

Parameter kontrol mutasi (F) merupakan faktor konstan dan real yang akan mengendalikan operasi mutasi, nilainya berada pada range $[0,2]$. Faktor F yang berada pada range $[0.4,1]$ dinilai efektif. Nilai F yang lebih besar dari 1 akan membawa DE mencari solusi di luar jangkauan yang layak, sedangkan nilai F yang kurang dari 0,4 juga tidak efektif karena akan membawa solusi DE yang mendekati area vektor target. Jika berada pada kondisi *stuck*, selain dengan menaikkan NP, dapat juga dengan menaikkan faktor F . DE lebih sensitif terhadap pemilihan faktor F , daripada pemilihan CR¹⁴

Parameter *crossover* rate (CR), merupakan faktor pengendali operasi *crossover*, berada pada range $[0,1]$. Faktor CR berperan sebagai *fine tuning element* (elemen penentu) pada saat operasi pindah silang. Faktor CR akan memberikan aturan berapa banyak rata-rata gen yang bertalian dari vektor mutasi dikopi ke keturunan. Nilai CR yang tinggi akan mempercepat terjadinya konvergensi. Terkadang untuk beberapa permasalahan, nilai CR perlu diturunkan supaya DE dapat mencapai hasil optimal lebih cepat.

2.2.3.2 Evaluasi Populasi awal

Dari populasi yang ada, dilakukan evaluasi untuk menyesuaikan nilai parameter individu terhadap nilai fungsi objektifnya. Kemudian akan dipilih 4 vektor secara acak, dimana vektor pertama akan menjadi vektor target, selisih vektor kedua dan ketiga akan menjadi vektor selisih, dan vektor keempat sebagai pembentuk vektor mutasi.

2.2.3.3 Mutasi

Mutasi adalah proses pertukaran sejumlah gen dalam satu individu dengan menukar nilai karakter pada gen-gen tersebut dengan kebalikannya. Mutasi dilakukan untuk menjaga agar tidak terciptanya konvergensi prematur (solusi yang tidak optimal). Biasanya proses mutasi ini melibatkan beberapa individu

¹⁴ <http://www.aenf.wau.nl/mrs.satff/lopez/research/thesis/chap4.html>

(umumnya tiga). Untuk setiap vektor target X_i , G , vektor mutasi dihasilkan oleh rumus:

$$X4' = F(X2-X3) + X4$$

Dimana:

$X4'$ = vektor mutasi

F = Parameter control mutasi

$X2, X3, X4$ = Vektor yang dipilih secara acak

2.3.3.4 Crossover (pindah silang)

Pindah silang bertujuan untuk menambah keanekaragaman gen dalam populasi dengan penyilangan antar gen yang diperoleh dari produksi sebelumnya. Vektor mutasi $X4'$ dikawinkan dengan vektor target $X1$ menggunakan operasi pindah silang untuk menghasilkan *trial vector* atau vektor anak. Gen *trial* individual diwariskan dari $X4'$ dan $X1$ yang ditentukan melalui nilai faktor pindah silang (CR) seperti yang terlihat pada tabel 2.1 dibawah ini, dimana j merupakan jumlah populasi yang ada.

2.2.3.5 Evaluasi trial vector

Trial vector akan dievaluasi, untuk menyesuaikan nilai parameter individu terhadap nilai fungsi objektifnya.

Tabel 2.1 Algoritma Proses Pindah Silang

```

For i = 1 to NP
  If rand (0,1) > CR
     $X1'(i,1) = X1(i,1)$ 
  Else
     $X1'(i,1) = X4(i,1)$ 
  End
End
End

```

2.2.3.6 Seleksi

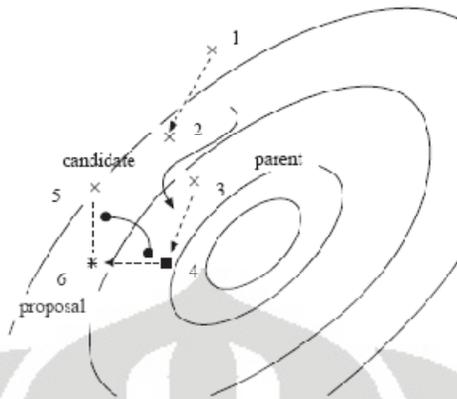
Semua solusi pada populasi mempunyai kesempatan yang sama untuk dipilih sebagai orang tua tanpa bergantung pada fitness value. Vektor anak akan dihasilkan setelah dilakukan proses mutasi dan *crossover*. Setelah itu performa dari vektor anak dan orang tuanya akan dibandingkan dan dipilih yang terbaik. Jika orang tua masih mempunyai performa yang lebih baik, maka mereka akan bertahan di populasi tersebut. Pada tabel 2.2 terlihat, jika nilai *trial vector* lebih besar dibandingkan dengan vektor target, maka *trial vector* akan menggantikan vektor target pada generasi sekarang dan akan menjadi menjadi vektor target baru untuk generasi berikutnya.

Tabel 2.2 Algoritma Proses Seleksi

If OBF vektor target \geq OBF vektor trial Vektor target = vektor target Else Vektor target = vektor trial End
--

Gambar 2.5 menjelaskan bagaimana proses DE dilakukan. Perbedaan antara 2 anggota populasi (1,2) akan ditambahkan ke populasi ketiga (3). Hasilnya (4) merupakan subjek untuk melakukan *crossover* dengan kandidat pengganti dan memperoleh *proposal* (ajuan solusi). Kandidat tersebut akan dievaluasi dan menggantikan kandidat apabila performanya lebih baik¹⁵.

¹⁵ Karaboga, Dervis dan Oldem. "a simple and global optimization algorithm for engineering problems", Turk J. Elec Engin. Vol 12. No 1, 2004



Gambar 2.5 Mendapatkan ajuan solusi pada DE

2.2.3.6 Terminasi

Proses pencarian akan berhenti jika telah tercapai kriteria terminasi. Namun, bila kriteria berhenti (terminasi) belum terpenuhi maka akan dibentuk lagi generasi baru dengan mengulangi langkah-langkah sebelumnya. Beberapa kriteria berhenti yang sering digunakan antara lain:

- Generasi/iterasi tertentu
- Waktu pencarian maksimum
- Nilai OBF terbaik tidak lagi berubah

BAB 3 PENGUMPULAN DATA

3.1 PROFIL PERUSAHAAN

3.1.1. Sejarah Singkat

PT Pamapersada Nusantara (PAMA) adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang kontraktor tambang batubara yang didirikan pada tahun 1993. PAMA merupakan anak perusahaan milik PT *United Tractors* sepenuhnya dengan saham mencapai 100 persen. Cikal bakal PAMA dimulai sejak tahun 1974 dalam bentuk departemen *Rental United Tractor*. Sedangkan pemilik saham utama dari PT *United Tractors* adalah PT Astra International yang merupakan salah satu perusahaan terbesar dan paling terkemuka di Indonesia. PAMA memiliki kontribusi terbesar kedua dalam pendapatan Astra International. Sebagai produsen kendaraan konstruksi berat dan distributor utama perlengkapan konstruksi berat bagi PAMA adalah Komatsu di Indonesia.

Sebagai perusahaan PAMA memiliki produk dan jasa yang ditawarkan seperti *mining service contractor, plant hire, dan construction services*. *Customer* dari PAMA sendiri merupakan perusahaan tambang batubara juga. *Customer* tersebut antara lain PT Adaro Indonesia, PT Bhumi Rantau Energi, PT Jembayan Muarabara, PT Arutmin Indonesia, PT Kideco Jaya Agung, PT Tambang Batubara Bukit Asam, PT Dasa Eka Jasatama, PT Indomico Mandiri, PT Kaltim Prima Coal dan PT Tanjung Alam Jaya. Area penambangan yang dikerjakan oleh PAMA ini tersebar di Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, dan Palembang¹⁶.

3.1.2. Nilai-Nilai Perusahaan

Sebagai usaha menjalankan perusahaannya, PAMA memiliki visi dan misi sebagai berikut :

¹⁶ www.pamapersada.com

1. Visi

Menjadi kontraktor terkemuka di dunia dengan produktifitas, kemampuan *engineering*, pengelolaan keselamatan kerja dan lingkungan hidup yang terbaik.

2. Misi

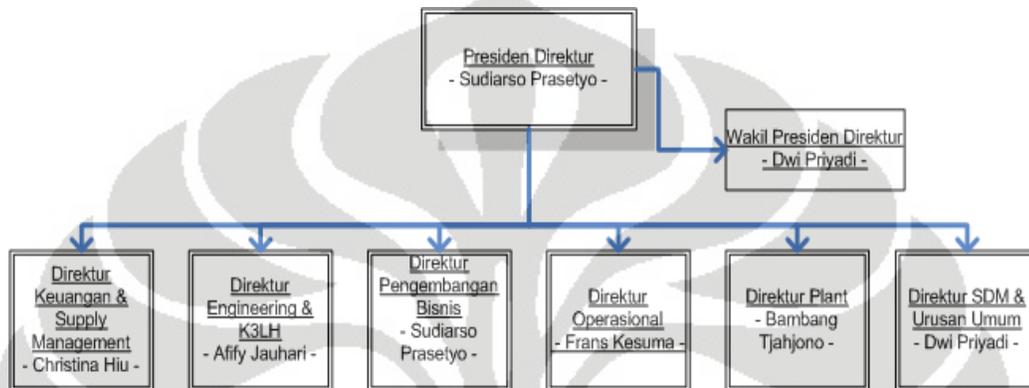
- Memberikan jasa operasi dengan alat-alat berat dalam bidang pertambangan terbuka dan pemindahan tanah yang memungkinkan pelanggan mendapatkan keuntungan terbaik di tingkat dunia.
- Memberikan kesempatan kepada karyawan mengembangkan kompetensinya untuk mencapai tujuan hidupnya.
- Memberikan MVA (*Market Value Added*) dan EVA (*Economic Value Added*) yang terbaik kepada pemegang saham.
- Berupaya secara terus-menerus menguasai teknologi dan kemampuan rekayasa yang berwawasan lingkungan serta keselamatan manusia untuk kemajuan bangsa dan negara.

Sebagai pengembangan misi utama PAMA memiliki misi tambahan dalam keselamatan kerja, kesehatan pekerja, dan misi lingkungan. Selain itu terdapat falsafah perusahaan, yaitu: bermanfaat bagi bangsa dan negara, *Business Development & Engineering*, pelayanan yang terbaik bagi pelanggan, saling menghargai dan membina kerjasama, dan berusaha mencapai yang terbaik. Dan sebagai kebijakan mutu maka PAMA bertekad untuk menyediakan jasa kontraktor pertambangan yang dapat diandalkan dengan tingkat kepuasan yang tinggi kepada *stakeholder*, melalui :

- Fokus pada pengembangan kompetensi;
- Adanya lingkungan kerja yang sehat dan keselamatan kerja yang tinggi;
- Implementasi sistem manajemen yang berstandar internasional;
- Teknologi baru yang sesuai dengan optimalisasi kinerja keuangan perusahaan;
- Hubungan bisnis yang bernilai tambah tinggi.

Sebagai pemenang sertifikat ISO9001-2000 dan ISO14001, PAMA melakukan operasi dan perawatan sesuai standar yang direkomendasikan oleh pabrik pembuatnya.

3.1.3 Struktur Organisasi



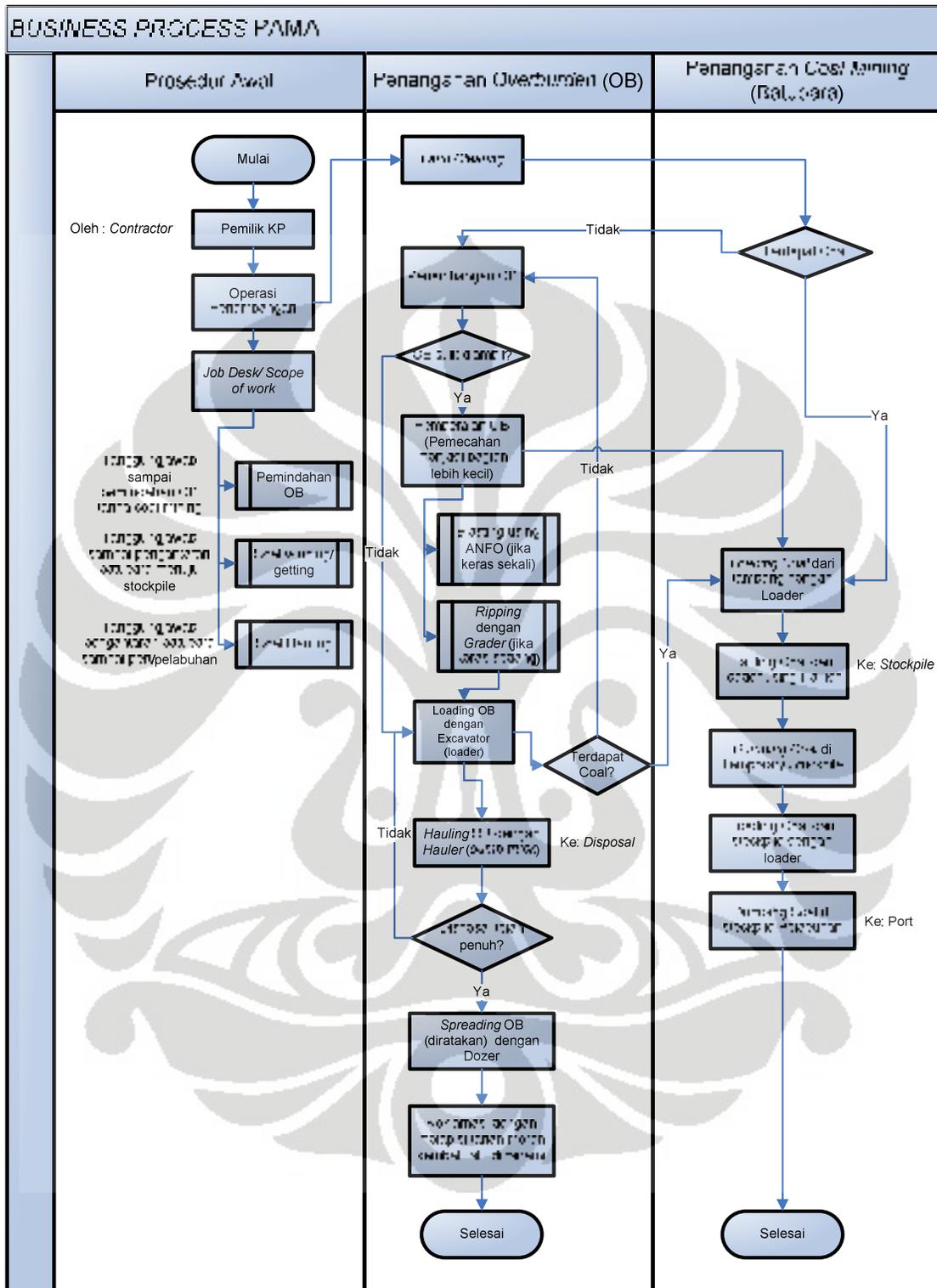
Gambar 3.1 Struktur Organisasi PAMA

(Sumber: PT Pamapersada Nusantara)

3.1.4. Proses Bisnis

Secara umum proses bisnis yang dilakukan PAMA memiliki gambaran seperti dalam gambar di bawah ini. Ruang lingkup kerja dari PAMA memiliki 3 lingkup tergantung dari permintaan *customer*.

