



TUGAS AKHIR – TI 141501

**PENJADWALAN MULTI PRODUK PADA MESIN
PARALEL *FILLING LITHOS* DI PT PERTAMINA
LUBRICANTS PLANT UNIT GRESIK**

ALIEF SEPTIWIANTO

NRP 2513 100 084

Dosen Pembimbing

Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

NIP. 19710317 199802 1001

DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



FINAL PROJECT – TI 141501

**MULTI PRODUCT SCHEDULING IN PARALLEL
FILLING LITHOS MACHINE IN PT PERTAMINA
LUBRICANTS PLANT UNIT GRESIK**

ALIEF SEPTIWIANTO

NRP 2513 100 084

Supervisor

Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

NIP. 19710317 199802 1001

DEPARTEMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

**PENJADWALAN MULTI PRODUK PADA MESIN PARALEL
FILLING LITHOS DI PT PERTAMINA LUBRICANTS PLANT
UNIT GRESIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Program Studi S-1 Departemen Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

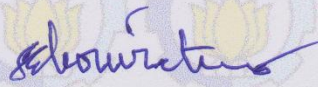
Surabaya

Oleh :

ALIEF SEPTIWIANTO

NRP 2513 100 084

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

NIP. 19710317 199802 1001



**PENJADWALAN MULTI PRODUK PADA MESIN PARALEL
FILLING LITHOS DI PT PERTAMINA LUBRICANTS PLANT
UNIT GRESIK**

Nama : Alief Septiwianto
NRP : 2513100084
Pembimbing : Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

ABSTRAK

Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik memproduksi pelumas dalam kemasan drum, *lithos*, dan curah. Saat ini penjadwalan operasi pada mesin paralel *filling lithos* belum mempertimbangkan waktu *setup* yang mengurangi ketersediaan waktu produksi. Waktu *setup* memiliki nilai parameter yang berbeda tergantung dari pergantian antar produk. Jadwal operasi pada mesin paralel *filling lithos* yang memaksimalkan keuntungan yang didapatkan dengan mengembangkan suatu model *Integer Linear Programming*. Model diselesaikan dengan Teknik *Branch and Bound* sehingga dapat menghasilkan solusi yang optimal. Namun demikian untuk menyelesaikan permasalahan riil dibutuhkan iterasi yang sangat panjang dan waktu komputasi yang sangat lama. Oleh sebab itu perlu ditetapkan jumlah iterasi untuk membatasi waktu komputasi namun masih menghasilkan solusi yang cukup baik. Model juga dapat digunakan untuk membuat jadwal operasi baru apabila terjadi kerusakan mesin atau material tidak tersedia pada saat menjalankan jadwal operasi yang sudah dibuat sebelumnya.

Kata kunci: **Jadwal Operasi, Paralel Mesin, Optimasi, *Integer Linier Programming*, Waktu Setup.**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

MULTI PRODUCT SCHEDULING IN PARALLEL FILLING LITHOS MACHINE IN PT PERTAMINA LUBRICANTS PLANT UNIT GRESIK

Name : Alief Septiwianto
NRP : 2513100084
Supervisor : Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

ABSTRACT

PT Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik produces lubricant in drum, lithos, and bulk form. Currently, the operation scheduling in parallel filling lithos machine doesn't consider setup time that reduces the availability of production time. Setup time has different parameter value depending on the interchange between product. Operation schedule in parallel filling lithos machine that will maximize profit can be generated through developing an Integer Linear Programming model. Model will be solved using Branch and Bound method so it can produce optimum solution. To solve real problems, this method will take a very long iteration and computation. Therefore, the number of iteration has to be set to bound the computation time yet still producing pretty good solution. Model also can be made to create the new operation schedule if there's a machine breakdown or unavailability of material supply in doing the operation schedule that has been made before.

Keywords: Operational Scheduling, Parallel Machine, Optimization, Integer Linier Programming, Setup Time.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur Allah SWT senantiasa penulis haturkan atas berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis mampu menyelesaikan laporan Tugas Akhir “Penjadwalan Produksi Multi Produk pada Mesin Paralel *Filling Lithos* (Studi Kasus: PT Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik)”.

Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi Strata-1 Departemen Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama pelaksanaan dan penyusunan Tugas Akhir ini, penulis telah menerima berbagai bimbingan, bantuan, saran, dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya pada penulis selama pengerjaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Narto, Ibu Wiwik Sulastri, dan Bakti Aldi Wianto, selaku orang tua dan saudara penulis yang senantiasa memberikan inspirasi bagi penulis dan menjadi alasan dibalik semua kegiatan yang telah dilakukan oleh penulis. Terima kasih atas dukungan dalam bentuk apapun yang tidak dapat disebutkan, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
3. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T. MSIE., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Industri ITS.
4. Bapak Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dengan sabar, memberi arahan, masukan dan pengetahuan baru selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
5. Bapak Yus Ardianto selaku Manager Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik dan Bapak Dody Arief Aditya selaku pembimbing eksternal perusahaan yang telah memberikan arahan dan masukan dalam mendukung proses pengerjaan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas pembelajaran dan motivasi yang telah diberikan.

6. Bapak Prof. Ir. Budi Santosa, M.Sc., Ph.D. dan Ibu Effi Latiffianti, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji seminar proposal yang telah memberikan saran dan masukan untuk penelitian ini.
7. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T. MSIE., Ph.D. dan Ibu Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen penguji sidang akhir yang telah memberikan saran dan masukan untuk penelitian ini.
8. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Industri beserta karyawan yang mendukung proses perkuliahan penulis sehingga penulis menyelesaikan studi Strata-1 dengan baik dan bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman seperjuangan Teknik Industri tahun angkatan 2013 “Cyprium”, Formad Surabaya, MSI Ulul Ilmi, dan Mahapati ITS, yang telah memberikan banyak pengalaman dan pelajaran bagi penulis selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Industri ITS.

Penulis menyadari, dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, baik dalam isi maupun sistematika penulisan. Oleh karena itu, penulis menerima segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk membuat penulis menjadi lebih baik. Penulis berharap, melalui laporan Tugas Akhir ini, penulis dapat memberi manfaat khususnya bagi penulis, pihak perusahaan, pihak jurusan dan bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	7
1.5.1 Batasan	7
1.5.2 Asumsi	7
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Pemodelan Sistem	9
2.2 Penjadwalan Produksi	11
2.3 <i>Integer Linear Programming</i>	13
2.4 <i>Branch and Bound</i>	15
2.5 <i>Literature Review</i>	17
2.5.1 Penjadwalan Produksi Mesin Paralel untuk Meminimalkan <i>Tardiness</i>	17
2.5.2 Penjadwalan Produksi Multi Lini untuk Meminimalkan Biaya Produksi	19
2.5.3 Penjadwalan Produksi Mesin Paralel untuk Meminimalkan <i>Makespan</i>	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	25

3.1	Pembuatan Model Konseptual	25
3.2	Pembuatan Model Matematis	27
3.3	Eksperimen Model	29
3.4	Validasi dan Verifikasi	29
3.5	Analisa Model	30
3.6	Kesimpulan dan Saran	30
BAB 4 PERANCANGAN MODEL		31
4.1	Deskripsi Umum PT Pertamina Lubricants	31
4.2	Perancangan Model	33
4.3	Validasi dan Verifikasi	41
BAB 5 UJI COBA DAN ANALISIS		47
5.1	Implementasi Model	47
5.1.1	<i>Input Data</i>	47
5.1.2	Solusi Model	51
5.2	Analisis Model	53
5.2.1	Pengaruh Jumlah Iterasi terhadap Solusi Model	53
5.2.2	Analisis Sensitivitas	55
5.2.3	Analisis Pengaruh Program Produksi terhadap Kapasitas Produksi Perusahaan	60
5.2.4	Perubahan Jadwal Operasi akibat Mesin Rusak	63
5.2.5	Perubahan Perencanaan Penjadwalan akibat <i>Stock Out</i> Bahan Baku..	65
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		67
6.1	Kesimpulan	67
6.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN		71
BIOGRAFI PENULIS		85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Literature Review</i>	23
Tabel 4.1 Perbandingan Solusi Model terhadap Demand	42
Tabel 4.2 <i>Input</i> Keuntungan Produk	42
Tabel 4.3 <i>Input</i> Kecepatan Proses Produk	43
Tabel 4.4 <i>Input</i> Waktu <i>Setup</i> Proses	43
Tabel 4.5 <i>Input</i> Bobot Produksi Setiap Produk.....	43
Tabel 4.6 Solusi Model dengan Menggunakan Fungsi Tujuan yang tidak Disertai Beban HPP dan Persamaan tentang <i>Stock Out</i> Produk	46
Tabel 4.7 Solusi Model dengan Menggunakan Fungsi Tujuan yang tidak Disertai Beban HPP dan Persamaan tentang <i>Stock Out</i> Produk	46
Tabel 5.1 Tingkat Keuntungan Produk	48
Tabel 5.2 Jenis Produk dan Kecepatan Proses	49
Tabel 5.3 Beban Pokok Produksi dengan Skala 1:100	50
Tabel 5.4 Waktu <i>Setup</i> Pergantian Produk	51
Tabel 5.5 Perbandingan Solusi Model dengan Realisasi terhadap Pelaksanaan Program Produksi Selama 22 Hari	52
Tabel 5.6 Perbandingan Jumlah Iterasi Terhadap Solusi dari Model	54
Tabel 5.7 Rekap Solusi Model akibat Perubahan Program Produksi	56
Tabel 5.8 Rekap Solusi Model akibat Perubahan Waktu <i>Setup</i>	58
Tabel 5.9 Rekap Data Program Produksi dan Tingkat Realisasi dalam Program.	61
Tabel 5.10 Kecepatan Produksi dan Ketentuan Pelaksanaan Produksi	64

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pelumas Pertamina dalam Kemasan <i>Lithos</i>	1
Gambar 1.2 Lini Produksi Mesin <i>Filling Lithos</i> PUG	3
Gambar 1.3 Grafik Target Produksi dan Pelaksanaan Produksi <i>Lithos</i> pada Tahun 2016 (Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik,2017).....	4
Gambar 2.1 Tahapan Membangun Sebuah Model (Daellenbach & McNickle, 2005)	11
Gambar 2.2 Posisi Penjadwalan Produksi dalam Sistem Manufaktur (Pinedo, 2011)	12
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	25
Gambar 3.2 <i>Influence Diagram</i> Penjadwalan pada Mesin <i>Filling Lithos</i>	27
Gambar 4.1 <i>Rich Picture</i> Sistem Permasalahan pada PUG	34
Gambar 4. 2 Status Solusi Model Data Numerik	44
Gambar 4.4 Persamaan Matematis dari Kode <i>Software</i> Optimasi	45
Gambar 4.5 Hasil <i>Debug</i> dari Kode <i>Software</i> Optimasi	45

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian.

1.1 Latar Belakang

Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik (selanjutnya disebut PUG) memproduksi pelumas dalam kemasan drum, kemasan botol (*lithos*), dan curah PUG menyelesaikan target produksi (disebut sebagai program produksi) yang ditentukan oleh Pertamina Lubricants. Pelumas yang diproduksi PUG adalah pelumas terdiri dari dengan jumlah produk sebanyak 76 varian drum, 50 varian *lithos*, dan 41 varian curah. Varian *lithos* terdiri dari 25 merek dagang dan 7 jenis ukuran akan dikemas ke dalam box karton dengan jumlah sesuai ketentuan yang telah ditentukan. Gambar 1.1 menunjukkan beberapa produk *lithos* yang akan dipasarkan melalui agen Pertamina Lubricants.



Gambar 1.1 Pelumas Pertamina dalam Kemasan Lithos

Program produksi yang diterima PUG harus diselesaikan dalam waktu satu bulan dengan membuat suatu jadwal operasi pada mesin. Varian produk akan

mempengaruhi keputusan dalam membuat penjadwalan produksi. Penentuan penjadwalan harus mampu memenuhi target yang telah ditetapkan dalam program. Pihak produksi akan melaksanakan kegiatan produksi sesuai dengan penjadwalan yang telah ditentukan.

Aktivitas utama dalam melakukan produksi pelumas adalah proses *blending*, *filling*, *packaging*, dan *quality control*. Bahan baku utama (*base oil* dan zat adiktif) akan dilakukan proses *blending* sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan hingga menjadi pelumas. Tahapan selanjutnya, pelumas tersebut akan dikemas dalam kemasan tertentu melalui proses *filling* dan *packaging*. Proses *quality control* dilakukan dengan tujuan untuk menjaga standar kualitas pelumas yang dihasilkan. Penjadwalan pada proses *filling* menjadi sebuah inti dari aktivitas dalam sebuah pelaksanaan produksi pelumas. Kegiatan tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan semua keputusan yang diperlukan agar pelaksanaan produksi berjalan sesuai rencana.

Strategi *make to stock* diterapkan oleh PUG untuk menanggapi permintaan dari konsumen, sehingga *time bucket* pelaksanaan produksi dimulai 2 minggu sebelum produk tersebut siap untuk dipasarkan. Sistem pengadaan *material packaging* yang diterapkan oleh PUG adalah *material packaging* akan datang tepat sehari sebelum proses *filling lithos* produk tersebut dilakukan pada keesokan harinya. Penjadwalan produksi pada mesin *filling lithos* yang telah direncanakan akan menentukan jumlah dan jenis *material packaging* yang dipesan pada *supplier*. Dua fasilitas produksi yang dimiliki oleh PUG yaitu LOBP (*Lube Oil Blending Plant*), dengan kapasitas 120.000 KL/tahun dan VM Plant, dengan kapasitas 9000 KL/tahun digunakan untuk menunjang proses produksi pelumas. Terdapat 4 fasilitas lini produksi mesin *filling lithos* yang digunakan dalam melakukan proses *filling* untuk memenuhi rencana produksi (Pertamina, 2015). Gambar 1.2 menampilkan salah satu fasilitas lini produksi *filling lithos* yang ada pada PUG.

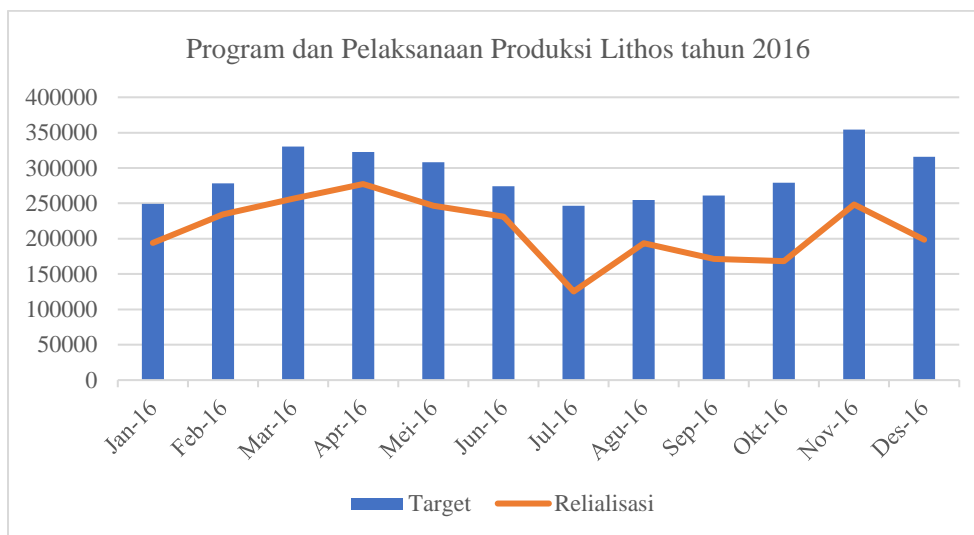


Gambar 1.2 Lini Produksi Mesin *Filling Lithos* PUG

Saat ini, pembuatan jadwal operasi pada mesin *filling lithos* dilakukan dengan cara manual pada rapat produksi. Rapat produksi dilakukan setiap minggu dengan mengumpulkan semua pihak yang berkaitan dalam kegiatan produksi. Rapat produksi dilakukan untuk menentukan jumlah dan jenis produk yang akan diproduksi pada minggu berikutnya. Faktor yang dipertimbangkan dalam menentukan produk yang akan diproduksi adalah program produksi, kapasitas maksimal produksi dari mesin *filling lithos* dan *blending*, serta jumlah stok yang ada di Gudang Nusantara. Hasil keputusan jadwal operasi pada mesin *filling* akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan pengadaan jumlah dan jenis *material packaging* yang akan dipesan oleh pihak logistik. Faktor waktu *setup* mesin *filling lithos* belum dipertimbangkan dalam membuat penjadwalan produksi pada PUG. Produk *lithos* memiliki banyak varian jenis, sehingga mesin *filling* akan sering melakukan *setup* sebelum melakukan proses *filling* pelumas dalam kemasan *lithos*.