Gambar 3.2 merupakan diagram alir proses bisnis yang terdapat di PAMA. Ada dua istilah mengenai dua tempat paling umum dalam penambangan yaitu *stockpile* dan *disposal*. *Stockpile* merupakan tempat penampungan batubara yang bersifat sementara sebelum menuju pelabuhan. Sedangkan *disposal* adalah tempat penampungan sementara bagi *overburden* (OB). *Overburden* adalah segala kandungan mineral yang terdapat dalam hasil tambang kecuali batubara. Setelah *disposal* penuh oleh *overburden* yang sudah memenuhi kapasitas maka tumpukan OB yang menyerupai bukit diratakan lalu di reklamasi lagi dengan tanaman. Untuk penanganan batubara sendiri dilakukan penyiraman dengan air untuk menjaga suhu batubara agar tidak mudah terbakar.



Gambar 3.2 Business Process PAMA

Dalam pengangkutan dan pengangkutan batubara sendiri memerlukan dua alat utama yaitu *loader* alat untuk mengambil dan *dumpruck (hauler)* sebagai alat untuk mengangkut. Dalam penelitian ini yang diteliti adalah *dumpruck* dengan jenis HD-7855 yang berada dalam distrik Indomico.

3.2 PENGUMPULAN DATA

Untuk mendapatkan hasil yang optimal dari penentuan pola kerja-cuti dan pengalokasian operator, ada beberapa data yang dibutuhkan. Data yang diperoleh bukan merupakan data primer atau data yang diperoleh dari pengamatan langsung, melainkan data yang digunakan merupakan data sekunder yang didapat dari data-data yang sudah ada di perusahaan. Dari 11 *site* penambangan yang ada, data yang dikumpulkan merupakan data yang terdapat pada *site* penambangan KPCS (KalTim Prima Coal Sangata). Periode penjadwalan dilakukan selama 2 bulan (8 minggu). Data-data yang dikumpulkan meliputi :

- Jadwal kerja setiap *shift*
- Pola kerja – cuti
- Pola rotasi pekerja
- Biaya per jam operator
- Jumlah mesin
- Jumlah operator
- *Physical avaiability* mesin dan operator

3.2.1 Jadwal Kerja setiap *Shift*

Operasi penambangan umumnya dilakukan dengan metode *shift*, hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kelelahan yang pasti akan dialami oleh operator jika dia bekerja terlalu lama. PT. Pama Persada Nusantara menerapkan sistem kerja *continuous* dimana perusahaan bekerja 24 jam sehari dan 7 hari setiap minggunya. Dengan demikian, sejumlah operator yang dimiliki oleh perusahaan harus dialokasikan ke dalam *shift* yang ada.

Dalam memberikan jadwal kerja *shift* untuk tenaga kerjanya, perusahaan dapat menerapkan pola 2 *shift*, 3 *shift* atau 5 *shift*. Pola *shift* ini dapat berbeda untuk setiap *site* penambangan yang ada sesuai dengan kebijakan perusahaan.

Pola 2 *shift* hanya mempunyai 12 jam kerja untuk setiap *shift*, pola 3 *shift* hanya mempunyai 8 jam kerja, sedangkan pola *shift* menggunakan gabungan dari pola 2 *shift* dan pola 3 *shift*. Pada *site* KPCS, perusahaan saat ini menerapkan pola 5 *shift*.

Operator yang ditempatkan pada *shift* 1 sampai dengan *shift* 3, operator bekerja selama 8 jam, sedangkan untuk operator yang ditempatkan pada *shift* 5 dan 6, operator bekerja selama 12 jam. PT Pamapersada Nusantara tidak menggunakan nama '*shift* 4' karena alasan filosofi perusahaan. Pembagian jam kerja untuk setiap *shift* dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Pembagian Jam Kerja Setiap Shift

	Waktu	Jam Kerja	Durasi (jam)
SHIFT 1	Pagi	07.00 - 15.00	8
SHIFT 2	Siang	15.00 - 23.00	8
SHIFT 3	Malam	23.00 - 07.00	8
SHIFT 5	Pagi	06.00 - 18.00	12
SHIFT 6	Siang	18.00 - 06.00	12

(Sumber: PT Pamapersada Nusantara)

3.2.2 Pola Kerja dan cuti

Selain pola *shift*, strategi yang dilakukan perusahaan agar operator tidak jenuh atau lelah karena bekerja terus menerus adalah menerapkan pola kerja-cuti. Pola kerja cuti ini diterapkan untuk setiap *shift* (bukan untuk setiap operator) dan setiap *shift* hanya mempunyai satu pola kerja-cuti. Pola kerja-cuti setiap *shift* dapat berbeda satu dengan lainnya. Contoh: pola kerja-cuti untuk *shift* 1 adalah 4-2 yang berarti operator yang ditempatkan pada *shift* 1 bekerja selama 4 hari berturut-turut sesuai *shift*-nya kemudian dilanjutkan 2 hari libur.

Ada beberapa pola kerja-cuti yang dapat diterapkan diterapkan di perusahaan. Tabel 3.2 memperlihatkan 7 pola kerja-cuti yang dapat diterapkan pada setiap *shift*. Untuk kemudahan dalam penulisan kode program, pola kerja-

cuti diberikan nilai 1 -7 yang masing-masing nilai mewakili jumlah hari kerja dan hari cuti yang berbeda-beda.

Tabel 3.2 Pola Kerja – Cuti



(Sumber: PT Pamapersada Nusantara)

Saat ini, perusahaan menerapkan pola kerja-cuti 1 untuk *shift* 1,2,5 dan pola kerja-cuti 2 untuk *shift* 3 dan 6. Ada batasan dalam menentukan pola kerja-cuti untuk setiap *shift*, yaitu *shift* 3 dan *shift* 6 (*shift* malam) tidak diperbolehkan bekerja lebih dari 5 hari kerja. Hal ini dikarenakan kerja *shift* malam akan berdampak pada respon fisiologis tubuh, efek sosial, dan efek performa kerja.

3.2.3 Pola Rotasi Shift

Operator tidak terus-menerus ditempatkan pada *shift* yang tetap. Operator akan berpindah ke *shift* lain supaya pembagian kerja terhadap semua operator sama dan merata. Dengan adanya rotasi *shift* ini diharapkan setiap operator akan merasakan kerja pagi, siang dan malam atau merasakan kerja selama 8 jam kerja dan 12 jam kerja. Hal ini akan mencegah terjadinya komplain dari operator tentang pembagian kerja yang tidak adil.

Kebijakan yang berlaku di PT Pama Persadanusantara dalam menetapkan aturan tentang pola rotasi *shift* adalah adalah setiap operator yang bekerja pada *shift* tertentu akan berpindah ke *shift* lainnya setelah menyelesaikan satu pola kerja-cuti. Batasan yang ada untuk perpindahan *shift* ini adalah setiap operator telah menjalankan *shift* pagi akan berpindah ke siang, operator yang telah

menjalankan *shift* siang akan berpindah ke *shift* malam dan operator yang telah menjalankan *shift* malam akan berpindah ke *shift* pagi. Setelah mereka berpindah ke *shift* lain, maka operator tersebut akan mengikuti pola kerja yang ditetapkan untuk *shift* tersebut. Dengan adanya 5 *shift* yang diterapkan di perusahaan, maka kemungkinan untuk rotasi *shift* tersebut adalah sebagai berikut:

- *Shift* 1 dapat berpindah ke *shift* 2 atau *shift* 6
- *Shift* 2 dapat berpindah ke *shift* 3 atau *shift* 6
- *Shift* 3 dapat berpindah *shift* 1 atau *shift* 5
- *Shift* 5 dapat berpindah *shift* 3 atau *shift* 6
- *Shift* 6 dapat berpindah *shift* 1 atau *shift* 5

Dalam mengatur perpindahan *shift* terhadap operator mesin tertentu, beberapa aturan yang menjadi batasan adalah sebagai berikut:

Penjadwalan rotasi ini mempunyai aturan sebagai berikut:

- Ketika operator dijadwalkan untuk pindah ke *shift* lain, operator tersebut akan diprioritaskan untuk ditempatkan di *shift* dimana tidak ada operator yang bekerja lagi pada *shift* tersebut. Contohnya, jika operator pada *shift* 1 dapat berpindah ke *shift* 2 atau 6. Jika *shift* 2 masih ada operator yang bekerja pada *shift* tersebut dan *shift* 6 tidak ada operator yang bekerja di *shift* tersebut, maka operator akan berpindah ke *shift* 6.
- Jika kedua alternatif rotasi *shift* tersebut tidak ada satupun operator yang bekerja pada *shift* rotasi tersebut, maka operator akan ditempatkan pada *shift* yang mempunyai jam kerja masuk lebih awal dibandingkan dengan *shift* alternatif lainnya.
- Jika kedua alternatif *shift* mempunyai operator yang bekerja pada *shift* tersebut, maka operator akan berpindah ke *shift* dimana operator sebelumnya yang bekerja pada *shift* tersebut mempunyai waktu libur terdekat.

3.2.4 Biaya per Jam Operator

Biaya adalah faktor yang paling penting yang digunakan untuk menentukan berapa besar pengeluaran yang dikeluarkan perusahaan untuk membayar operator tiap jamnya. Biaya ini akan menentukan berapa besarnya pendapatan untuk masing-masing operator.

Biaya operator dibagi menjadi 2 jenis, yaitu biaya operator per jam dan biaya lembur operator per jam. Biaya operator per jam diberikan kepada operator yang bekerja sesuai dengan jam kerja normal, yaitu 8 jam sehari. Sedangkan biaya lembur diberikan kepada operator yang bekerja lebih dari 8 jam kerja. Dengan demikian, operator yang ditempatkan pada *shift* 1, 2 dan 3 hanya mendapatkan upah per jam selama 8 jam kerja, sedangkan operator yang ditempatkan pada *shift* 5 dan 6 akan mendapatkan upah per jam operator selama 8 jam dan upah lembur operator selama 4 jam.

Selain biaya operator per jam dan biaya lembur operator per jam, operator juga mendapatkan gaji pokok yang dihitung berdasarkan pengalaman operator tersebut bekerja di perusahaan. Namun gaji pokok tidak diperhitungkan dalam penelitian ini dalam menghitung biaya yang dikeluarkan perusahaan.

Berikut adalah besarnya biaya operator yang digunakan:

- Biaya operator per jam adalah \$3
- Biaya lembur operator per jam adalah \$3,5

3.2.5 Jumlah Mesin *Excavator* dan *Dump truck*

Operator produksi yang akan dibuat penjadwalannya difokuskan pada operator mesin *excavator* dan operator mesin *dump truck*. Ada 5 tipe mesin *dump truck* dan 7 tipe mesin *excavator* yang ada di *site* KPSC. Mesin *dump truck* dan *excavator* merupakan mesin yang paling penting dalam melakukan operasi penambangan karena keduanya mempunyai kaitan yang sangat erat dalam melakukan proses produksinya. Disamping itu mesin *dump truck* adalah mesin yang mempunyai tingkat utilisasi rendah pada kenyataannya di lapangan karena sering tidak terpakai

Tabel 3.3 memperlihatkan data jumlah mesin *excavator* dan *dump truck* yang terdapat pada *site* KPSC.

Tabel 3.3 Jumlah Mesin *Excavator* dan *Dump truck*

Jenis Mesin	Tipe Mesin	Jumlah unit
EXCAVATOR	PC4000	3
	PC3000	5
	PC2000	3
	PC1250SP-7	7
	PC750SE-7	3
	EX2500-5	1
	PC 200	2
	TOTAL	22
DUMP TRUCK	HD 1500	23
	HD 785-7	34
	HD785-5	85
	HM400	19
	BMA40D	11
	TOTAL	172

Sumber: (PT Pamapersada Nusantara)



Gambar 3.3 *Dump truck*

(sumber: <http://uploads.iklanmax.com>)



Gambar 3.4 *Excavator*
(Sumber: www.huntractor.com)

3.2.6 Jumlah Operator mesin *Excavator* dan *Dump truck*

Setiap operator mempunyai mempunyai *skill* untuk memakai mesin tertentu. Diasumsikan setiap operator hanya mempunyai satu keahlian dalam menggunakan satu mesin. Berikut adalah data jumlah operator yang tersedia yang dapat menggunakan mesin *excavator* dan *dump truck*.