Penjadwalan yang dilakukan belum mempertimbangkan waktu *setup* mesin *filling*, sehingga mengakibatkan jumlah produk yang seharusnya diproduksi tidak sesuai dengan penjadwalan produksi yang telah dibuat. Situasi tersebut mengakibatkan jumlah *material packaging* yang telah dipesan tidak dapat diproses semua, sehingga menyebabkan terjadinya penumpukan pada gudang *material packaging* PUG. Saat terjadi penumpukan *material*, pihak logistik menyarankan pihak produksi untuk dapat memproduksi produk sesuai dengan sisa *material*

dikarenakan keterbatasan kapasitas gudang. Kondisi tersebut mengakibatkan jadwal yang telah dibuat menjadi berubah, sehingga menyebabkan rencana produksi bulanan menjadi tidak dapat diselesaikan dengan baik. Pada tahun 2016 tingkat pelaksanaan produksi pelumas varian *lithos* terhadap pemenuhan program produksi selalu tidak dapat mencapai target yang telah ditentukan oleh pihak Pertamina Lubricants. Tingkat pelaksanaan produksi selalu berada di bawah target yang ada, sehingga mengakibatkan keuntungan yang seharusnya diterima oleh Pertamina Lubricants menjadi berkurang. Gambar 1.3 menunjukkan grafik rencana produksi dan realisasi pelaksanaan produksi PUG selama periode 2016.



Gambar 1.3 Grafik Target Produksi dan Pelaksanaan Produksi Lithos pada Tahun 2016 (Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik,2017)

Waktu *setup* merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan dalam membuat penjadwalan, dikarenakan dapat mengurangi ketersediaan waktu produksi. Waktu *setup* yang diperlukan sebelum melakukan proses *filling* dari tiap produknya pun berbeda. Penjadwalan produksi yang optimal dapat mengoptimalkan keuntungan yang akan diterima oleh Pertamina Lubricants. Selain itu, penentuan penjadwalan yang tepat akan mempermudah perusahaan merencanakan pengadaan *material packaging* dari *supplier*. Pihak produksi PUG menginginkan sebuah metode penjadwalan produksi pada *lithos* dengan kondisi saat rencana produksi diterima, PUG telah memiliki sistem penjadwalan produksi

dalam *time window* satu bulan. Penjadwalan tersebut harus dapat merealisasikan rencana produksi dengan mempertimbangkan keuntungan yang dapat dihasilkan oleh setiap produk dan waktu *setup* pada mesin *filling lithos*.

Penelitian terkait penjadwalan produksi dengan menggunakan mesin identik paralel telah banyak dilakukan. Biskup, *et al.* (2008) melakukan penelitian terkait permasalahan penjadwalan produksi dengan tujuan untuk meminimalkan jumlah keterlambatan yang terjadi untuk menyelesaikan beberapa pekerjaan dengan menggunakan metode *mixed integer linier programming* dan algoritma heuristik. Meyr & Mann (2013) melakukan penelitian terkait penjadwalan produksi yang dilakukan pada lini produksi paralel untuk menentukan ukuran dan penjadwalan jumlah produk yang akan diproduksi dengan mempertimbangkan kapasitas lini produksi, waktu *setup* dari mesin, dan jumlah *demand* produk. Fungsi tujuan yang digunakan adalah untuk meminimalkan tingkat *inventory*, waktu *setup*, dan biaya produksi. Permasalahan pada jurnal Meyr & Mann (2013) dapat diselesaikan dengan menggunakan metode *linier programming* dan algoritma heuristik. Penelitian yang dilakukan oleh Zhou, *et al.* (2016) membahas terkait penjadwalan produksi dengan fungsi tujuan untuk meminimalkan waktu *makespan* yang digunakan dalam menyelesaikan semua pekerjaan yang telah diberikan. Semua penelitian tersebut membahas apabila sebuah pekerjaan telah dikerjakan dalam suatu mesin, maka pekerjaan lain tidak dapat mengganggu proses yang dilakukan pada mesin tersebut. Permasalahan dalam jurnal Zhou, *et al.* (2016) diselesaikan dengan menggunakan metode *integer linier programing*, dan algoritma metaheuristik. Waktu *setup* yang digunakan pada penelitian tersebut diasumsikan sama dalam setiap melakukan pergantian produk. Selain itu, *output* yang akan dihasilkan yaitu waktu proses yang dilakukan dalam menyelesaikan sejumlah pekerjaan yang diberikan.

Permasalahan yang ada pada objek amatan yaitu penjadwalan operasi pada mesin paralel dengan mempertimbangkan waktu *setup* yang berbeda. Pelaksanaan target produksi dapat ditingkatkan dengan membuat penjadwalan produksi yang optimal. Karakteristik dari permasalahan bersifat deterministik, hal tersebut dapat ditunjukkan dengan nilai parameter yang akan digunakan. Permasalahan yang bersifat deterministik dapat diselesaikan dengan menggunakan *linier programming*.

Variabel keputusan yang akan digunakan merupakan keputusan terkait jumlah produk yang harus diproduksi dalam satuan waktu tertentu yang dinyatakan dalam bilangan *integer* dikarenakan sifat dari pelumas yang dapat dijual dalam sebuah kemasan tertentu. Berdasarkan kondisi yang ada pada objek amatan dengan didukung dengan beberapa sumber referensi yang menunjukkan bahwa permasalahan terkait penjadwalan produksi pada mesin paralel dapat diselesaikan dengan menggunakan metode *linier programming*, algoritma heuristik, dan metaheuristik. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengembangkan model penjadwalan operasi pada mesin paralel *filling lithos* dengan mempertimbangkan waktu *setup* yang berbeda-beda dengan menggunakan metode *integer linier programming*.

1.2 Perumusan Masalah

Bagaimana mengembangkan model penjadwalan operasi mesin paralel *filling lithos* dengan waktu *setup* yang berbeda dengan tujuan untuk mengoptimalkan keuntungan yang diterima oleh Pertamina Lubricants dengan menggunakan metode *integer linear programming*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Membuat model penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* dengan mempertimbangkan waktu *setup* mesin *filling* pada Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik.
2. Menentukan penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* berdasarkan model yang telah dirancang agar mendapatkan keputusan dalam pengadaan *material packaging* Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menjadi rujukan dalam penelitian yang terkait penjadwalan operasi pada mesin paralel dengan waktu *setup* yang berbeda.

2. Memberikan rekomendasi bagi Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik dalam menentukan kebijakan terkait penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* dan kebijakan terkait pengadaan *material packaging*.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Pada subbab ini akan dijelaskan terkait batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian.

1.5.1 Batasan

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah penjadwalan operasi hanya dilakukan pada mesin *filling lithos* Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik.

1.5.2 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Waktu *setup* mesin *filling* terhadap pergantian produk bersifat independen.
2. *Raw material* (*base oil* dan zat adiktif) utama selalu tersedia.
3. Keuntungan yang diperoleh oleh Pertamina Lubricants adalah sebesar 10% dari harga jual produk.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan berisi penjabaran deskriptif terkait tata cara penulisan yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan. Sistematika penulisan yang akan digunakan dalam laporan ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan identifikasi permasalahan yang mendasari dilakukannya penelitian. Pada bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka menjelaskan teori, jurnal, dan referensi lain yang berkaitan dengan penelitian. Penjelasan tersebut digunakan sebagai landasan dalam pengerjaan penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini merupakan tahapan yang dilakukan peneliti dalam menyelesaikan permasalahan yang telah dideskripsikan. Metodologi penelitian dimulai dengan pembuatan model konseptual hingga penarikan kesimpulan dan saran.

BAB 4 PERANCANGAN MODEL

Bab ini menjelaskan tentang tahapan pembuatan model mulai dari pembuatan model konseptual dan model matematis hingga model dalam *software* optimasi serta menentukan skenario yang akan digunakan. Terdapat penjelasan terkait pemilihan fungsi tujuan dan pembatas yang digunakan. Pada bab ini juga akan membahas terkait pengumpulan dan pengolahan data yang akan digunakan dalam pembuatan model.

BAB 5 UJI COBA DAN ANALISIS

Bab ini berisi tentang penyelesaian model yang telah dibuat berdasarkan data yang dikumpulkan serta eksperimen hasil dan analisa sensitivitas dari solusi yang didapatkan.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisis dan pembahasan yang disesuaikan dengan tujuan dari pengerjaan penelitian. Selain itu terdapat saran berdasarkan hasil penelitian untuk penelitian sejenis yang dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori, studi literatur, dan referensi yang berkaitan dengan penelitian. Hal tersebut akan digunakan sebagai landasan dalam membuat penelitian.

2.1 Pemodelan Sistem

Model merupakan sebuah pendekatan yang digunakan untuk merepresentasikan sebagian atau keseluruhan kondisi dari suatu sistem (Daellenbach & McNickle, 2005). Model dapat digambarkan dalam bentuk ikonik, simbolik, atau analogi. Berdasarkan Gambar 2.1 Daellenbach & McNickle (2005) menjelaskan tahapan dalam membuat sebuah penyelesaian permasalahan dalam sudut pandang *Operation Research/ Management Science* adalah sebagai berikut:

- Tahap I *Problem Formulation*

Tahapan *problem formulation* merupakan tahapan yang digunakan untuk merangkum situasi permasalahan yang terjadi dengan melakukan batasan terhadap sistem yang akan diamati. Rencana penyelesaian permasalahan juga dibahas pada tahapan ini.

1. *Summarizing problem situation* merupakan tahap pendefinisian permasalahan menggunakan *system descriptions* dan *rich picture*.
2. *Identifying problem for analysis* merupakan tahap analisis identifikasi masalah dengan menggunakan *Narrow System of Interest* dan *influence diagram*.
3. *Describing relevant system* merupakan tahap penyusunan proposal yang berisi penjelasan permasalahan beserta rencana penyelesaiannya yang dibuat oleh *problem solver* kepada *problem owner*.

- Tahap II *Modelling*

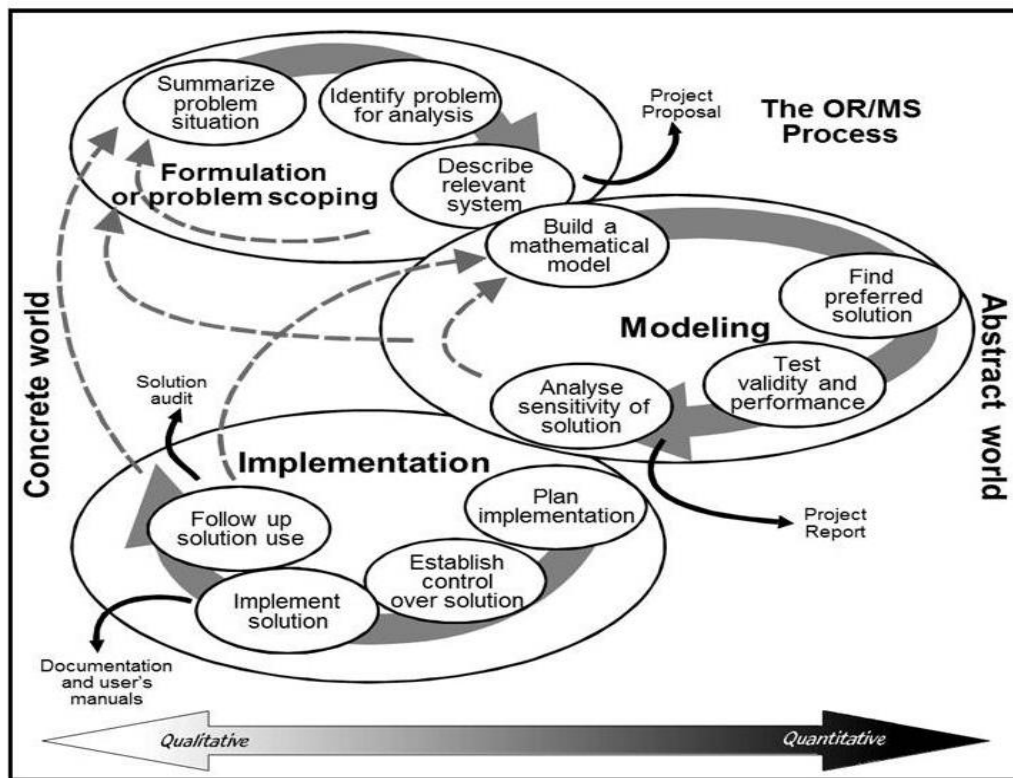
Tahapan *modelling* merupakan tahapan yang digunakan untuk membuat model yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan, mencari solusi, melakukan validasi dan verifikasi, dan melakukan analisa sensitivitas terhadap model yang telah dibuat.

1. *Building a mathematical model* merupakan tahap pengembangan model matematis yang disusun berdasarkan *influence diagram*.
2. *Finding preferred solution* merupakan tahap pemilihan solusi terbaik yang dapat diperoleh.
3. *Validation and performance testing* merupakan tahap pengujian validasi model matematis, serta uji performansi dari model. Validasi internal (verifikasi) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah model matematis yang telah dibuat sesuai dengan model konseptual. Validasi eksternal dilakukan untuk mengetahui apakah model konseptual telah sesuai dengan sistem nyata. Uji performansi dilakukan untuk menguji dampak dari model terhadap kinerja sistem.
4. *Analyzing sensitivity of solution* merupakan tahap pengujian sensitivitas dari model yang telah dibuat dengan melakukan perubahan *input* pada model akan mempengaruhi *output* model.

- Tahap III *Implementation*

Tahapan *implementation* merupakan tahapan yang digunakan untuk perencanaan terhadap solusi yang akan diimplementasikan untuk mengatasi permasalahan yang ada di dunia nyata dan tahap untuk kontrol terhadap solusi dari model yang telah dibuat.

1. *Planning the implementation* merupakan tahap penyusunan perencanaan implementasi yang meliputi semua hal yang berkaitan dengan hasil dari *output* model yang telah dibuat.
2. *Establishing control over solution* merupakan tahap pembuatan mekanisme kontrol dalam implementasi solusi sehingga nilai optimum solusi tetap terjaga.
3. *Implementing solution* merupakan tahap pengimplementasi solusi yang dilakukan berdasarkan hasil dari model dan *output* ke dalam sistem nyata.
4. *Following up solution use* merupakan tahap kontrol dari hasil implementasi setelah model diaplikasikan dalam jangka waktu tertentu dan kemudian dievaluasi kinerjanya.



Gambar 2.1 Tahapan Membangun Sebuah Model (Daellenbach & McNickle, 2005)

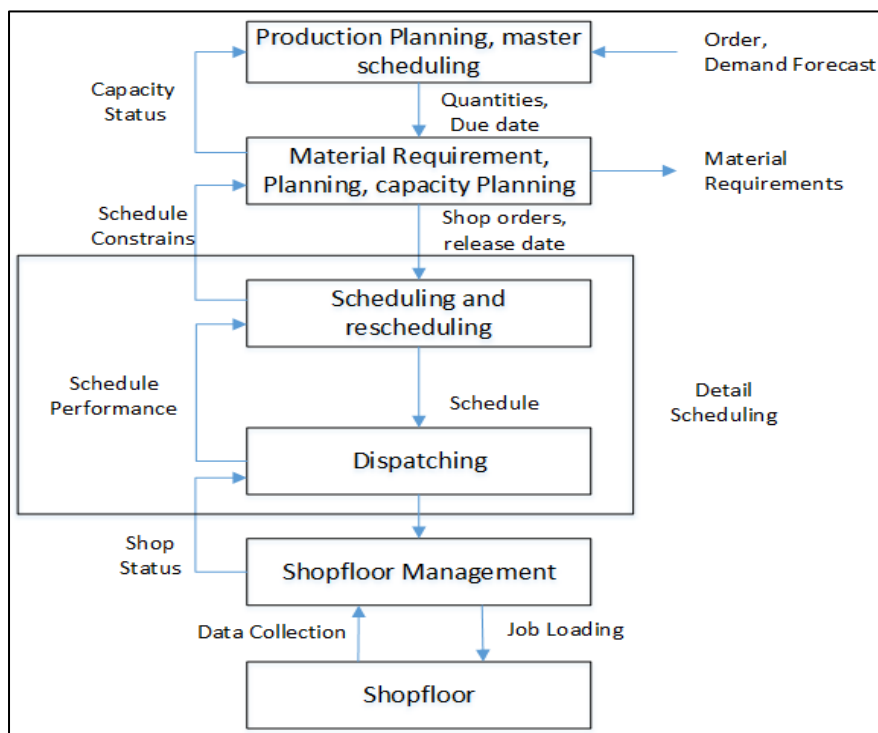
2.2 Penjadwalan Produksi

Menurut Baker (2009) penjadwalan produksi adalah alokasi *resource* untuk melakukan beberapa pekerjaan dalam waktu tertentu. Tujuan dari penjadwalan produksi adalah untuk mengalokasikan *resource* dalam hal ini mesin untuk melakukan proses produksi produk tertentu dalam menyelesaikan target produksi. Pengaturan penjadwalan yang tepat akan meningkatkan kemampuan perusahaan dalam memenuhi permintaan pelanggan sesuai waktu dan kualitas yang telah ditentukan.