Tabel 3.4 Jumlah Operator *Excavator* dan *Dump truck*

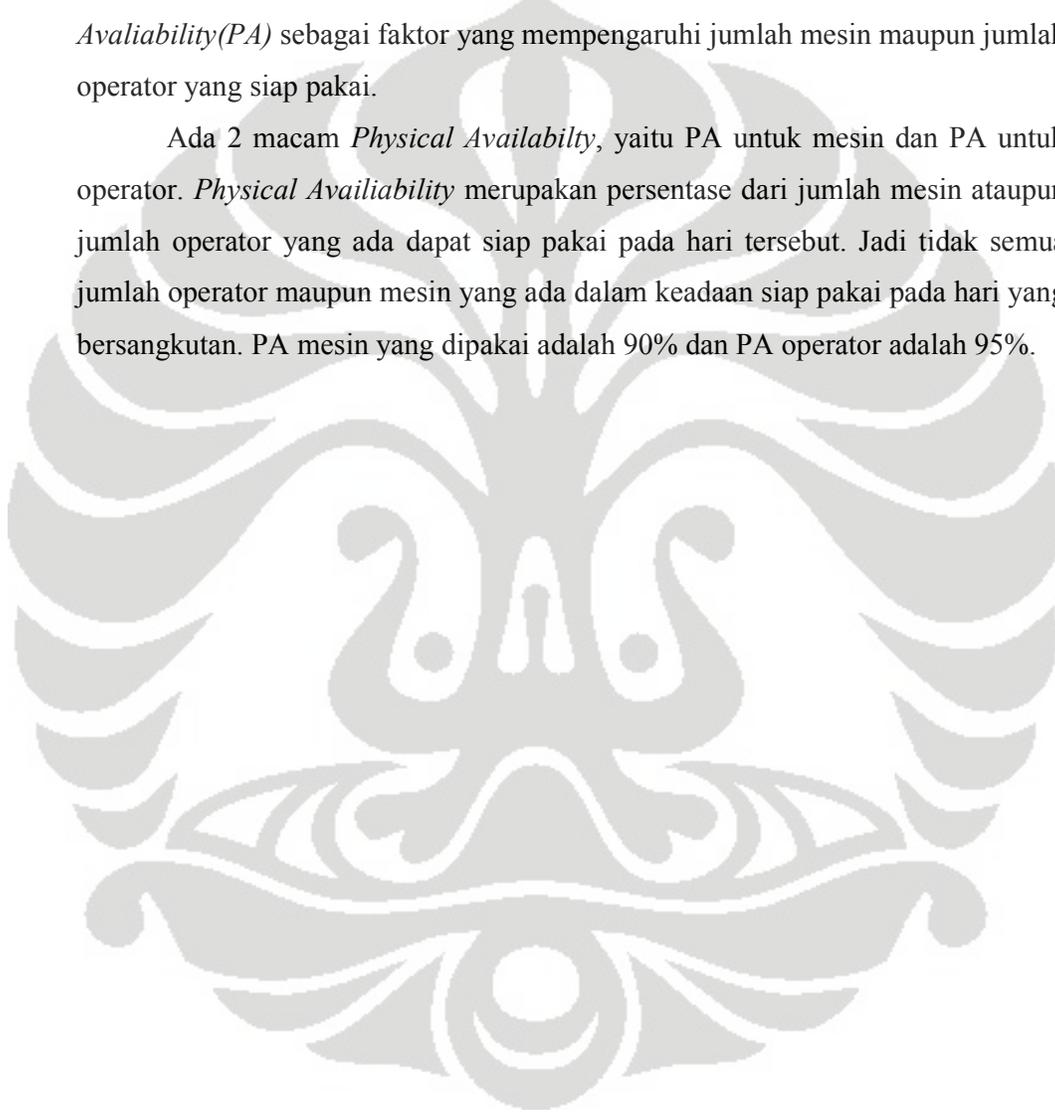
Jenis Mesin	Spesifikasi Mesin	Jumlah Operator
EXCAVATOR	PC4000	18
	PC3000	16
	PC2000	7
	PC1250SP-7	25
	PC750SE-7	23
	EX2500-5	10
	PC200	10
	TOTAL	109
DUMP TRUCK	HD 1500	87
	HD 785-7	128
	HD 785-5	319
	HM400	72
	BMA40D	38
	TOTAL	644

Sumber : (PT Pamapersada Nusantara)

3.2.7 Physical Availability(PA)

Dari semua mesin maupun jumlah operator yang tersedia, tidak semuanya yang ada di *site* penambangan dapat sepenuhnya siap untuk dipakai atau beroperasi. Hal ini disebabkan adanya faktor-faktor seperti operator sakit, cuti, berhalangan hadir atau mesin yang sedang dilakukan *maintenance*. Untuk mengantisipasi terjadinya hal diatas maka perusahaan menentukan nilai *Physical Availability(PA)* sebagai faktor yang mempengaruhi jumlah mesin maupun jumlah operator yang siap pakai.

Ada 2 macam *Physical Availability*, yaitu PA untuk mesin dan PA untuk operator. *Physical Availability* merupakan persentase dari jumlah mesin ataupun jumlah operator yang ada dapat siap pakai pada hari tersebut. Jadi tidak semua jumlah operator maupun mesin yang ada dalam keadaan siap pakai pada hari yang bersangkutan. PA mesin yang dipakai adalah 90% dan PA operator adalah 95%.



BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

4.1 INPUT DATA

4.1.1 Data

Dari 11 *site* penambangan yang ada, data yang dikumpulkan merupakan data yang terdapat pada *site* penambangan KPCS (*KalTim Prima Coal Sangata*). Penjadwalan dibuat untuk operator produksi mesin *Dump truck* dan *Excavator*. Data-data yang dikumpulkan meliputi :

- Jadwal kerja setiap *shift*
- Pola kerja – cuti
- Pola rotasi pekerja
- Biaya per jam operator
- Jumlah mesin
- Jumlah operator
- PA mesin dan PA operator

4.1.2 Model Matematis

Ada dua tujuan utama yang akan dicapai, tujuan pertama adalah mendapatkan penjadwalan yang meminimalkan standar deviasi pendapatan antar operator. Tujuan kedua adalah meminimalkan jumlah jam mesin selama penjadwalan 8 minggu. Dari dua tujuan yang berbeda ini, dibuat 2 model matematis dengan fungsi tujuan yang berbeda.

Setelah didapatkan hasil optimal untuk pola-kerja cuti masing-masing *shift* pada model matematis pertama, selanjutnya jumlah operator yang ditempatkan untuk setiap *shift* dicari dengan pola-kerja cuti yang sudah diperoleh pada permasalahan pertama.

4.1.2.1 Model Matematis meminimalkan standar deviasi pendapatan antar operator

Fungsi Tujuan:

- Meminimalkan standar deviasi pendapatan antar operator.

Dalam mendapatkan besarnya standar deviasi pendapatan antar operator, maka dihitung terlebih dahulu total pendapatan selama 8 minggu untuk operator yang pertama kali ditempatkan di *shift* 1, 2, 3, 5 dan 6. Dari setiap pendapatan yang diperoleh, dicari selisih nilai antara nilai maksimum dan minimum pendapatan.

$$\text{Min } Z = [\max(TP_1, TP_2, TP_3, TP_4, TP_5) - \min(TP_1, TP_2, TP_3, TP_4, TP_5)] \quad (2.1)$$

Kendala:

- Pola kerja-cuti mempunyai nilai antara 1 sampai dengan 7, dimana setiap nilainya mewakili jumlah hari kerja dan hari cuti yang dimiliki setiap *shift* seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.4). Untuk *shift* 1, 2, dan 5 dapat mempunyai pola kerja-cuti antara pola 1 sampai 7, sedangkan untuk *shift* 3 dan 6, yang merupakan *shift* malam, tidak diperbolehkan mempunyai pola kerja 1, dimana pola 1 mempunyai jumlah hari kerja 6 dan hari cuti 1. Untuk mempermudah penulisan pertidaksamaan dibawah ini, i mempunyai nilai 1 sampai dengan 5, dimana nilai 4 mewakili *shift* 5 dan nilai 5 mewakili *shift* 6.

$$1 \leq P_i \leq 7 \quad i = 1, 2, 4 \quad (2.2)$$

$$2 \leq P_i \leq 7 \quad i = 3, 5 \quad (2.3)$$

$$\text{if } P_i = \begin{cases} 1, & K_i = 6, C_i = 1 \\ 2, & K_i = 5, C_i = 2 \\ 3, & K_i = 5, C_i = 1 \\ 4, & K_i = 4, C_i = 2 \\ 5, & K_i = 4, C_i = 1 \\ 6, & K_i = 3, C_i = 2 \\ 7, & K_i = 3, C_i = 1 \end{cases} \quad (2.4)$$

P_i = Pola Kerja Cuti pada *shift* i ,

$K_i = \text{Jumlah hari kerja untuk shift } i,$

$C_i = \text{Jumlah hari cuti untuk shift } i, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5$

- Setiap *shift* akan berotasi ke *shift* lainnya setelah melakukan satu pola kerja-cuti. *Shift* perpindahan ini dilambangkan dengan x_{ij} . *Shift* perpindahan ini mempunyai nilai 1 sampai dengan 5. Operator akan berpindah sebanyak N kali selama penjadwalan 8 minggu.

$$1 \leq x_{ij} \leq 5 \quad (2.4)$$

$$i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad j = 1, 2, 3, \dots, N$$

$x_{ij} = \text{shift perpindahan ke-} j \text{ untuk operator yang pertama kali ditempatkan pada shift } i.$

- Pola perpindahan *shift* mempunyai aturan yang ditetapkan oleh perusahaan. Operator yang bekerja pada *shift* 1 dapat berotasi ke *shift* 2 atau 6, operator yang bekerja pada *shift* 2 dapat berpindah ke *shift* 3 atau 6, operator yang bekerja pada *shift* 3 dapat berpindah ke *shift* 1 atau 5, operator yang bekerja pada *shift* 5 dapat berpindah ke *shift* 3 atau 6, dan operator yang bekerja pada *shift* 5 dapat berpindah ke *shift* 1 atau 5. Dari dua alternatif *shift* yang dapat dituju, operator akan dijadwalkan berpindah ke *shift* dimana tidak ada operator yang berada di *shift* perpindahan tersebut.

If $x_{ij} = 1$

If $b_{21} > 0$ and $b_{51} = 0$ then $x_{i j+1} = 5$

If $b_{21} = 0$ and $b_{51} > 0$ then $x_{i j+1} = 2$

If $x_{ij} = 2$

If $b_{32} > 0$ and $b_{52} = 0$ then $x_{i j+1} = 5$

If $b_{32} = 0$ and $b_{52} > 0$ then $x_{i j+1} = 3$

If $x_{ij} = 3$

If $b_{13} > 0$ and $b_{43} = 0$ then $x_{i j+1} = 4$

If $b_{13} = 0$ and $b_{43} > 0$ then $x_{i j+1} = 1$

If $x_{ij} = 4$

If $b_{34} > 0$ and $b_{54} = 0$ then $x_{i j+1} = 5$

If $b_{34} = 0$ and $b_{54} > 0$ then $x_{i j+1} = 3$

If $x_{ij} = 5$

If $b_{15} > 0$ and $b_{45} = 0$ then $x_{i j+1} = 4$

If $b_{15} = 0$ and $b_{45} > 0$ then $x_{i j+1} = 1$ (2.5)

b_{in} = jumlah operator yang berada pada *shift* i yang merupakan *shift* perpindahan dari *shift* n

- Total pendapatan operator dihitung berdasarkan jumlah jam kerja operator selama 8 minggu. Untuk operator *shift* 1, 2 dan 3 akan menerima upah kerja normal sebesar 3\$, yaitu untuk 8 jam kerja, sedangkan operator *shift* 5 dan 6 selain menerima upah kerja normal, juga akan menerima upah lembur sebesar \$3.5 selama 4 jam.

$PN = 3, JKN = 8, JKL = 12$

if $x_{ij} = 1,2,3$ then $PL = 0$

if $x_{ij} = 4,5$ then $PL = 3,5$ (2.6)

$$TP_i = \sum_{j=0}^N K(x_{ij}) \times JKN \times PN + \sum_{j=0}^N K(x_{ij}) \times (JKL - JKN) \times PL \quad (2.7)$$

if $x_{ij} = 1,2,3$ then $PL = 0$

if $x_{ij} = 4,5$ then $PL = 3,5$

TP_i = Total pendapatan operator yang ditempatkan pertama kali pada *shift* i

PN = Pendapatan normal operator per jam

PL = Pendapatan lembur operator per jam

JKN = Jam Kerja Normal operator

JKL = Jam kerja Lembur operator

4.1.2.1 Model Matematis meminimalkan jam mesin idle

Fungsi Tujuan:

- Meminimalkan jam mesin *idle*

fungsi tujuan menghitung jam mesin *idle* dihitung dengan cara mengurangi jumlah mesin siap pakai dengan jumlah operator yang ada pada setiap selang waktu satu jam selama 1344 jam. Jumlah operator yang ada pada tiap jam tersebut merupakan penjumlahan dari operator yang ditempatkan pada setiap *shift* pada selang waktu 1 jam tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & (MA - \sum_{i=1}^5 a_{i1}) + (MA - \sum_{i=1}^5 a_{i2}) + (MA - \sum_{i=1}^5 a_{i3}) \\ & + (MA - \sum_{i=1}^5 a_{i4}) + \dots + (MA - \sum_{i=1}^5 a_{i1344}) \end{aligned} \quad (2.8)$$

Dengan kendala:

- Tidak semua operator yang tersedia di perusahaan dapat bekerja seluruhnya. Hal ini dikarenakan ada asumsi bahwa ada operator yang tidak masuk kerja karena sakit atau cuti panjang. Jumlah operator yang dapat bekerja setelah diasumsikan ada operator yang tidak masuk kerja dinamakan jumlah operator siap pakai. Hal ini berlaku pula untuk mesin.

$$OA = \text{Int} [PAOperator \times JO]$$

$$MA = \text{Int} [PAMesin \times JM]$$

JO = Jumlah Operator

JM = Jumlah mesin

OA = Jumlah Operator Available

MA = Jumlah mesin available

PAMesin = 90%

PAOperator = 95%

- Dalam kasus meminimalkan jam mesin yang tidak terpakai, terdapat batasan pola kerja cuti untuk setiap *shift*. Pola kerja-cuti untuk *shift* 1

adalah 3, pola kerja-cuti *shift* 2 adalah 1, pola kerja-cuti *shift* 3 adalah 3, pola kerja-cuti *shift* 5 adalah 6, dan pola kerja-cuti *shift* 6 adalah 6.

$$P_1 = 3, P_2 = 1, P_3 = 3, P_4 = 6, P_5 = 6$$

P_i = Pola Kerja Cuti pada *shift* i .

- Kebijakan perusahaan dalam menempatkan operator adalah operator yang tersedia (OA) di *site* harus seluruhnya terpakai dan terjadwalkan. Dengan demikian jumlah operator mesin yang ditempatkan di *shift* 1, 2, 3, 5 dan 6 harus sama dengan jumlah operator mesin siap pakai yang dimiliki perusahaan.

$$\sum_{i=1}^5 O_i = OA \quad (2.9)$$

$$O_i \geq 0$$

O_i = Operator mesin yang bekerja pada *shift* i

- Selama penjadwalan 8 minggu yang dilakukan terdapat 1344 jam yang akan dihitung jumlah mesin yang tidak terpakai setiap jamnya. Sebagai contoh, jam ke-1 adalah jam 00.00-01.00 pada hari senin minggu pertama, jam ke-2 adalah jam 01.00-02.00 pada hari senin minggu pertama, dst. Pada setiap jamnya, akan ada sejumlah operator yang dijadwalkan untuk mengoperasikan mesin. Jumlah operator yang ada pada setiap jamnya sangat tergantung dari adanya operator yang ditempatkan pada setiap *shift*

$$a_{ik} \geq 0 \quad (2.10)$$

$$OM - \sum_{i=1}^5 a_{ik} \geq 0 \quad k = 1, 2, 3, \dots, 1344 \quad (2.11)$$

$$\text{If } \sum_{i=1}^5 a_{ik} \geq OM \quad \text{then } (OM - \sum_{i=1}^5 a_{ik}) = 0$$

a_{ik} = jumlah operator yang berada pada *shift* i pada jam ke k

$$i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad k = 1, 2, 3, \dots, 1344$$

Berdasarkan pola kerja-cuti yang ada pada setiap *shift*, maka sudah dapat diketahui jumlah operator yang ada pada setiap *shift* untuk setiap jamnya.

$$\begin{aligned}
 a_{1k} = O_1 & \quad k = 2-9, 26-33, 50-77, \dots, 748-750 \\
 a_{2k} = O_1 & \quad k = 160-167, 184-191, 208-215, \dots, 900-907 \\
 a_{3k} = O_1 & \quad k = 312-319, 336-343, 360-367, \dots, 1028-1035 \\
 a_{4k} = O_1 & \quad k = 463-474, 487-498, 1083-1094, 1131-1142 \\
 a_{5k} = O_1 & \quad K = 547-558, 571-582, 595-606, \dots, 1171-118 \\
 a_{1k} = O_2 & \quad k = 296-303, 320, 327, 344-351, \dots, 392-399 \\
 a_{2k} = O_2 & \quad k = 16-23, 40-47, 64-71, \dots, 516-523 \\
 a_{3k} = O_2 & \quad k = 168-175, 192, 199, 216-223, \dots, 672-679 \\
 a_{4k} = O_2 & \quad k = 727-738, 751-762, 775-786, \dots, 1207-1218 \\
 a_{5k} = O_2 & \quad k = 835-846, 859-870, 883-894, \dots, 1315-1326 \\
 a_{1k} = O_3 & \quad k = 152-159, 175-182, 199-207, \dots, 1064-1071 \\
 a_{2k} = O_3 & \quad k = 281-287, 304-311, 329-335, \dots, 1216-1223 \\
 a_{3k} = O_3 & \quad k = 24-31, 48-55, 72-79, \dots, 1320-1327, 1344 \\
 a_{1k} = O_4 & \quad k = 440-447, 472-479, \dots, 280-287 \\
 a_{2k} = O_4 & \quad k = 568-575, 593-599, \dots, 1073-1079 \\
 a_{3k} = O_4 & \quad k = 720-727, 744-751, \dots, 1224-1231 \\
 a_{4k} = O_4 & \quad k = 7-18, 31-42, \dots, 271-282 \\
 a_{5k} = O_4 & \quad k = 331-342, 355-366, 379-390 \\
 a_{1k} = O_5 & \quad k = 776-783, 800-807, 824-833 \\
 a_{4k} = O_5 & \quad k = 127-128, 151-162, 175-186, \\
 a_{5k} = O_5 & \quad k = 19-30, 43-54, 67-78, \dots, 340-344 \\
 a_{2k} = O_1 + O_3 & \quad k = 136-143, 784-791, 808-815 \\
 a_{1k} = O_1 + O_3 & \quad k = 656-665 \\
 a_{2k} = O_3 + O_4 & \quad k = 688-695 \\
 a_{1k} = O_4 + O_5 & \quad k = 848-855, 872-879
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

4.1.3 Parameter Kontrol

Metode DE menggunakan parameter kontrol sebagai tahap inisialisasi. Nilai parameter kontrol akan sangat berpengaruh terhadap hasil optimal yang diperoleh dan jumlah iterasi yang diperlukan dalam mendapatkan hasil optimal. Parameter control DE terdiri dari ukuran populasi, Jumlah iterasi maksimum, *Cross over rate* dan probabilitas mutasi. Nilai untuk parameter kontrol yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter Kontrol DE

Parameter Kontrol	Nilai
Ukuran Populasi	50
Maksimum Iterasi	500
<i>Cross over Rate</i>	0.5
Probabilitas Mutasi	0.6

4.2 PENYUSUNAN ALGORITMA

Penyelesaian kasus optimasi pada penjadwalan operator di PT Pama Persadanasantara dilakukan menggunakan algoritma *Differential Evolution*. Penulisan algoritma tersebut dilakukan menggunakan aplikasi *Visual Basic for Application* (VBA) Microsoft Excel.

Microsoft Office Excel 2007 merupakan salah satu produk Microsoft untuk membuat aplikasi *spreadsheet* yang terkenal dengan kemudahan dan keandalannya. Berbagai fasilitas disediakan untuk melakukan pengembangan aplikasi. Salah satu fasilitas penting yang dimiliki oleh Microsoft Excel adalah VBA. Fasilitas VBA dapat digunakan dapat digunakan untuk melakukan otomatisasi, sehingga dalam penyelesaian pekerjaan yang bersifat rutin dapat dilakukan dengan lebih mudah dan lebih cepat. Selain itu, VBA dapat melakukan modifikasi terhadap program Microsoft Excel sesuai kebutuhan.

4.2.1 Langkah-langkah Penyusunan Algoritma *Differential Evolution*

Pada optimasi penjadwalan pola kerja–cuti operator, algoritma DE digunakan untuk mencari nilai optimal dari fungsi tujuan meminimalkan jam mesin yang *idle* dan fungsi tujuan meminimalkan standar deviasi pendapatan antar operator untuk operator mesin *Excavator* dan *dump truck*.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penyusunan algoritma DE dapat dilihat pada gambar 4.1. Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menentukan input parameter, yaitu:
 - Jadwal kerja setiap *shift*
 - Pola rotasi pekerja
 - Biaya per jam operator
 - Biaya lembur per jam operator
 - PA mesin
 - PA operator
 - Pola kerja–cuti *Shift* 1
 - Pola kerja–cuti *Shift* 2
 - Pola kerja–cuti *Shift* 3
 - Pola kerja–cuti *Shift* 5
 - Pola kerja–cuti *Shift* 6
 - Jumlah Mesin *Excavator* PC 4000
 - Jumlah Mesin *Excavator* PC 3000
 - Jumlah Mesin *Excavator* PC 2000
 - Jumlah Mesin *Excavator* PC 1250
 - Jumlah Mesin *Excavator* PC 750
 - Jumlah Mesin *Excavator* EX 2500
 - Jumlah Mesin *Excavator* PC PC 200
 - Jumlah Kendaraan *Dump truck* HD 1500
 - Jumlah Kendaraan *Dump truck* HD 785-7
 - Jumlah Kendaraan *Dump truck* HD 785-5
 - Jumlah Kendaraan *Dump truck* HM 400-1
 - Jumlah Kendaraan *Dump truck* BMA40D

- Jumlah Operator *Excavator* PC 4000
- Jumlah Operator *Excavator* PC 3000
- Jumlah Operator *Excavator* PC 2000
- Jumlah Operator *Excavator* PC 1250
- Jumlah Operator *Excavator* PC 750
- Jumlah Operator *Excavator* EX 2500
- Jumlah Operator *Excavator* PC PC 200
- Jumlah Operator *Dump truck* HD 1500
- Jumlah Operator *Dump truck* HD 785-7
- Jumlah Operator *Dump truck* HD 785-5
- Jumlah Operator *Dump truck* HM 400-1
- Jumlah Operator *Dump truck* BMA40D

2. Menetapkan nilai parameter kontrol, yaitu:

- Ukuran Populasi (NP) = 50

Ukuran populasi ini ditentukan berdasarkan jumlah dimensi yang telah ditentukan (Ukuran populasi = $10 \times D$)¹⁷. Jumlah dimensi ditentukan berdasarkan jumlah variabel yang digunakan untuk menentukan nilai optimal. Variabel meliputi pola kerja–cuti setiap *shift* dan jumlah operator yang ditempatkan ke setiap *shift* untuk masing-masing mesin.

- Parameter kontrol mutasi (F) adalah 0.6
- Parameter kontrol pindah silang (CR) adalah 0.5
- Jumlah maksimum iterasi adalah 500

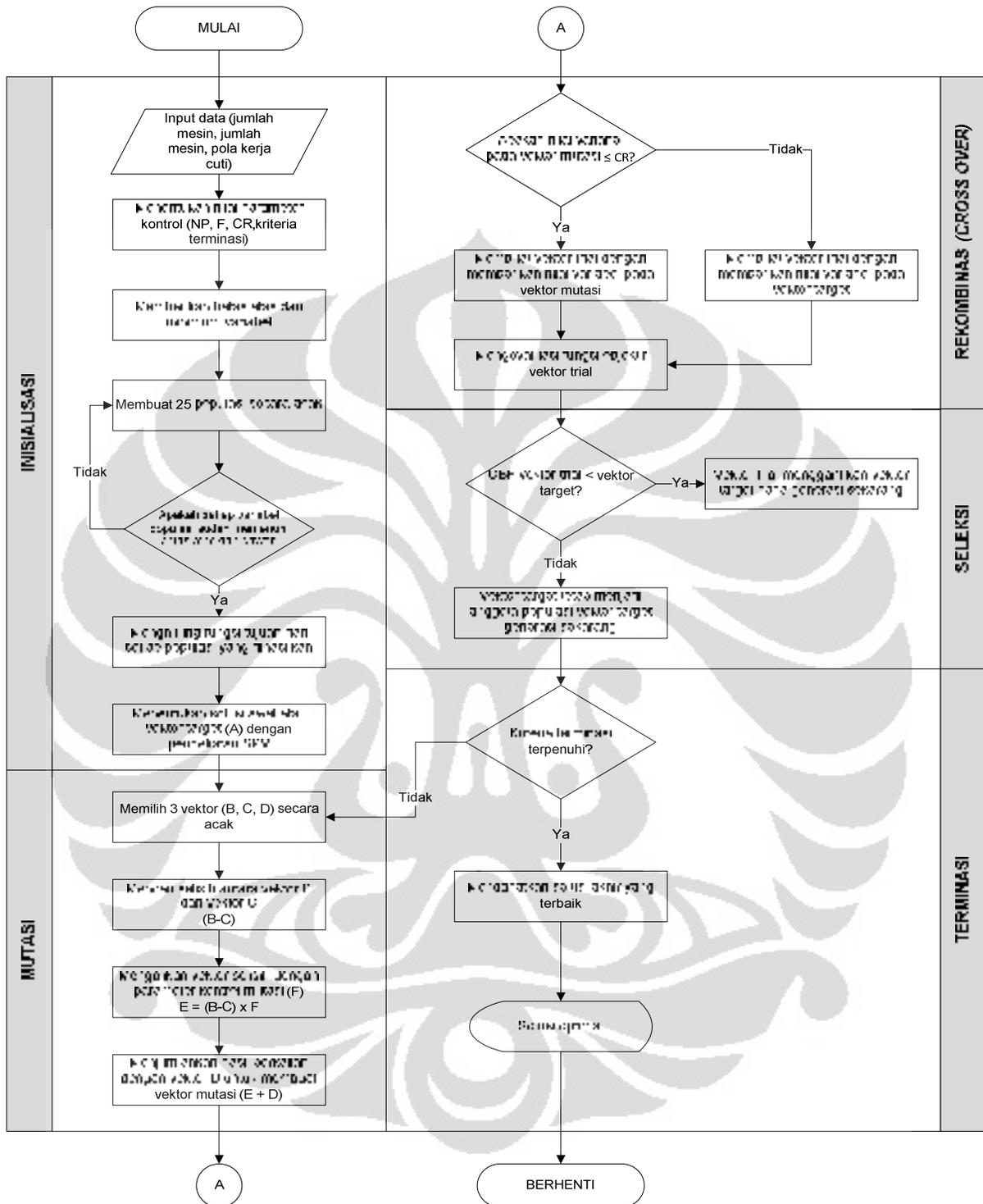
3. Memberikan batas maksimum dan minimum untuk jumlah operator dan pola kerja cuti untuk dimensi yang sudah ditentukan. Nilai batas ditentukan berdasarkan pada kebijakan perusahaan dan akan menjadi kendala dalam pencarian solusi yang optimal.

4. Membuat 50 populasi vektor secara acak dengan nilai dari masing-masing variabel pada populasi mempunyai kisaran 0 - 1. Nilai variabel ini akan dikonversikan kedalam nilai variabel yang sesuai dengan batasan atas dan

¹⁷ Srikanta Routroy dan Rambabu Kodali, Op. Cit

bawah nilai pada variabel di masing-masing populasi sesuai dengan ketentuan batas maksimum dan minimum yang telah ditentukan.

5. Jika nilai variabel pada setiap populasi ini melebihi nilai batas maksimum atau kurang dari batas minimum, maka program akan mengacak populasi tersebut sampai kriteria batas atas dan bawah terpenuhi.
6. Mengevaluasi fungsi tujuan dari 50 populasi yang dihasilkan secara acak oleh program.
7. Menentukan solusi awal sebagai langkah awal dari metode algoritma *Differential Evolution*. Solusi awal disini akan berperan sebagai vektor target atau vektor orang tua (vektor A). Oleh karena fungsi tujuan dari permasalahan ini adalah meminimalkan jam mesin *idle* dan meminimalkan standar deviasi pendapatan antar operator, maka solusi awal ini ditentukan dengan menggunakan pendekatan SPV (*Smallest Positive Value*), yaitu mencari nilai fungsi tujuan yang paling kecil dari 50 populasi yang sudah dibentuk. Pendekatan ini dilakukan supaya hasil optimal yang didapat dari algoritma *Differential Evolution* lebih terjamin untuk mendekati solusi optimal global.
8. Memilih 3 vektor secara acak dari 50 populasi yang ada (vektor B, C, dan D). Vektor B, C, D merupakan vektor pembentuk vektor mutasi.
9. Mencari vektor mutasi dengan cara mencari selisih antara vektor B dan C dan mengalikan dengan parameter kontrol mutasi (F). Hasil perkalian tersebut akan ditambahkan dengan vektor D untuk membentuk vektor mutasi.
10. Mencari vektor anak (vektor trial) dengan proses rekombinasi. Proses ini dilakukan dengan cara menggabungkan beberapa variabel antara vektor orang tua dan vektor mutasi. Jika nilai variabel pada vektor pada vektor mutasi lebih kecil atau sama dengan nilai CR, maka nilai variabel yang dipakai pada vektor anak adalah nilai pada variabel vektor mutasi, sedangkan jika nilai variabel pada vektor mutasi lebih kecil dari nilai CR, maka nilai variabel pada vektor anak adalah variabel pada vektor orang tua.
11. Mencari nilai fungsi tujuan dari vektor anak yang dihasilkan.