Scheduling problem merupakan permasalahan dalam kondisi *resource* yang terbatas akan dialokasikan untuk melakukan beberapa pekerjaan dari waktu ke waktu untuk kegiatan yang bersifat paralel atau *sequential*. Tujuan adanya penjadwalan untuk pemanfaatan *resource* dan meningkatkan profitabilitas yang dapat dihasilkan oleh lini produksi. Masalah dalam penjadwalan dicirikan oleh ketiga komponen yaitu:

1. Jumlah pekerjaan, jumlah mesin, dan waktu proses dalam menyelesaikan setiap pekerjaan menggunakan mesin yang tepat.
2. Terdapat kendala yang terjadi, seperti kendala operasi yang menjadikan pekerjaan dari operasi tidak dilakukan secara bersamaan pada mesin yang sama.
3. Terdapat beberapa kriteria dalam fungsi tujuan untuk dioptimalkan.

Menurut Pinedo (2011) penjadwalan produksi memiliki peranan penting dalam sistem manufaktur, karena penjadwalan produksi akan mempengaruhi seluruh sistem yang ada dari awal proses persiapan material sampai pemenuhan permintaan konsumen akan produk yang diproduksi. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa penjadwalan produksi menjadi inti dari semua kegiatan yang akan dilakukan dalam industri manufaktur.



Gambar 2.2 Posisi Penjadwalan Produksi dalam Sistem Manufaktur (Pinedo, 2011)

Baker & Triestcsh (2009) menyatakan bahwa penjadwalan produksi dibedakan menjadi beberapa kategori sebagai berikut:

- *Single machine scheduling with single processor(machine)*

Single machine scheduling with single processor (machine) merupakan sebuah penjadwalan produksi yang dilakukan dengan hanya menggunakan satu unit mesin untuk menyelesaikan beberapa pekerjaan.

- *Single machine scheduling problem with parallel processor (machines)*

Single machine scheduling with parallel machines merupakan penjadwalan yang dilakukan untuk menyelesaikan beberapa pekerjaan dengan menggunakan beberapa mesin yang sejenis. Dalam konteks ini mesin memiliki dua karakteristik yaitu mesin memiliki kecepatan yang berbeda apabila melakukan pekerjaan yang berbeda dan mesin memiliki kecepatan yang sama dalam melakukan pekerjaan yang berbeda.

- *Flow shop scheduling*

Flow shop scheduling merupakan sebuah penjadwalan yang terdapat kondisi dalam menyelesaikan pekerjaan diperlukan proses pada mesin yang berbeda. Setiap pekerjaan memiliki urutan penggunaan mesin dalam menyelesaikan pekerjaan yang sama.

- *Job shop scheduling*

Job shop scheduling merupakan penjadwalan yang terdapat kondisi dalam menyelesaikan pekerjaan diperlukan proses pada mesin yang berbeda. Setiap pekerjaan memiliki urutan penggunaan mesin dalam menyelesaikan pekerjaan yang berbeda.

2.3 Integer Linear Programming

Optimasi merupakan pendekatan matematis dengan mengidentifikasi penyelesaian terbaik dari suatu permasalahan yang diarahkan pada titik maksimum atau minimum suatu fungsi tujuan yang dapat digunakan untuk membantu dalam proses pengambilan keputusan. Pada pencarian solusi suatu masalah kadang-kadang dibutuhkan formulasi matematis yang kompleks untuk memberikan solusi yang pasti. Solusi optimum mungkin dapat diperoleh tetapi memerlukan proses perhitungan yang panjang dan tidak praktis.

Linear programming (LP) adalah metode deterministik yang berarti bahwa semua parameter model diasumsikan diketahui dengan pasti. Hampir semua permasalahan yang dihadapi oleh manusia tidak ada yang memiliki tingkat kepastian yang tinggi. LP mengkompensasi “kekurangan ini” dengan memberikan analisis pasca-optimum dan analisis parameter yang sistematis untuk memungkinkan pengambilan keputusan yang bersangkutan (Taha, 2007).

Menurut Taha (2007) dalam permasalahan LP terdapat 3 komponen dasar sebagai berikut:

1. Fungsi Tujuan, tujuan atau target untuk hasil yang optimum (*Max/Min*). Dalam LP, fungsi tujuan yang dicari adalah tujuan yang dapat dinyatakan dalam bentuk *linear*.
2. Variabel Keputusan, harus ada variabel yang ditentukan untuk mendapatkan solusi terbaik.
3. Kendala, artinya setiap variabel keputusan yang diambil harus memenuhi kendala-kendala yang ada

Linear programming dapat menangkap sebuah permasalahan pada dunia nyata sebagai suatu model matematis yang memiliki beberapa konstrain dan memiliki sebuah fungsi tujuan. Tahapan yang perlu dilakukan dalam menyelesaikan *linear programming* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan variabel keputusan
2. Membuat fungsi tujuan
3. Memformulasikan konstrain atau kendala dalam sebuah model matematis
4. Menggambarkan dalam bentuk grafik
5. Menentukan daerah kemungkinan/ "*feasible*"
6. Menentukan solusi optimum

Menurut Winston (2003), permasalahan *Integer Linear Programming* (ILP) merupakan suatu persamaan LP yang beberapa atau seluruh variabel yang digunakan merupakan bilangan *integer* positif. Jenis-jenis permasalahan yang terdapat dalam ILP adalah sebagai berikut:

- *Pure Integer Linear Programming*, terjadi apabila dalam sebuah permasalahan semua variabel harus bernilai *integer*.

- *Mixed Integer Linear Programming*, terjadi apabila hanya ada beberapa variabel yang bernilai integer dalam hal ini variabel yang lain bisa berupa bilangan *biner*.
- *0-1 Linear Programming*, terjadi apabila semua variabel yang digunakan harus bernilai 0 atau 1.

Solusi yang dimiliki oleh *integer linear programming* adalah jawaban akhir dari suatu pemecahan permasalahan yang dianalisis yang ditangkap ke dalam sebuah persamaan model matematis. Terdapat beberapa kemungkinan solusi yang dapat dihasilkan yaitu solusi dikatakan layak (*feasible solution*) apabila penyelesaiannya tidak melanggar batasan-batasan yang ada. Namun apabila penyelesaiannya tidak memungkinkan pada alternatif-alternatif yang layak (*feasible*), maka solusi itu dikatakan tidak layak (*no feasible solution*). Terdapat beberapa alternatif solusi yang nantinya akan disimpan sebagai solusi yang terbaik sesuai dengan fungsi tujuan yang telah ditentukan. Solusi sementara akan disimpan hingga mendapatkan solusi yang lebih baik lainnya. Apabila sudah tidak ditemukan solusi yang lainnya, maka solusi sementara yang telah disimpan akan menjadi solusi yang terbaik.

2.4 *Branch and Bound*

Algoritma *Branch and Bound* merupakan metode yang paling sering digunakan dalam penyelesaian permasalahan optimasi. Tahapan yang dilakukan dalam metode ini adalah pembuatan batas (*bound*) yang terdiri dari batas atas dan batas bawah, pencabangan cabang (*branching*), dan penghentian cabang (*fathoming*). Solusi yang dihasilkan dengan menggunakan metode ini merupakan solusi optimum. Algoritma *Branch and Bound* akan mencari solusi terbaik dengan terus melakukan perhitungan secara eksponensial seiring dengan perhitungan enumerasi yang telah dilakukan. Potensi solusi akan terus bertambah seiring dengan penambahan iterasi yang dilakukan. Pencarian solusi selesai apabila semua parameter yang telah dievaluasi telah memiliki bentuk *integer* atau tidak ada solusi lagi yang belum diperiksa.