Gambar 4.1 Diagram alir optimasi penjadwalan operator menggunakan algoritma DE

12. Fungsi tujuan antara vektor anak dan vektor orang tua dibandingkan. Karena fungsi tujuan dari permasalahan ini adalah permasalahan meminimalkan, maka jika fungsi tujuan vektor target lebih kecil dibandingkan dengan *trial vector*, maka vektor target akan menjadi vektor untuk generasi selanjutnya, dan sebaliknya, jika fungsi tujuan *trial vector* lebih kecil dari vektor target, maka vektor trial akan menggantikan vektor target di generasi sekarang dan juga akan menjadi populasi generasi selanjutnya.
13. Melakukan langkah 7 – 11 secara terus menerus sampai kriteria terminasi terpenuhi, yaitu jumlah iterasi maksimum sebesar 500.
14. Dari sejumlah iterasi yang dilakukan, maka algoritma DE akan mendapatkan solusi optimum lokal atau solusi yang terbaik dari 500 solusi yang telah dihasilkan.

4.2.2 Verifikasi dan Validasi Program

Sebelum melangkah menuju pengolahan data dan analisa lebih lanjut, aplikasi program penjadwalan operator untuk mencari hasil optimal yang dibuat harus kredibel. Representasi kredibel sistem nyata oleh program ditunjukkan oleh verifikasi dan validasi model. Verifikasi adalah proses pemeriksaan apakah logika operasional model (program komputer) sesuai dengan logika diagram alir (Hoover dan Perry, 1989); verifikasi adalah pemeriksaan apakah program komputer simulasi berjalan sesuai dengan yang diinginkan, dengan pemeriksaan program komputer. Verifikasi memeriksa penerjemahan model simulasi konseptual (diagram alir dan asumsi) ke dalam bahasa pemrograman secara benar (Law dan Kelton, 1991). Proses verifikasi dilakukan selama proses pembuatan program dijalankan.

Beberapa proses verifikasi yang dilakukan dalam proses pembuatan program ini antara lain adalah sebagai berikut:

- Apakah program yang dijalankan sudah sesuai dengan model matematis yang dibuat.

- Memastikan apakah logika yang ada sudah benar (penulisan *source code* sudah sesuai dengan konsep algoritma *Differential Evolution*) dan dapat dijalankan dengan baik
- Memastikan apakah program yang dibuat sudah mengandung semua batasan masalah yang ada
- Apakah perhitungan fungsi tujuan sudah sesuai dengan yang seharusnya.

Setelah proses verifikasi, langkah selanjutnya adalah proses validasi. Validasi adalah proses penentuan apakah model, sebagai konseptualisasi atau abstraksi, merupakan representasi berarti dan akurat dari sistem nyata. (Hoover dan Perry, 1989); validasi adalah penentuan apakah mode konseptual program (sebagai tandingan program komputer) adalah representasi akurat dari sistem nyata yang sedang dibuat (Law dan Kelton, 1991).

Proses verifikasi yang dilakukan adalah menghitung secara manual jumlah pendapatan yang diterima oleh operator yang pertama kali ditempatkan pada *shift* 6 dengan pola kerja-cuti setiap *shift*, yaitu $P1 = 2, P2 = 1, P3 = 3, P4 = 5, P5 = 4$. Dengan pola kerja-cuti ini, maka diperoleh pola perpindahan *shift* operator yang pertama kali ditempatkan di *shift* 5 sebagai berikut:

$$X_{51} = 4, X_{52} = 5, X_{53} = 4, X_{54} = 5, X_{55} = 1, X_{56} = 2, X_{57} = 3, X_{58} = 1, X_{59} = 2, X_{510} = 3$$

Dengan demikian maka didapat nilai $K_{(X_{ij})}$.

$$K_{(X_{51})} = 5, K_{(X_{52})} = 4, K_{(X_{53})} = 5, K_{(X_{54})} = 4, K_{(X_{55})} = 5, K_{(X_{56})} = 6, K_{(X_{57})} = 4, K_{(X_{58})} = 5, K_{(X_{59})} = 6, K_{(X_{510})} = 4.$$

Kemudian dengan menggunakan persamaan (2.7), dihitung total pendapatan untuk operator tersebut.

$$TP_4 = \sum_{j=0}^{10} K(x_{4j}) \times JKN \times PN + \sum_{j=0}^{10} K(x_{4j}) \times (JKL - JKN) \times PL$$

if $x_{ij} = 1,2,3$ then $PL = 0$

if $x_{ij} = 4,5$ then $PL = 3,5$

$$TP_4 = (5 \times 8 \times 3 + 5 \times 4 \times 3,5) + (4 \times 8 \times 3 + 4 \times 4 \times 3,5) + (5 \times 8 \times 3 + 5 \times 4 \times 3,5) + (4 \times 8 \times 3 + 4 \times 4 \times 3,5) + (5 \times 8 \times 3 + 0) + (6 \times 8 \times 3 + 0) + (4 \times 8 \times 3 + 0) + (5 \times 8 \times 3 + 0) + (6 \times 8 \times 3 + 0) + (4 \times 8 \times 3 + 0) +$$

$$TP_4 = 190 + 152 + 190 + 152 + 120 + 144 + 96 + 120 + 144 + 96$$

$$TP_4 = 1404$$

Dari hasil perhitungan manual, didapatkan hasil total pendapatan operator sebesar \$1404. Hasil perhitungan manual ini dicocokkan dengan hasil perhitungan pada program. Dari program yang dijalankan, didapatkan hasil yang sama untuk total pendapatan operator untuk *shift* yaitu sebesar \$1404. Hasil tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini. Dari kedua hasil ini, dapat dikatakan bahwa program telah terverifikasi dengan baik.

Tabel 4.2 Verifikasi Pendapatan Operator

Shift Pertama Operator Ditempatkan	Pola Kerja - cuti	Pendapatan kerja Normal/operator	Pendapatan lembur/operator	Total Biaya/operator (B+ C)
1	2	\$1,146.00	\$238.00	\$1,384.00
2	1	\$1,200.00	\$0.00	\$1,200.00
3	3	\$1,080.00	\$434.00	\$1,514.00
5	5	\$1,152.00	\$252.00	\$1,404.00
6	4	\$1,104.00	\$378.00	\$1,482.00
			Pendapatan Minimal	\$1,200.00
			Pendapatan Maksimal	\$1,514.00
			Standar Deviasi Pendapatan	\$314.00

4.3 PENGOLAHAN DATA DAN HASIL

Permasalahan yang dihadapi adalah bagaimana menentukan pola kerja-cuti dan mengalokasikan operator pada setiap *shift* sehingga dicapai solusi yang optimal yang meminimalkan standar deviasi pendapatan antar operator dan juga meminimalkan jam mesin *idle*. Secara umum, langkah pengerjaan pada permasalahan ini dibagi menjadi 2 tahap. Tahap pertama yang dilakukan adalah menentukan terlebih dahulu pola kerja-cuti yang optimal pada setiap *shift* sehingga standar deviasi pendapatan antar operator minimal. Setelah didapat hasil solusi pola kerja-cuti yang optimal, langkah kedua adalah bagaimana mengatur jumlah operator yang akan ditempatkan pada tiap *shift* dengan pola kerja-cuti yang sudah didapat pada langkah pertama. Dengan menjalankan kedua langkah ini, maka hasil optimal yang didapat akan berhasil meminimalkan kedua fungsi tujuan tersebut

4.3.1 Optimasi Standar Deviasi Pendapatan Operator antar *Shift*

Setiap *shift* mempunyai pola kerja-cuti yang dapat berbeda satu dengan lainnya. Pendapatan per operator sangat ditentukan oleh pola kerja-cuti masing-masing *shift*. Operator pertama kali akan ditempatkan di *shift* dimana operator dijadwalkan. Setelah satu pola pada *shift* itu telah terpenuhi, operator tersebut akan berotasi ke *shift* lain sesuai dengan pola rotasi yang telah ditentukan perusahaan.

Operator akan mendapatkan upah untuk setiap jam kerjanya. Pada *shift* 1, *shift* 2 dan *shift* 3, Operator akan bekerja selama 8 jam per harinya dan akan mendapatkan upah normal per jam sebesar \$3. Pada *shift* 5 dan 6 yang mempunyai jam kerja selama 12 jam, operator tidak hanya mendapatkan upah normal per jam, tetapi operator juga mendapatkan upah lembur per jam sebesar \$3.5. Upah lembur didapat jika operator bekerja lebih dari 8 jam sehari.

Hal yang ingin dihindari oleh perusahaan adalah terjadinya ketimpangan pendapatan antar satu operator dengan operator lainnya karena penjadwalan pola kerja-cuti yang tidak sesuai. Jika hal ini terjadi, operator akan merasakan ketidakadilan dalam menerima upah kerja. Hal ini dapat menyebabkan

kepuasan kerja operator rendah yang dapat berakibat pada turunnya produktifitas operator.

4.3.2 Hasil Optimal Meminimalkan Standar Deviasi Pendapatan antar Operator

Fungsi tujuan pada permasalahan ini adalah meminimalkan standar deviasi pendapatan operator antar *shift*. Setelah dilakukan iterasi sebanyak 500 kali, didapatkan pola kerja – cuti yang optimal sebagai berikut:

- Pola kerja-cuti *shift* 1 adalah 3
- Pola kerja-cuti *shift* 2 adalah 1
- Pola kerja-cuti *shift* 3 adalah 3
- Pola kerja-cuti *shift* 5 adalah 6
- Pola kerja-cuti *shift* 6 adalah 6

Tabel 4.3 menunjukkan solusi yang meminimalkan standar deviasi pendapatan antar operator. Pendapatan normal per operator adalah pendapatan selama jam kerja normal (8 jam sehari) yang diperoleh oleh operator tersebut selama 8 minggu. Pendapatan lembur per operator merupakan pendapatan yang diperoleh operator jika operator tersebut bekerja lebih dari 8 jam sehari atau operator ditempatkan pada *shift* 5 dan 6. Jika operator ditempatkan pada saat awal penjadwalan ditempatkan di *shift* 1, maka selama 8 minggu operator tersebut akan mendapatkan upah sebesar $\$1104 + \$168 = \$1272$.

Tabel 4.3 Solusi Optimal Standar Deviasi Pendapatan Operator

<i>Shift</i> Pertama kali Operator Ditempatkan	Pola Kerja-Cuti / <i>Shift</i>	Pendapatan normal/operator (A)	Pendapatan lembur/operator (B)	Total Pendapatan / operator (A + B)
1	3	\$1,104.00	\$168.00	\$1,272.00
2	1	\$1,080.00	\$252.00	\$1,332.00
3	3	\$1,251.00	\$0.00	\$1,251.00
5	6	\$1,152.00	\$168.00	\$1,320.00
6	6	\$930.00	\$462.00	\$1,392.00
			Pendapatan Minimal	\$1,251.00
			Pendapatan Maksimal	\$1,392.00
			Standar Deviasi Pendapatan	\$141.00

Dengan pola kerja-cuti setiap *shift* optimal yang dihasilkan, didapatkan hasil pendapatan minimal operator adalah \$1251 pada operator yang pertama kali ditempatkan di *shift* 3 dan pendapatan maksimal operator adalah \$1392 pada operator yang pertama kali ditempatkan di *shift* 6. Dengan demikian standar deviasi pendapatan antar operator yang paling minimal dengan menggunakan metode DE adalah sebesar $\$1392 - \$1251 = \$141$.

Tabel 4.4 menggambarkan pola perpindahan *shift* yang dilakukan operator yang ditempatkan untuk masing-masing *shift*. Contohnya, untuk operator pada saat awal penjadwalan ditempatkan di *shift* 1, pada rotasi pertama, operator akan berpindah ke *shift* 2, pada rotasi kedua operator akan berpindah ke *shift* 3, pada rotasi ketiga, operator akan berpindah ke *shift* 5 dan seterusnya. Pola rotasi ini akan membuat menentukan pendapatan antar operator.

Tabel 4.4 Pola perpindahan *shift* pada solusi optimal

Shift Pertama kali Operator Ditempatkan	SHIFT PERPINDAHAN KE													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	2	3	5	6	1	2	3	5	6	1			
2	2	3	1	2	3	5	6	5	6	5	6			
3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
5	5	6	5	6	1	2	3	1	2	3	1			
6	6	5	6	5	6	5	6	1	6	5	6	5	6	

4.3.3 Optimasi Jumlah Jam Mesin *Idle*

Jumlah jam mesin *idle* yang dihasilkan dipengaruhi oleh pola kerja-cuti yang ada dan juga penempatan operator pada setiap *shift*. Karena itu penjadwalan yang dibuat harus dapat mengalokasikan operator sedemikian rupa dengan memanfaatkan operator yang tersedia sehingga didapatkan jam mesin yang *idle* paling minimum. Penjadwalan dibuat untuk operator produksi mesin *Excavator* dan *dump truck*.

Jumlah mesin *idle* dihitung berdasarkan jumlah mesin yang tidak terpakai tiap jamnya selama 8 minggu karena kurangnya operator yang dapat mengutilisasikan mesin tersebut.

Pada kasus optimasi jumlah jam mesin *idle*, hasil optimal dari pola kerja-cuti yang didapat sebelumnya akan digunakan untuk mendapatkan hasil yang optimal pada permasalahan meminimalkan jumlah jam mesin *idle*. Dengan demikian penyelesaian yang dilakukan oleh algoritma DE pada tahap ini adalah menempatkan sejumlah operator pada setiap *shift* dengan pola kerja-cuti untuk *shift* 1 adalah 3, pola kerja-cuti untuk *shift* 2 adalah 1, pola kerja-cuti untuk *shift* 3 adalah 3, pola kerja-cuti untuk *shift* 5 adalah 6, dan pola kerja-cuti untuk *shift* 6 adalah 6.

4.3.4 Hasil optimal jam mesin *idle* mesin *Dump truck*

Permasalahan kedua adalah meminimalkan jumlah jam mesin *idle* selama penjadwalan 8 minggu. Jumlah mesin *idle* yang dapat dihitung berdasarkan jumlah mesin yang siap pakai dikurangi dengan jumlah operator yang ada pada tiap selang waktu 1 jam. Jika pada selang waktu 1 jam jumlah operator sama dengan atau melebihi jumlah mesin yang siap pakai, maka mesin terutilisasi 100% pada selang waktu tersebut. Namun jika jumlah operator yang ada pada selang waktu 1 jam lebih kecil dari pada jumlah mesin siap pakai, maka pada kondisi demikian mesin tidak terutilisasi dengan sempurna atau terdapat sejumlah mesin yang tidak terpakai.

Setelah dilakukan iterasi sebanyak 500 kali, hasil optimal untuk penempatan operator untuk *Dump truck* dengan *tipe* mesin HD 1500, HD 785-7, HD 785-5, HM 400, BMA40D dapat dilihat pada tabel 4.5.

Dari solusi optimal yang didapat, diperoleh jumlah jam mesin *idle* untuk seluruh *dump truck* selama penjadwalan 8 minggu adalah sebesar 17686 jam, dengan total jam mesin *idle* untuk HD 1500 adalah 2147, untuk mesin HD 785-7 adalah 3477, untuk mesin HD 785-5 adalah 8909, untuk mesin HM 400 adalah 1683 dan untuk mesin BMA40D adalah 1470. Jumlah jam mesin *idle* untuk tiap mesin dapat dilihat pada tabel 4.6. Output penjadwalan untuk operator *dump truck* dapat dilihat pada lampiran 2.

Tabel 4.5 Solusi Optimal Jam Mesin *Idle* untuk *Dump Truck*

<i>SHIFT</i>	TIPE MESIN	JUMLAH OPERATOR	POLA (KERJA - CUTI)
1 (07.00 - 15.00)	HD 1500	20	3
	HD 785-7	32	
	HD785-5	79	
	HM400	16	
	BMA40D	20	
2 (15.00 - 23.00)	HD 1500	21	1
	HD 785-7	32	
	HD785-5	66	
	HM400	17	
	BMA40D	21	
3 (23.00 - 07.00)	HD 1500	12	3
	HD 785-7	13	
	HD785-5	47	
	HM400	11	
	BMA40D	12	
5 (06.00 - 18.00)	HD 1500	21	6
	HD 785-7	27	
	HD785-5	73	
	HM400	17	
	BMA40D	21	
6 (18.00 - 06.00)	HD 1500	9	6
	HD 785-7	20	
	HD785-5	37	
	HM400	7	
	BMA40D	9	

Tabel 4.6 Jumlah Jam Mesin *idle* *Dump Truck* Optimal

TIPE MESIN	JUMLAH MESIN SIAP PAKAI	MESIN <i>IDLE</i> (JAM) PADA MINGGU KE								TOTAL JAM MESIN <i>IDLE</i>
		1	2	3	4	5	6	7	8	
HD 1500	21	205	193	444	172	433	236	51	413	2147
HD 785-7	31	304	405	720	472	639	382	60	495	3477
HD785-5	77	783	943	1680	975	1518	888	379	1743	8909
HM400	17	160	136	344	119	344	192	49	339	1683
BMA40D	10	141	178	228	163	259	163	117	221	1470
TOTAL		1593	1855	3416	1901	3193	1861	656	3211	17686

4.3.5 Hasil Optimal Jam Mesin *idle* pada mesin *Excavator*

Penjadwalan untuk mesin *Excavator* dibuat untuk 7 jenis mesin *Excavator*. Ke-tujuh mesin tersebut adalah PC 4000, PC 3000, PC 2000, PC 1250SP-7, PC 750SE-7, PC 2500-5, PC 200. Ke-tujuh mesin ini akan dibuat masing-masing penjadwalan operator yang meminimalkan jam mesin *Excavator* yang minimum.

Dengan menggunakan metode DE dan dilakukan iterasi sebanyak 500 kali, didapatkan solusi optimal, yaitu jumlah operator yang ditempatkan untuk setiap *shift* pada setiap mesin sehingga meminimalkan jam mesin *idle* pada setiap jenis mesin *Excavator*. Hasil tersebut dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.8 menunjukkan hasil perhitungan fungsi tujuan yang menghitung total mesin *idle* untuk 7 Tipe mesin *Excavator* yang ada. Total jam mesin *idle* selama penjadwalan 8 minggu untuk mesin *Excavator* adalah 3021 jam. Output penjadwalan untuk operator *excavator* dapat dilihat pada lampiran 3.

Tabel 4.7 Solusi Optimal Jam Mesin *Idle* untuk Mesin *Excavator*

<i>SHIFT</i>	TIPE MESIN	JUMLAH OPERATOR	POLA (KERJA -
1 (07.00 - 15.00)	PC 4000	3	3
	PC 3000	3	
	PC 2000	2	
	PC 1250SP-7	6	
	PC 750SE-7	5	
	EX 2500-5	2	
	PC 200	2	
2 (15.00 - 23.00)	PC 4000	3	1
	PC 3000	3	
	PC 2000	1	
	PC 1250SP-7	6	
	PC 750SE-7	4	
	EX 2500-5	2	
	PC 200	2	
3 (23.00 - 07.00)	PC 4000	5	3
	PC 3000	3	
	PC 2000	1	
	PC 1250SP-7	4	
	PC 750SE-7	4	
	EX 2500-5	2	
	PC 200	2	

Tabel 4.7 Solusi Optimal Jam Mesin *Idle* untuk Mesin *Excavator* (lanjutan)

5 (06.00 - 18.00)	PC 4000	3	6
	PC 3000	4	
	PC 2000	1	
	PC 1250SP-7	6	
	PC 750SE-7	5	
	EX 2500-5	2	
	PC 200	2	
6 (18.00 - 06.00)	PC 4000	3	6
	PC 3000	2	
	PC 2000	2	
	PC 1250SP-7	2	
	PC 750SE-7	4	
	EX 2500-5	2	
	PC 200	2	

Tabel 4.8 Jumlah Jam Mesin *Idle* Optimal Mesin *Excavator*

TIPE MESIN	JUMLAH MESIN SIAP PAKAI	MESIN <i>IDLE</i> (JAM) PADA MINGGU KE								TOTAL JAM MESIN <i>IDLE</i>
		1	2	3	4	5	6	7	8	
PC 4000	3	0	0	48	0	3	9	0	18	78
PC 3000	5	107	152	120	137	170	119	114	172	1121
PC 2000	3	105	171	98	160	146	152	122	140	1094
PC 1250SP-7	6	54	38	120	38	124	66	4	128	572
PC 750SE-7	3	0	0	48	0	3	9	0	18	78
EX 2500-5	1	0	0	16	0	1	3	0	6	26
PC 200	2	0	0	32	0	2	6	0	12	52
TOTAL		266	361	482	335	449	364	270	494	3021

4.4. ANALISA

Pada analisa, dibahas bagaimana hasil yang diperoleh dari perhitungan menggunakan algoritma DE dengan penjadwalan yang saat ini ada di perusahaan. Dengan membandingkan antara keadaan yang terjadi di perusahaan dengan hasil optimal yang didapat, maka dapat diketahui seberapa signifikan perubahan yang terjadi terutama mengenai standar deviasi pendapatan operator dan juga jumlah jam mesin *idle* yang ada.

Analisa terhadap hasil pengolahan data akan dibagi menjadi tiga, yaitu analisis metode, analisis program, dan analisis hasil.

4.4.1 Analisa Metode

Algoritma *Differential Evolution* (DE) merupakan pengembangan dari *Genetic Algorithm* (GA), dengan prinsip dasar yang digunakan adalah berdasarkan prinsip evolusi biologi., dimana individu yang kuat akan bertahan, sedangkan yang lemah akan musnah.

Algoritma DE merupakan suatu metode optimasi yang bersifat meta-heuristik, dimana pencarian solusi optimum yang dihasilkan merupakan solusi optimum lokal. DE akan menemukan solusi yang terbaik dari sejumlah iterasi yang dilakukan. DE akan sangat efektif digunakan ketika kombinasi solusi dari setiap variabel sangat banyak dan sulit atau tidak dapat diselesaikan dengan model optimasi lainnya.

Penentuan solusi awal pada proses inisialisasi DE, merupakan tahapan yang penting dalam penyusunan algoritma. Ada beberapa cara pendekatan yang digunakan dalam menentukan solusi awal ini, diantaranya adalah *nearest neighbour*, *sweep saving*, *SPV (Smallest Positive Value)*, bilangan acak, dan lain-lain. Dalam penentuan solusi awal atau vektor orang tua digunakan pendekatan SPV. Prinsip yang digunakan dalam SPV adalah mencari nilai fungsi tujuan terkecil dari sekumpulan populasi yang telah dibangun secara acak. Dengan demikian sejumlah iterasi selanjutnya yang dilakukan oleh proses DE akan membandingkan nilai fungsi tujuannya dengan fungsi tujuan vektor orang tua. Hal ini membuat solusi akhir yang didapat akan lebih menjamin tercapainya solusi yang optimal.

DE merupakan *software based algorithm*, sehingga dalam penulisan algoritma harus menggunakan perangkat lunak pemrograman. Dalam menuliskan *source code* ini, dapat digunakan beberapa perangkat lunak seperti *Visual Basic*, *Matlab*, *C++*, maupun perangkat lunak pemrograman lainnya. Aplikasi yang digunakan dalam penulisan *source code* ini adalah *Visual Basic for Application Ms Excel*. Beberapa keuntungan menggunakan VBA Ms. Excel dalam penulisan *source code* adalah sebagai berikut:

1. Sebagian besar orang sudah mengenal dan mempunyai Microsoft Office, terutama Ms. Excel. Hal ini membuat proses pembuatan aplikasi oleh *programmer* maupun pemakaian aplikasi penjadwalan nantinya oleh *user*

akan lebih mudah dan cepat dimengerti tanpa harus menginstalasi ulang perangkat lunak lain.

2. VBA merupakan bahasa pemrograman yang dimiliki oleh Microsoft Office. Dengan demikian, VBA dan Microsoft Excel mempunyai keterkaitan yang erat satu dengan yang lainnya yang menyebabkan interaksi antar keduanya sangat cepat dan mudah. VBA dapat mengambil data yang terdapat pada *cells* yang terdapat di Ms.Excel maupun menampilkan output pada Ms.Excel. VBA juga dapat menggunakan formula yang sudah ada pada Ms. Excel.
3. Penjadwalan operator dibuat dengan menggunakan banyak tabel. Untuk itu, VBA Excel sangat cocok digunakan karena Excel sangat *powerful* dalam membuat aplikasi *spreadsheet*.
4. Bahasa pemrograman VBA sangat mudah digunakan dan dimengerti.

DE sangat tangguh dan dapat menghasilkan hasil yang optimal dari sejumlah iterasi yang dilakukan. DE mempunyai struktur yang lebih sederhana karena menggunakan parameter kontrol yang lebih sedikit dibandingkan dengan algoritma lainnya.

Salah satu kelemahan DE adalah hasil output yang dihasilkan setelah menjalankan program mungkin berbeda dengan hasil yang didapat pada running program sebelumnya. Hal ini dikarenakan DE menggunakan banyak sekali faktor random dalam melakukan setiap prosesnya.

4.4.2 Analisa Program

Dua isu penting yang dibahas ketika membicarakan pencarian solusi dengan menggunakan algoritma yang bersifat heuristik adalah permasalahan *computational time* (waktu yang diperlukan ketika program dijalankan) dan solusi optimal yang diberikan.

Kelemahan dari metode pencarian solusi dengan menggunakan metode yang bersifat heuristik adalah masalah waktu komputasi. DE menggunakan sejumlah iterasi dalam pencarian solusinya. Semakin banyak iterasi, kemungkinan solusi yang dicapai untuk mendekati optimal lebih baik, akan tetapi semakin

banyak iterasi berarti waktu menjalankan program pada komputer lebih lama. Dua hal ini menjadi permasalahan utama yang menjadi penting untuk dipertimbangkan dalam melakukan pemilihan metode optimasi yang bersifat heuristic. Berdasarkan jurnal *A Simple and global optimization algorithm for engineering problems: Differential Evolution Algorithm* (Dervis & Selcuk, 2004). DE terbukti dapat menghasilkan solusi optimal yang lebih baik dan lebih cepat dibandingkan beberapa algoritma lainnya, seperti GA, Eshelman, Grefensstette. Tabel 4.9 menunjukkan jumlah iterasi yang diperlukan dalam menghasilkan solusi optimal.

Tabel 4.9 Jumlah Iterasi untuk Berbagai Metode Optimasi

Algorithms	F1 Domain : [-5.12,5.12] Dim 3	F2 Domain: [-2.048,2.048] Dim 2	F3 Domain: [-5.12,5.12] Dim 5	F4 Domain: [-1.28,1.28] Dim 30	F5 Domain: [-65.536,65.536] Dim 2
PGA($\lambda = 4$)	1170	1235	3481	3194	1256
PGA($\lambda = 8$)	1526	1671	3634	5243	2076
Grefensstette	2210	14229	2259	3070	4334
Eshelman	1538	9477	1740	4137	3004
DE(F:Random Value)	260	670	125	2300	1200

Sumber: (Dervis Karaboga & Selcuk Okdem, 2004)

Dalam metode DE, faktor yang menentukan dalam mengetahui kecepatan komputasi sehingga solusi yang didapat sudah mendekati optimal adalah nilai pada *parameter control*, yaitu nilai faktor mutasi (F) dan probabilitas pindah silang (CR). Untuk itu, penentuan kedua nilai ini sangat menentukan jumlah iterasi yang dihasilkan dan juga solusi optimal yang didapat.

Tabel 4.9 Dibawah ini menunjukkan hasil optimal untuk jam mesin *idle dump truck* HD 785-5 yang dihasilkan dari jumlah iterasi berbeda-beda dengan nilai $F = 0.6$ dan $CR = 0.5$.

Tabel 4.10 Hasil optimal dan waktu komputasi

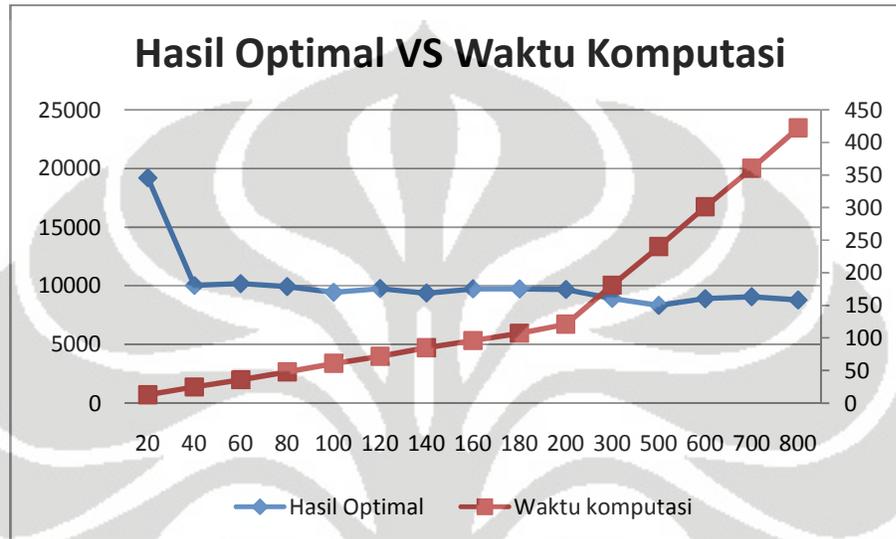
No	Jumlah Iterasi	Hasil Optimal (jam mesin)	Waktu komputasi
1	20	19205	13
2	40	10017	25
3	60	10176	36
4	80	9924	48
5	100	9444	61
6	120	9759	72
7	140	9371	85
8	160	9728	96
9	180	9732	107
10	200	9675	121
11	300	8909	181
12	500	8316	240
13	600	8896	301
14	700	9063	360
15	800	8778	422

Dari 15 kali percobaan untuk jumlah iterasi yang berbeda, dapat dilihat untuk mendapat hasil yang semakin mendekati optimal diperlukan jumlah iterasi yang besar. Sebaliknya jika jumlah iterasi semakin kecil, maka hasil yang didapat masih jauh dari nilai optimal. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.2.