Menurut Winston, (2003) langkah-langkah yang digunakan dalam menerapkan algoritma *Branch and Bound* adalah sebagai berikut:

1. Menyelesaikan persamaan *linear programming* dengan menggunakan metode simpleks.
2. Meneliti semua solusi optimum yang mungkin terjadi. Apabila variabel yang diinginkan merupakan bilangan bulat, maka solusi optimum yang dicapai bernilai bulat.
3. Nilai solusi yang dapat dicabangkan ke dalam sebuah sub permasalahan dengan tujuan untuk menghilangkan solusi kontinu yang tidak memenuhi persyaratan bilangan bulat dalam permasalahan tersebut.
4. Setiap sub permasalahan yang memiliki nilai solusi yang optimum kontinu, fungsi tujuan ditetapkan sebagai batas atas. Solusi bulat terbaik menjadi batas bawah (merupakan solusi kontinu yang dibulatkan ke bawah). Sub permasalahan yang memiliki batas atas kurang dari batas bawah yang ada, tidak akan diikuti sertakan pada analisis selanjutnya. Suatu solusi dikatakan layak merupakan solusi yang memiliki nilai yang lebih baik dari nilai batas atas permasalahan yang dicari. Apabila hal tersebut telah terjadi, suatu sub permasalahan dengan batas atas terbaik dipilih untuk dicabangkan. Kembali ke langkah ke 3, hingga sudah tidak ada solusi lain yang layak.

Penetapan batas yang dilakukan pada algoritma *Branch and Bound* terdapat dua batas yang digunakan yaitu batas atas (*upper bound*) dan batas bawah (*lower bound*).

- a. Permasalahan dengan fungsi tujuan maksimasi
Batas atas yang digunakan dalam permasalahan ini merupakan solusi dari persamaan ILP relaksasi dari sub permasalahan tersebut, sedangkan batas bawahnya merupakan solusi dari sub permasalahan tersebut yang semua variabel keputusannya telah bernilai *integer* (solusi terbesar yang telah diperoleh).
- b. Permasalahan dengan fungsi tujuan minimasi
Batas bawah yang digunakan dalam permasalahan ini merupakan solusi dari persamaan ILP relaksasi dari sub permasalahan tersebut, sedangkan batas atasnya merupakan solusi dari sub permasalahan

tersebut yang semua variabel keputusannya telah bernilai *integer* (solusi terkecil yang telah diperoleh).

Pencabangan atau pencarian solusi pada suatu permasalahan algoritma *Branch and Bound* akan dihentikan apabila dalam permasalahan tersebut telah mencapai beberapa kondisi berikut ini.

- a. *Infeasible* atau tidak ditemukan adanya solusi yang layak.
- b. Semua variabel keputusan telah bernilai *integer*.
- c. Pada permasalahan dengan fungsi tujuan maksimasi, penghentian percabangan dilakukan saat batas atas dari sub permasalahan tersebut sudah tidak ada yang lebih besar atau sama dengan batas bawah.
- d. Pada permasalahan dengan fungsi tujuan minimasi, penghentian percabangan dilakukan saat batas bawah dari sub permasalahan tersebut sudah tidak ada yang lebih kecil atau sama dengan batas atas.

2.5 *Literature Review*

Pada subbab *literature review* akan ditampilkan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terkait penjadwalan produksi pada mesin paralel.

2.5.1 *Penjadwalan Produksi Mesin Paralel untuk Meminimalkan Tardiness*

Pada jurnal Biskup, *et al.*, (2008) yang membahas mengenai permasalahan dalam menyelesaikan sejumlah pekerjaan dengan menggunakan mesin paralel untuk meminimalkan total keterlambatan. Jumlah pekerjaan yang dikerjakan sebanyak $N = \{1, 2, \dots, n\}$, setiap pekerjaan akan dikerjakan pada sekumpulan mesin $M = \{1, 2, \dots, m\}$ dengan m mesin memiliki karakteristik yang sama. Jumlah pekerjaan yang dilakukan diasumsikan sebagai deterministik dan proses integer pada waktu proses p_i dan batas waktu d_i . Keterlambatan $T_i(S)$ dari setiap pekerjaan yang dijadwalkan pada S dapat dihitung dengan menggunakan $T_i(S) = \max \{0, C_i(S) - d_i\}$. $C_i(S)$ merupakan waktu penyelesaian pekerjaan i pada jadwal S . S_j akan menentukan urutan penjadwalan pekerjaan pada mesin $j \in M$.

Notasi yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan tersebut adalah sebagai berikut:

- C_h Completion time pekerjaan h ($h = 1, \dots, n$)
- T_h Tardiness pekerjaan h ($h = 1, \dots, n$)
- P_h Processing time pekerjaan h ($h = 1, \dots, n$)
- d_h Due date pekerjaan h ($h = 1, \dots, n$)
- y_h variabel biner yang menyatakan bahwa pekerjaan h merupakan pekerjaan pertama yang dilakukan di mesin m ($h = 1, \dots, n$)
- x_{ih} variabel biner yang menyatakan bahwa pekerjaan i dikerjakan tepat sebelum pekerjaan h pada mesin yang sama ($i, h = 1, \dots, n, i \neq h$)
- $x_{i,n+1}$ variabel biner yang menyatakan bahwa pekerjaan i merupakan pekerjaan terakhir yang dilakukan di mesin ($i = 1, \dots, n$)
- R didefinisikan sebagai bilangan yang memiliki nilai yang besar

Tujuan dan konstrain yang digunakan pada permasalahan tersebut adalah sebagai berikut:

Minimize

$$\sum_{h=1}^n T_h \quad (2.1)$$

Subject to

$$\sum_{h=1}^n Y_h \leq m \quad (2.2)$$

$$y_h + \sum_{i=1, i \neq h}^n X_{hi} = 1 \quad ; \forall_i = 1, \dots, n \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1, i \neq h}^n X_{hi} = 1 \quad ; \forall_h = 1, \dots, n \quad (2.4)$$

$$c_h \geq P_h y_h \quad ; \forall_h = 1, \dots, n \quad (2.5)$$

$$c_h \geq c_i + p_h - R(1 - X_{ih}) \quad ; \forall_{i,h} = 1, \dots, n, i \neq h \quad (2.6)$$

$$T_h \geq C_h - d_h \quad ; \forall_h = 1, \dots, n \quad (2.7)$$

$$x_{ih} + x_{hi} \leq 1 \quad ; \forall_{i,h} = 1, \dots, n, i \neq h \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{in+1} \leq m \quad (2.9)$$

$$y_i + \sum_{h=1, h \neq i}^{n+1} X_{ih} \leq 1 \quad ; \forall_h = 1, \dots, n \quad (2.10)$$

$$x_{ih} \in \text{biner} ; \forall_i = 1, \dots, n \quad \forall_h = 1, \dots, n+1, i \neq h \quad (2.11)$$

$$y_h \in \text{biner} ; \forall_h = 1, \dots, n \quad (2.12)$$

$$T_h, C_h \in \text{integer} ; \forall_h = 1, \dots, n \quad (2.13)$$

Persamaan 2.1 merupakan fungsi tujuan yang digunakan untuk meminimalkan total *tardiness* yang terjadi. Persamaan 2.2 menunjukkan bahwa pekerjaan m merupakan pekerjaan pertama yang dilakukan dalam mesin. Persamaan 2.3 dan 2.4 menentukan pekerjaan dimulai setelah pekerjaan lainnya dikerjakan pada mesin. Persamaan 2.5 dan 2.6 menjamin waktu proses dari pekerjaan harus lebih kurang dari sama dengan waktu yang disediakan untuk menyelesaikan pekerjaan h . Persamaan 2.7 menyatakan waktu *tardiness* dihitung dengan mencari selisih antara *completion time* dikurangi dengan *due date*. Persamaan 2.8 menyatakan jika pekerjaan i merupakan yang dilakukan sebelum pekerjaan h dimulai. Persamaan 2.9 menyatakan bahwa pekerjaan m merupakan pekerjaan yang terakhir. Persamaan 2.10 menyatakan bahwa pekerjaan awal pada setiap mesin hanya boleh dilanjutkan oleh satu pekerjaan. Persamaan 2.11, 2.12, dan 2.13 menentukan nilai dari variabel yang bersangkutan.

2.5.2 *Penjadwalan Produksi Multi Lini untuk Meminimalkan Biaya Produksi*

Pada jurnal Meyr & Mann (2013) membahas permasalahan terkait penjadwalan produksi yang dilakukan pada lini produksi paralel untuk menentukan ukuran dan penjadwalan lot produksi dengan mempertimbangkan kapasitas lini produksi, waktu *setup* dari mesin, dan jumlah *demand* produk. Tujuan yang ingin dicapai adalah untuk meminimalkan tingkat *inventory*, waktu *setup*, dan biaya produksi. Lini paralel yang dimaksudkan adalah sebuah lini produksi yang memiliki kesamaan fungsi dalam memproduksi produk yang ditentukan. Perhitungan ukuran jumlah yang akan diproduksi dipengaruhi oleh waktu *setup* yang dilakukan.

Model membuat sebuah penjadwalan dari beberapa produk $j = 1, \dots, J$ yang dijadwalkan pada lini produksi paralel $l = 1, \dots, L$. *Planning horizon* telah ditentukan dalam satuan periode waktu $t = 1, \dots, T$. Setiap pekerjaan tertentu dilakukan pada

periode tertentu dan dilakukan pada lini produksi l . Saat pekerjaan tersebut belum selesai, lini produksi tersebut tidak dapat melakukan pekerjaan yang lain.

Notasi yang digunakan dalam formulasi permasalahan, yaitu:

- S_{lt} Set waktu s yang digunakan dalam periode t dan lini produksi l
 K_{lt} Waktu pada lini produksi l yang tersedia pada periode waktu t
 a_{lj} Waktu yang digunakan untuk melakukan produksi untuk setiap unit j pada lini l
 m_{lj} Minimum *lot size* produk j yang diproduksi pada lini produksi l
 h_j Biaya simpan setiap produk j (setiap unit per periode)
 c_{lj} Biaya produksi setiap produk j (setiap unit) pada lini produksi l
 s_{lij} Biaya *setup* yang dilakukan dalam penggantian produk i ke produk j pada setiap lini produksi l
 st_{ij} Waktu *setup* yang dilakukan dalam penggantian produk i ke produk j pada setiap lini produksi l
 d_{jt} *Demand* produk j pada periode t
 I_{j0} *Inventory* awal produk j pada periode awal periode *planning horizon*
 y_{li0} Bernilai 1 saat lini produksi l melakukan *setup* pada produk j pada awal *planning horizon*, (0 *otherwise*)

Variabel yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan.

- $I_{jt} \geq 0$ *Inventory* produk j pada akhir periode t (unit)
 $X_{ljs} \geq 0$ Jumlah produk j yang diproduksi pada *set* waktu s pada lini l (unit)
 $Y_{ljs} \in \{0,1\}$ Kondisi *setup*. $Y_{ljs} = 1$ saat lini l melakukan *setup* untuk produk j pada *set* waktu s , (0 *otherwise*)
 $Z_{lij} \geq 0$ Bernilai 1 saat ada pergantian produk dari i ke j pada lini produksi l pada *set* waktu s , (0 *otherwise*)

Tujuan dan konstrain yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan tersebut adalah sebagai berikut:

Minimize

$$\sum_{t,j} h_j J_{jt} + \sum_{l,i,j,s} s_{lij} z_{lij} + \sum_{l,j,s} c_{lj} X_{ljs} \quad (2.14)$$

Subject to

$$I_{jt} = I_{jt-1} + \sum_{l,s \in S_{lt}} X_{ljs} - d_{jt} \quad ; \forall_t, \forall_j \quad (2.15)$$

$$\sum_{j,s \in S_t} a_{lj} x_{ljs} \leq K_{lt} - \sum_{i,j,s \in S_t} st_{lij} z_{ljs} \leq ; \forall_l, \forall_t \quad (2.16)$$

$$X_{ljs} \leq \frac{K_{it}}{a_{lj}} y_{ljs} ; \forall_l, \forall_j, \forall_s, \forall_t \text{ with } s \in S_t \quad (2.17)$$

$$X_{ljs} \geq m_{ij} (y_{ljs} - m_{ljs-1}) ; \forall_l, \forall_j, \forall_s \quad (2.18)$$

$$\sum_j y_{ljs} = 1 ; \forall_l, \forall_s \quad (2.19)$$

$$z_{ljs} \geq y_{ljs-1} + y_{ljs} - 1 ; \forall_l, \forall_i, \forall_j, \forall_s \quad (2.20)$$

Persamaan 2.14 merupakan fungsi tujuan yang digunakan untuk meminimalkan biaya *inventory*, biaya *setup* mesin, dan biaya produksi yang dilakukan pada saat membuat penjadwalan. Persamaan 2.15 yang mewakili pemenuhan *demand* tidak diperbolehkan adanya *backorder*. Persamaan 2.16 menunjukkan waktu *setup* akan mengurangi ketersediaan waktu produksi. Persamaan 2.17 dan 2.19 memastikan bahwa kondisi *setup* mengalami perubahan apabila lini produksi l melakukan penggantian produk dari i ke j yang menyebabkan nilai z_{ljs} pada persamaan 2.20 menjadi 1. Persamaan 2.18 memperbolehkan model untuk melakukan pergantian produk apabila jumlah produk yang akan diproduksi lebih dari *minimum batch* yang ditentukan.

2.5.3 Penjadwalan Produksi Mesin Paralel untuk Meminimalkan Makespan

Pada jurnal Zhou, *et al.*, (2016) membahas terkait penjadwalan produksi dengan menggunakan mesin paralel identik untuk menyelesaikan banyak pekerjaan. Setiap mesin memiliki kapasitas dan kecepatan yang berbeda dalam melakukan pekerjaan. Tujuan yang ingin dicapai dalam permasalahan ini adalah untuk meminimalkan *makespan* dalam menyelesaikan semua pekerjaan. Jumlah yang diproses dalam satuan *batch* tidak diperbolehkan melebihi kapasitas yang dimiliki oleh mesin. Saat proses dimulai tidak diperbolehkan ada pekerjaan lain yang mengganggu proses tersebut hingga proses tersebut selesai.

Notasi yang digunakan dalam model permasalahan, yaitu:

i indeks mesin, $i = \{1, 2, \dots, m\}$;

j indeks pekerjaan, $j = \{1, 2, \dots, n\}$;

- b indeks *batch*, $b = \{1, 2, \dots, n\}$;
- s_j ukuran pekerjaan j ;
- p_j waktu proses pekerjaan j ;
- S_i kapasitas mesin i ;
- v_i kecepatan mesin i ;

Variabel keputusan yang digunakan dalam permasalahan adalah sebagai berikut:

- X_{jbi} Bernilai 1 saat pekerjaan j dikerjakan pada sejumlah *batch* b dan diproses oleh mesin i , (0 otherwise)
- P_{bi} Waktu proses *batch* b pada mesin i ;
- C_{max} *Makespan*

Asumsi yang digunakan dalam permasalahan adalah sebagai berikut:

- Terdapat n pekerjaan yang diselesaikan dengan menggunakan m mesin paralel. Total jumlah pekerjaan yang dilakukan tidak boleh melebihi kapasitas pada mesin i saat *batch* b dilakukan.
- Setiap mesin memiliki kecepatan tetap v_i untuk menyelesaikan setiap pekerjaan, waktu proses pekerjaan j pada mesin i adalah p_j/v_i .
- Pekerjaan tidak bisa diganggu sampai proses dapat diselesaikan.

Tujuan dan konstrain dari permasalahan yang dibahas dalam penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

Minimize

$$C_{max} \quad (2.21)$$

Subject to

$$\sum_{b=1}^n \sum_{i=1}^m X_{jbi} = 1 \quad ; \forall_j = 1, \dots, n \quad (2.22)$$

$$\sum_{j=1}^n S_j X_{jbi} \leq S_i \quad ; \forall_b = 1, \dots, n \quad \forall_i = 1, \dots, m \quad (2.23)$$

$$P_{bi} \geq P_j X_{jbi} \quad ; \forall_b = 1, \dots, n \quad \forall_i = 1, \dots, m \quad \forall_j = 1, \dots, m \quad (2.24)$$

$$C_{max} \geq \sum_{b=1}^n \frac{P_{bi}}{v_i} \quad ; \forall_i = 1, \dots, m \quad (2.25)$$

$$X_{jbi} \in \text{biner} \quad ; \forall_b = 1, \dots, n \quad \forall_i = 1, \dots, m \quad \forall_j = 1, \dots, m \quad (2.26)$$

Persamaan 2.21 merupakan fungsi tujuan yang digunakan untuk meminimalkan *makespan*. Persamaan 2.22 menjamin setiap pekerjaan hanya bisa diproses pada satu mesin. Persamaan 2.23 jumlah produk yang diproses tidak melebihi kapasitas mesin. Persamaan 2.24 menentukan waktu proses dalam batch tidak melebihi waktu yang tersedia. Persamaan 2.25 menentukan proses yang terjadi tidak boleh melebihi waktu *makespan*. Persamaan 2.26 menjamin variabel X_{jbi} sebagai bilangan *biner*.

Tabel 2.5 berikut ini akan menampilkan penelitian-penelitian yang berhubungan dengan penelitian ini.