Dari hasil yang diperoleh, jumlah iterasi 500 menghasilkan nilai fungsi tujuan yang paling minimal, yaitu 8316. Nilai iterasi diatas 500 akan menghasilkan hasil yang lebih besar dari hasil yang didapat pada 500 iterasi. Oleh karena Jumlah iterasi yang dipilih untuk menjalankan program ini adalah 500, dengan asumsi bahwa dengan 500 iterasi sudah berhasil mendapatkan hasil yang paling mendekati optimal.

Kelemahan utama dalam program yang dibuat adalah diperlukan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan hasil yang optimal. Dari tabel diatas dapat dilihat waktu yang diperlukan untuk menjalankan program memakan waktu yang lama kurang lebih 12 detik dalam 20 iterasi. Komputer yang digunakan dalam menjalankan program ini menggunakan komputer dengan processor Intel Core2Duo 2.4 GHz dan RAM 4 GB DDR2. Waktu yang cukup lama dalam

menjalankan program ini dikarenakan perhitungan fungsi tujuan yang dilakukan cukup kompleks dan *output* yang dihasilkan memerlukan tampilan tabel yang cukup banyak yang berupa penjadwalan selama dua bulan untuk operator mesin *Excavator* atau *dump truck*.



Gambar 4.2 Hasil Optimal VS waktu komputasi

4.4.3 Analisis Hasil

Pada permasalahan yang dihadapi, ada dua variabel penting yang harus dicari oleh algoritma DE dalam meminimalkan standar deviasi pendapatan operator antar *shift* dan juga meminimalkan jumlah jam mesin *idle*. Variabel tersebut adalah pola kerja–cuti tiap *shift* yang mempunyai nilai antara 1-7 dan variabel jumlah operator tiap mesin yang ditempatkan untuk masing-masing *shift*.

4.4.3.1 Analisa terhadap Kebijakan Penjadwalan yang Diterapkan Perusahaan

Dalam membuat penjadwalan untuk operator di *site* KPCS, perusahaan menggunakan sistem 5 *shift* dalam 1 hari. Pola kerja–cuti yang diterapkan untuk *shift* 1, *shift* 2 dan *shift* 5 adalah pola 1, (6 hari kerja dan 1 hari libur) Sedangkan untuk *shift* 3 dan *shift* 6 mempunyai pola 2 (5 hari kerja, dan 2 hari libur). Dengan menerapkan pola kerja cuti demikian, maka diperoleh standar deviasi pendapatan operator antar *shift* adalah \$624. Tabel 4.11 menunjukkan besarnya pendapatan

antar operator. Dari penjadwalan terhadap kebijakan perusahaan yang dilakukan, terlihat standar deviasi pendapatan yang cukup besar, karena pada *shift* 2 dan 3 tidak pernah mengalami rotasi ke *shift* 5 dan 6, sedangkan *shift* 5 tidak pernah mengalami rotasi ke *shift* 1,2 dan 3.

Tabel 4.11 Standar Deviasi Pendapatan pada Kebijakan Penjadwalan Perusahaan

<i>Shift</i> Pertama kali Operator Ditempatkan	Pola Kerja-Cuti / <i>Shift</i>	Pendapatan normal/operator (A)	Pendapatan lembur/operator (B)	Total Pendapatan / operator (A + B)
1	3	\$1,152.00	\$196.00	\$1,348.00
2	1	\$1,200.00	\$0.00	\$1,200.00
3	3	\$1,200.00	\$0.00	\$1,200.00
5	6	\$1,152.00	\$672.00	\$1,824.00
6	6	\$1,179.00	\$224.00	\$1,403.00
			Pendapatan Minimal	\$1,200.00
			Pendapatan Maksimal	\$1,824.00
			Standar Deviasi Pendapatan	\$624.00

Tabel 4.12 Pola perpindahan *shift* pada Kebijakan Penjadwalan Perusahaan

<i>Shift</i> Pertama kali Operator Ditempatkan	SHIFT PERPINDAHAN ke-							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	2	3	5	6	1	2	3
2	2	3	1	2	3	1	2	3
3	3	1	2	3	1	2	3	1
5	5	6	5	6	5	6	5	6
6	6	5	6	1	2	3	1	2

Tabel 4.13 dan 4.15 menunjukkan jumlah operator *dump truck* dan *excavator* yang ditempatkan pada masing-masing *shift* yang saat ini diterapkan oleh perusahaan. Tabel 4.14 dan 4.16 menunjukkan besarnya jam mesin *idle* untuk masing-masing tipe mesin. Jumlah jam mesin *idle* untuk mesin *dump truck* yang dihasilkan adalah 26243.

Tabel 4.13 Alokasi operator *Dump Truck* sesuai Kebijakan Perusahaan

SHIFT	TIPE MESIN	JUMLAH OPERATOR YANG DITEMPATKAN	POLA (KERJA - CUTI)
1 (07.00 - 15.00)	HD 1500	22	1
	HD 785-7	30	
	HD785-5	78	
	HM400	10	
	BMA40D	9	
2 (15.00 - 23.00)	HD 1500	19	1
	HD 785-7	19	
	HD785-5	75	
	HM400	21	
	BMA40D	11	
3 (23.00 - 07.00)	HD 1500	12	2
	HD 785-7	25	
	HD785-5	50	
	BMA40D	7	
5 (06.00 - 18.00)	HD 1500	16	1
	HD 785-7	24	
	HD785-5	53	
	HM400	16	
	BMA40D	5	
6 (18.00 - 06.00)	HD 1500	14	2
	HD 785-7	24	
	HD785-5	47	
	HM400	9	
	BMA40D	4	

Tabel 4.14 Jam mesin *idle Dump Truck* sesuai Kebijakan Perusahaan.

TIPE MESIN	JUMLAH MESIN SIAP PAKAI	JUMLAH MESIN IDLE (JAM) PADA MINGGU KE								TOTAL
		1	2	3	4	5	6	7	8	
HD 1500	21	351	280	441	276	319	529	657	860	3713
HD 785-7	31	566	412	618	520	461	589	679	889	4734
HD785-5	77	1266	1044	1607	948	1109	1694	2154	3020	12842
HM400	17	294	320	354	232	287	396	476	683	3042
BMA40D	10	168	156	222	130	188	258	331	459	1912
TOTAL		2645	2212	3242	2106	2364	3466	4297	5911	26243

Tabel 4.15 Alokasi operator *Excavator* sesuai Kebijakan Perusahaan

<i>SHIFT</i>	TIPE MESIN	JUMLAH OPERATOR YANG DITEMPATKAN	POLA (KERJA - CUTI)
1 (07.00 - 15.00)	PC4000	4	1
	PC3000	4	
	PC2000	2	
	PC1250SP-7	8	
	PC750SE-7	6	
	EX2500-5	3	
	PC 200	2	
2 (15.00 - 23.00)	PC4000	5	1
	PC3000	3	
	PC2000	2	
	PC1250SP-7	5	
	PC750SE-7	4	
	EX2500-5	2	
	PC 200	1	
3 (23.00 - 07.00)	PC4000	2	2
	PC3000	3	
	PC2000	1	
	PC1250SP-7	4	
	PC750SE-7	3	
	EX2500-5	1	
	PC 200	3	
5 (06.00 - 18.00)	PC4000	3	1
	PC3000	3	
	PC2000	1	
	PC1250SP-7	4	
	PC750SE-7	6	
	EX2500-5	2	
	PC 200	3	
6 (18.00 - 06.00)	PC4000	3	2
	PC3000	2	
	PC2000	1	
	PC1250SP-7	3	
	PC750SE-7	3	
	EX2500-5	2	
	PC 200	1	

Tabel 4.16 Jam mesin *idle Dump Truck* sesuai Kebijakan Perusahaan.

TIPE MESIN	JUMLAH MESIN SIAP PAKAI	MESIN <i>IDLE</i> (JAM) PADA MINGGU KE								TOTAL JAM MESIN <i>IDLE</i>
		1	2	3	4	5	6	7	8	
PC 4000	3	48	36	53	36	33	60	66	68	400
PC 3000	5	91	84	11 7	82	12 4	18 1	22 1	26 3	1163
PC 2000	3	98	11 2	12 0	10 1	14 7	17 5	19 6	21 0	1159
PC 1250SP- 7	6	10 3	84	13 2	84	97	13 7	17 8	26 4	1079
PC 750SE-7	3	48	36	48	36	24	24	21	24	261
EX 2500-5	1	16	12	16	12	8	8	7	8	87
PC 200	2	37	28	42	36	31	27	34	64	299
	TOTAL	44	39	53	39	44	57	68	90	4448
		5	2	0	3	4	6	6	3	

Jumlah Jam mesin yang tidak terpakai untuk mesin *Excavator* adalah sebesar 4448. Dari banyaknya *dump truck* dan mesin *Excavator* yang tidak terpakai, maka jumlah produksi yang dihasilkan juga menurun.

Besarnya jumlah jam mesin yang tidak terpakai ini disebabkan jumlah operator yang ditempatkan antar *shift* tidak merata. Jumlah operator yang ditempatkan di *shift* malam cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan operator yang ditempatkan di *shift* pagi atau siang. Hal ini menyebabkan mesin sering tidak terpakai pada malam hari dan pada pagi atau sore hari, jumlah operator sering berlebih sehingga menyebabkan operator *idle*.

4.4.3.2 Analisa hasil standar deviasi pendapatan antar operator

Pendapatan operator ditentukan oleh berapa banyak operator tersebut bekerja selama penjadwalan 2 bulan (8 minggu). Operator akan mendapatkan uang kerja normal per jamnya dan uang lembur ketika operator tersebut bekerja lebih dari 8 jam sehari.

Seperti yang telah dijelaskan pada bab 3, setelah operator bekerja selama 1 pola kerja – cuti *shift* yang telah ditentukan, operator tersebut akan berotasi ke *shift* lain supaya setiap operator merasakan keadilan dalam bekerja, Dengan kendala pola rotasi yang ada, dimana operator yang bekerja pagi hari, dapat

berotasi ke *shift* sore, operator yang bekerja sore hari dapat berpindah ke *shift* malam, operator yang bekerja di *shift* malam dapat berotasi ke *shift* pagi. Setiap *shift* mempunyai dua alternatif rotasi *shift*. Pola perpindahan ini akan dijadwalkan, dengan membuat penjadwalan terlebih dahulu secara berturut-turut untuk *shift* 1, *shift* 2, *shift* 3, *shift* 5 dan *shift* 6.

Tabel 4.17 Perbandingan Hasil Standar Deviasi Pendapatan

	Kebijakan Perusahaan	Hasil Optimal DE
Pola Kerja-cuti <i>Shift</i> 1	1 (6-1)	3 (5-1)
Pola Kerja-cuti <i>Shift</i> 2	1 (6-1)	1 (6-1)
Pola Kerja-cuti <i>Shift</i> 3	2 (5-2)	3 (5-1)
Pola Kerja-cuti <i>Shift</i> 5	1 (6-1)	6 (3-2)
Pola Kerja-cuti <i>Shift</i> 6	2 (6-1)	6 (3-2)
Standar deviasi pendapatan	\$624.00	\$141.00
Penurunan Standar deviasi pendapatan		77.40%

Jika dibandingkan dengan kondisi yang terjadi sekarang di perusahaan, usulan hasil optimal dengan metode DE seperti yang terlihat pada tabel 4.17 Diatas, didapatkan penurunan standar deviasi pendapatan operator antar *shift* yang sangat signifikan, yaitu sebesar 77.4%.

Dari hasil yang diperoleh pada perhitungan menggunakan algoritma DE, didapat pola kerja-cuti untuk *shift* 1 adalah pola 3, pola kerja-cuti *shift* 2 adalah pola 1, pola kerja-cuti *shift* 3 adalah 3, pola kerja-cuti *shift* 5 adalah 6, dan pola kerja-cuti *shift* 6 adalah 6. Dari pola kerja - cuti pada masing-masing *shift* tersebut didapat standar deviasi pendapatan operator antar *shift* adalah \$141. Pendapatan terbesar diterima oleh operator yang pertama kali ditempatkan pada *shift* 6, yaitu sebesar \$1392. Pendapatan terkecil akan diterima oleh operator yang pertama kali ditempatkan pada *shift* 3, yaitu sebesar \$1251. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh dari perpindahan *shift* yang dilakukan dan jumlah hari kerja yang diperoleh. Tabel 4.18 menunjukkan besarnya jam kerja per masing-masing operator.

Tabel 4.18 Total Jam Kerja Operator

Shift pertama operator ditempatkan	Total Jam kerja Normal	Total Jam kerja Lembur	Total Jam Kerja
1	368	48	416
2	360	72	432
3	417	0	417
5	384	48	432
6	310	132	442

Jika dikalulasikan, shift 1, 2 dan 3 mempunyai total jam kerja sebanyak 416, 432 dan 417 jam, sedangkan untuk shift 5 dan 6 mempunyai total jam kerja sebanyak 432 dan 442 jam. Selama 2 bulan total jam kerja Shift 1, 2 dan 3 mempunyai yang lebih banyak dibandingkan dengan shift 5 dan 6.

Upah yang diterima pada shift 5 dan 6 tiap harinya lebih besar dari shift 1, 2 dan 3 karena di shift 5 dan 6 mendapatkan upah lembur. Jika dilihat pada tabel 4.4, operator yang pertama kali ditempatkan pada shift 6 akan banyak berotasi ke antara shift 5 dan shift 6 sehingga membuat operator tersebut sering mendapatkan lembur. Pada shift 6, total jam kerja normal adalah 310 jam dan total jam kerja lembur adalah 132 jam. Upah kerja normal yang diterima tidak terlalu banyak, namun upah lembur yang diterima lebih besar dibandingkan dengan operator lainnya.

Operator yang ditempatkan pertama kali di shift 3 tidak berotasi ke shift 5 maupun shift 6 dan hanya berotasi ke shift 1, 2 dan 3. Total jam kerja normal untuk shift 3 adalah 417 jam dan total jam kerja lembur adalah 0 jam. Walaupun total jam kerja normal operator yang ditempatkan pertama kali di shift 3 lebih besar dibandingkan operator lainnya, upah yang diterima kecil karena tidak adanya lembur.

4.4.3.3 Analisis hasil jam mesin idle

Untuk menghitung fungsi tujuan dalam meminimalkan jumlah jam mesin idle, dibuat penjadwalan operator selama 2 bulan (8 minggu) dengan tingkat

keakuratan penjadwalan sampai dengan satuan jam. Sejumlah operator akan ditempatkan pada tiap *shift* dan operator tersebut akan mempunyai hari kerja dan hari libur sesuai dengan pola kerja–cuti yang ada pada *shift* tersebut. Dari setiap jam yang ada tiap harinya, akan dihitung berapa jumlah mesin yang tidak terpakai (*idle*).

Tabel 4.18 Dibawah ini menunjukkan perbedaan hasil yang didapat oleh kebijakan perusahaan dan hasil yang didapat dengan menggunakan metode DE untuk mesin *Dump truck* dan *Excavator*.

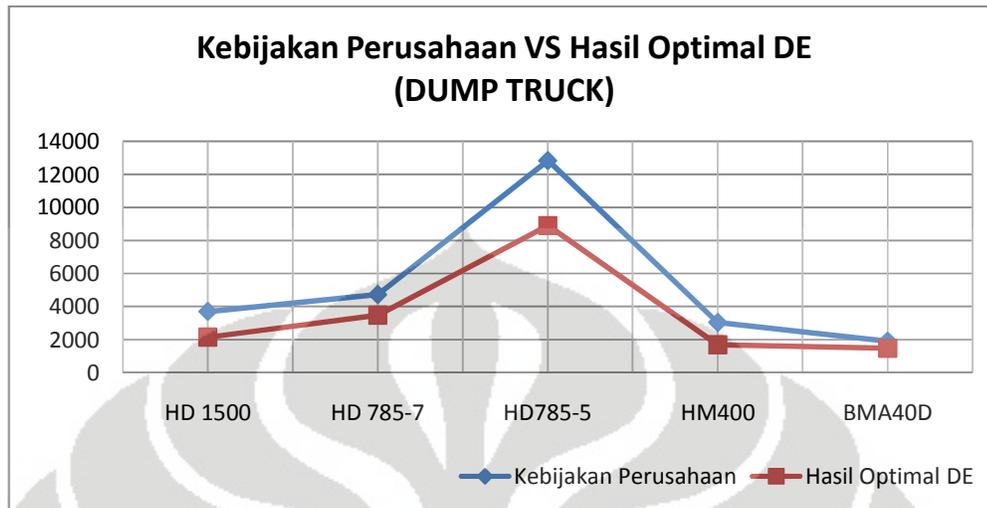
Jika dibandingkan dengan kebijakan yang sekarang telah diterapkan perusahaan dengan hasil pada metode DE, didapatkan penurunan jumlah jam mesin *idle* untuk masing-masing mesin. Secara keseluruhan jumlah jam mesin *dump truck* yang tidak terpakai memperoleh penurunan sebesar 32.61%. Penurunan jam mesin *Excavator* yang tidak terpakai adalah sebesar 32.08%.

Tabel 4.19 Perbandingan Hasil Jumlah Jam Mesin *Idle dump truck*

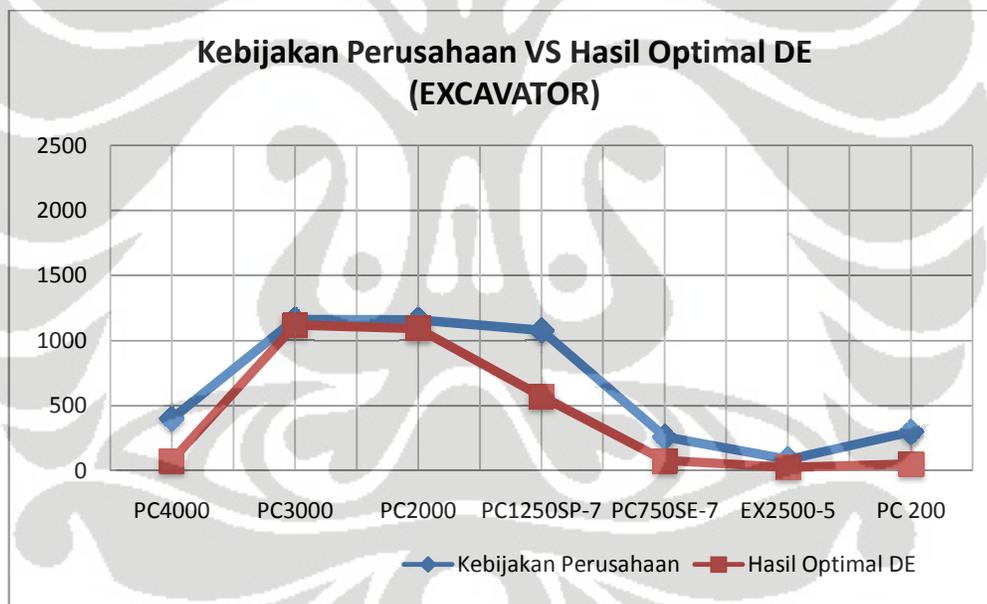
<i>DUMP TRUCK</i>	Kebijakan Perusahaan	Hasil Optimal DE	Penurunan jam mesin <i>idle</i>
HD 1500	3713.00	2147.00	42.18%
HD 785-7	4734.00	3477.00	26.55%
HD785-5	12842.00	8909.00	30.63%
HM400	3042.00	1683.00	44.67%
BMA40D	1912.00	1470.00	23.12%
TOTAL JAM MESIN <i>IDLE</i>	26243.00	17686.00	32.61%

Tabel 4.20 Perbandingan jumlah jam mesin *idle Excavator*

<i>EXCAVATOR</i>	Kebijakan Perusahaan	Hasil Optimal DE	Penurunan jam mesin <i>idle</i>
PC4000	400	78	80.50%
PC3000	1163	1121	3.61%
PC2000	1159	1094	5.61%
PC1250SP-7	1079	572	46.99%
PC750SE-7	261	78	70.11%
EX2500-5	87	26	70.11%
PC 200	299	52	82.61%
TOTAL JAM MESIN <i>IDLE</i>	4448	3021	32.08%



Gambar 4.3 Kebijakan Perusahaan VS Hasil Optimal DE (*Dump truck*)



Gambar 4.4 Kebijakan Perusahaan VS Hasil Optimal DE (*Excavator*)

Hasil optimal untuk DE terlihat lebih baik daripada kebijakan yang sudah diterapkan oleh perusahaan karena DE mendapatkan solusi yang meminimalkan jam mesin yang tidak terpakai. Hal ini dapat terjadi karena pada solusi yang dihasilkan oleh algoritma DE, didapatkan penempatan operator yang merata di

setiap shift. Pada kondisi sekarang ini di perusahaan, operator yang ditempatkan di shift 3 dan 6 (shift malam) cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah operator yang ditempatkan di shift 1,2, dan 5. Hal ini membuat jam mesin idle tinggi karena banyak mesin tidak terpakai karena operator tidak ada, dan pada siang hari, banyak operator yang idle.

4.4.3.4 Utilisasi mesin

Dengan meminimalkan jam mesin *idle*, maka utilisasi mesin akan tinggi dan produksi akan meningkat namun, jumlah jam mesin *idle* saja tidak cukup memberikan informasi mengenai berapa besar tingkat utilisasi mesin yang ada. Setelah diketahui bahwa terdapat sejumlah mesin idle selama penjadwalan 8 minggu dapat diketahui tingkat utilisasi tiap mesin.

Selama penjadwalan 8 minggu terdapat 1344 jam. Total jam mesin yang ada pada setiap mesin adalah jumlah mesin yang tersedia dikalikan dengan 1344 jam.

Pada tabel 4.21 dan 4.22 memperlihatkan tingkat utilisasi mesin untuk setiap mesin. Utilisasi mesin memperlihatkan tingkat pemakaian jam mesin selama 8 minggu penjadwalan dilakukan dari jam mesin yang tersedia. Dengan solusi yang didapat dari metode DE, didapatkan tingkat utilisasi mesin yang cukup besar. Tingkat rata-rata utilisasi untuk mesin Dump Truck adalah 91.42% yang menunjukkan bahwa dengan penjadwalan optimal dari pola kerja-cuti operator dapat dikatakan sebagian besar mesin dump truck mempunyai jam mesin idle yang rendah

Tabel 4.21 Tingkat Utilisasi mesin *Dump Truck*

TIPE MESIN	JUMLAH MESIN SIAP PAKAI	TOTAL JAM MESIN <i>IDLE</i>	TOTAL JAM MESIN TERSEDIA	UTILISASI
HD 1500	21	2147	28224	92.39%
HD 785-7	31	3477	41664	91.65%
HD785-5	77	8909	103488	91.39%
HM400	17	1683	22848	92.63%
BMA40D	10	1470	13440	89.06%

Tingkat rata-rata utilisasi untuk mesin excavator adalah 91.63%. Angka ini menunjukkan tingkat utilisasi mesin excavator sudah tinggi dan mesin excavator mempunyai jam mesin idle yang rendah. Untuk excavator dengan tipe PC 2000 masih mempunyai tingkat utilisasi yang cukup rendah karena hanya terutilisasi 72.87%. Hal ini dikarenakan jumlah mesin excavator PC 2000 yang tersedia sebanyak 3 mesin, namun operator yang dapat menggunakan mesin tersebut hanya 7 orang. Hal ini membuat penjadwalan menjadi cukup sulit karena minimnya jumlah operator yang dapat memakai excavator PC 2000.

Tabel 4.22 Tingkat Utilisasi mesin *Excavator*

TIPE MESIN	JUMLAH MESIN SIAP PAKAI	TOTAL JAM MESIN <i>IDLE</i>	TOTAL JAM MESIN TERSEDIA	UTILISASI
PC 4000	3	78	4032	98.07%
PC 3000	5	1121	6720	83.32%
PC 2000	3	1094	4032	72.87%
PC 1250SP-7	6	572	8064	92.91%
PC 750SE-7	3	78	4032	98.07%
EX 2500-5	1	26	1344	98.07%
PC 200	2	52	2688	98.07%

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Perusahaan penambangan menerapkan sistem shift dalam melakukan proses produksi. Dengan adanya system shift tersebut maka perusahaan mutlak memerlukan adanya penjadwalan terhadap operatornya. Adanya penjadwalan operator yang baik akan sangat menentukan performa dari perusahaan supaya target produksi maupun permintaan perusahaan dapat terpenuhi. Supaya target produksi dapat terpenuhi, maka utilisasi mesin harus tinggi atau jumlah jam mesin yang tidak terpakai rendah.

Tidak hanya hal itu saja, perusahaan juga harus mampu membuat penjadwalan dengan mempertimbangkan faktor lain yang dapat mempengaruhi tingkat kepuasan pekerja. Dalam hal ini, perusahaan harus mampu membuat penjadwalan yang meminimalkan standar deviasi pendapatan operator antar shift. Dengan demikian, diharapkan setiap operator merasakan keadilan dan kepuasan kerja pun dapat tercapai.

Penjadwalan operator dilakukan selama 8 minggu dan berdasarkan hasil analisis dari permasalahan optimasi penjadwalan pola – kerja cuti operator di PT PAMA Persada Nusantara, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kasus meminimalkan standar deviasi pendapatan operator antar shift, didapatkan solusi pola kerja-cuti shift 1 dan shift 3 adalah 3 (5 hari kerja dan 1 hari cuti), pola kerja cuti shift 2 adalah 1 (6 hari kerja dan 1 hari libur), pola kerja-cuti shift 5 dan 6 adalah 6 (3 hari kerja dan 2 hari libur). Dengan solusi demikian, didapat standar deviasi pendapatan sebesar \$141. Penggunaan algoritma DE berhasil menurunkan 77,4% standar deviasi pendapatan operator antar shift dibandingkan dengan kebijakan perusahaan.

2. Dengan algoritma DE, didapat jumlah jam mesin yang tidak terpakai untuk kendaraan *dump truck* adalah sebesar 17686 dan mengalami penurunan sebesar 32.61% dari kebijakan awal perusahaan. Sedangkan jumlah jam mesin yang tidak terpakai untuk mesin Excavator adalah sebesar 3021 dan mengalami penurunan sebesar 32.08%.
3. Metode DE dapat menyelesaikan permasalahan pada kasus optimasi penjadwalan operator.
4. Aplikasi penjadwalan dibuat dengan menggunakan Ms.Excel dengan penulisan *coding* menggunakan Visual Basic for Application.

5.2 SARAN

Saran dan masukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Penelitian tidak dibatasi untuk penjadwalan dengan menggunakan sistem 5 shift saja, tetapi juga penjadwalan terhadap 2 shift dan 3 shift, sehingga perusahaan dapat melakukan kebijakan penjadwalan yang sesuai dengan aset yang dimiliki.
2. Penjadwalan lebih disesifikkan kepada masing-masing operator.

DAFTAR REFERENSI

- Betrianis & Aryawan, P.T (2003), Penerapan Algoritma Tabu Search dalam Penjadwalan Job Shop”. Vol 7
- Cappanera, Paola. A Multicommodity Approach to the Crew Rostering Problem, *Journal of the Operational Research* vol 52 No.4, 2004
- Dwiningsih, Nurhidayati, SE, MM. *Penjadwalan Bab 11*.
- Feoksitov, Vitally. 2006. *Differential Evolution: In Search of Solutions*. Springer p. 13
- Karaboga, Dervis dan Oldem (2004). *A simple and Global Optimization Algorithm for Engineering Problems..* Vol 12
- Leezaun, M., Perez, G & Sainz de La Maza, E, Crew Rostering Problem in a public transport Company. *Journal of the Operational Research Society*, 2006
- Neal M., et.al., *Applying Differential Evolution to a Whole-Farm Model to Assist Optimal Strategic Decision Making*, 2007
- Price, K.V. *An Introduction to Differential Evolution, New Ideas in Optimization*”, pages 79-108. Mc graw-Hill, UK, 1999
- Pinedo, Michael L. *“Planning and Scheduling in Manufacturing and Services”* Springer. Ch 12. p. 289-291

Taha, Hamdy A.2002. *Operations Research: An Introduction* (7th ed.). New Jersey: Prentice Hall

Walkenbach, John., 2007. *Excel 2007 VBA Programming For Dummies*.

www.pamapersada.com



Universitas Indonesia