Tabel 2.1 *Literature Review*

No	Penelitian	Metode	Keterangan
1	<i>Scheduling Identical Parallel Machines to Minimize Total Tardiness</i> (Biskup, et al., 2008)	<i>Mixed Integer Linear Programming, Heuristics</i>	Jurnal membahas permasalahan penjadwalan sejumlah pekerjaan dengan menggunakan mesin paralel untuk meminimalkan total keterlambatan.
2	<i>A Decomposition Approach for the General Lotsizing and Scheduling Problem for Parallel Production Lines</i> (Meyr & Mann, 2013)	<i>Heuristics, Linear Programming</i>	Jurnal membahas permasalahan penjadwalan produksi pada lini produksi paralel dengan mempertimbangkan kapasitas lini produksi, waktu <i>setup</i> dari mesin, dan jumlah <i>demand</i> produk untuk meminimalkan tingkat <i>inventory</i> , waktu <i>setup</i> , dan biaya produksi.
3	<i>An Effective Discrete Differential Evolution Algorithm for Scheduling Uniform Parallel Batch Processing Machines with Non-Identical Capacities and Arbitrary Job Sizes</i> (Zhou, et al., 2016)	<i>Mixed Integer Linear Programming, Metaheuristics</i>	Jurnal membahas permasalahan penjadwalan produksi sejumlah pekerjaan dengan menggunakan mesin paralel yang memiliki kapasitas dan kecepatan yang berbeda dalam melakukan pekerjaan untuk meminimalkan <i>makespan</i> dalam menyelesaikan pekerjaan.

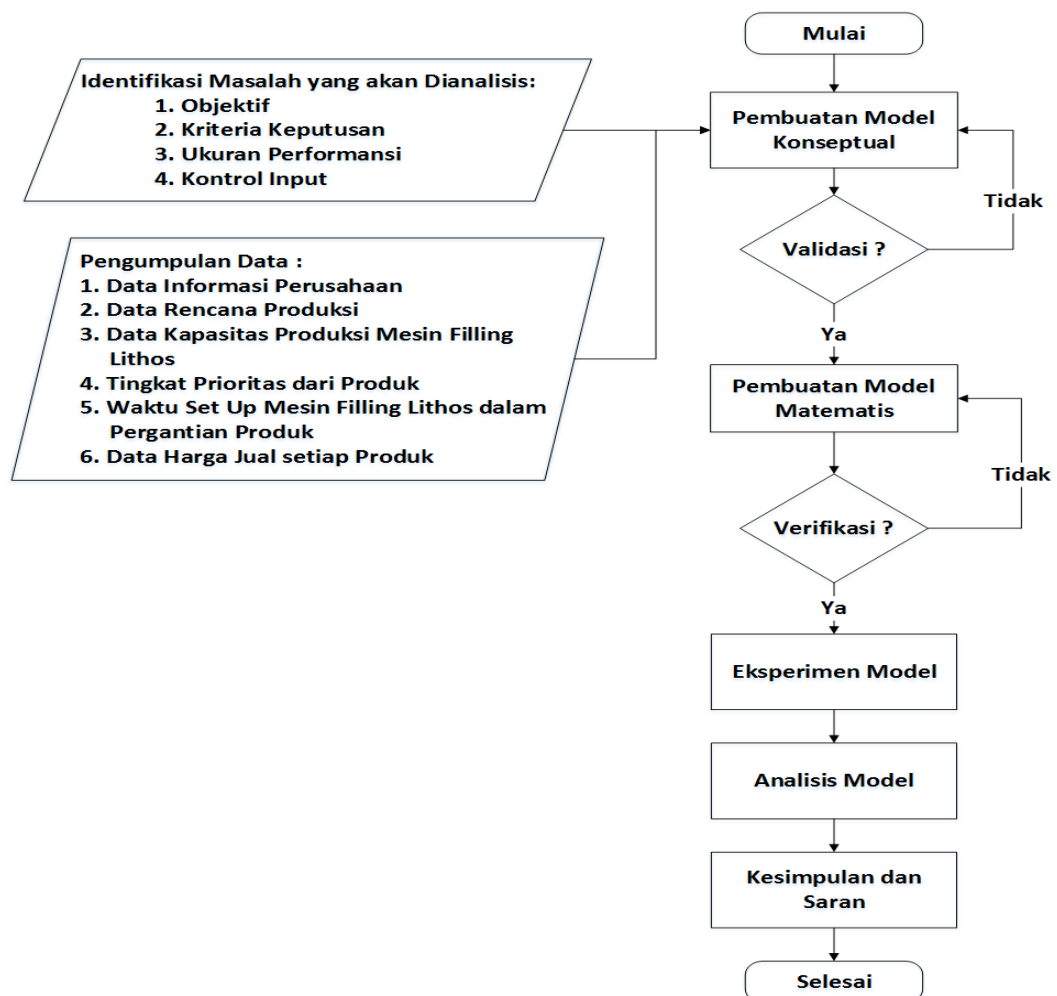
Tabel 2.1 *Literature Review* (Lanjutan)

No	Penelitian	Metode	Keterangan
Penelitian ini			
4	Penjadwalan Multi Produk pada Mesin Paralel <i>Filling Lithos</i> di PT Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik (Septiwianto, 2017)	<i>Integer Linear Programming</i>	Penelitian membahas penjadwalan produksi pada mesin <i>filling lithos</i> paralel untuk mengoptimalkan keuntungan yang diterima oleh perusahaan dengan mempertimbangkan waktu <i>setup</i> yang berbeda-beda dari setiap pergantian produk.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah sistematis dan terarah yang akan dijadikan acuan dalam menyelesaikan permasalahan. Secara umum metodologi yang akan digunakan akan dapat dilihat dalam *flowchart* berikut ini.



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

3.1 Pembuatan Model Konseptual

Pembuatan model konseptual pada permasalahan penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* PT Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik berawal dari

permasalahan yang telah dianalisis pada tahapan sebelumnya. Berikut ini akan ditampilkan permasalahan yang akan dianalisis:

- **Objektif Keputusan**

Objektif dari permasalahan ini adalah menentukan penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* agar dapat memenuhi rencana produksi, sehingga Pertamina Lubricants dengan mengoptimalkan keuntungan yang akan diterima.

- **Kriteria Keputusan**

Kriteria pemilihan keputusan pada permasalahan ini adalah meminimalkan jumlah produk yang tidak dapat diproduksi sesuai dengan keuntungan yang diberikan oleh tiap produk.

- **Ukuran Performansi**

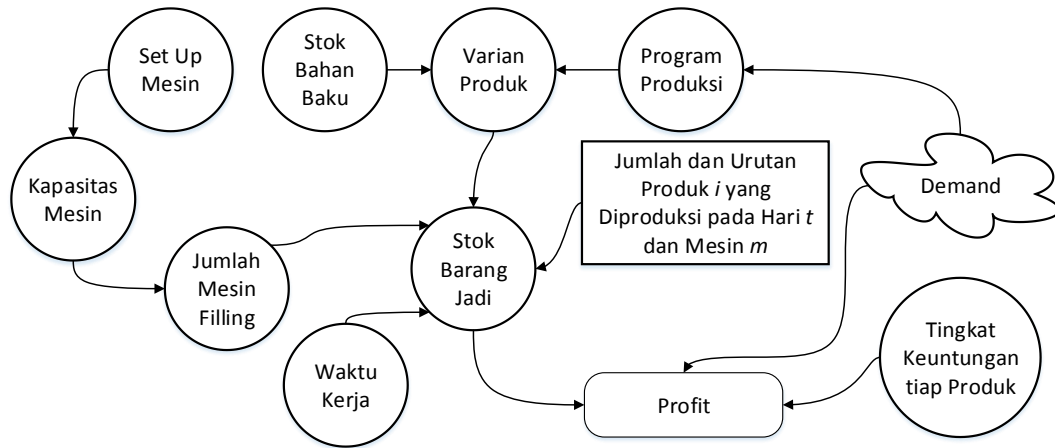
Ukuran performansi yang digunakan dalam permasalahan ini adalah jumlah keuntungan yang diterima oleh PT Pertamina Lubricants dengan menggunakan metode penjadwalan dalam model dapat melebihi keuntungan yang diterima saat PT Pertamina Lubricants menggunakan metode penjadwalan saat ini.

- **Kontrol Input atau Alternatif Tindakan**

Kontrol input dalam permasalahan ini adalah penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos*. Alternatif tindakan yang ada permasalahan ini adalah melakukan penambahan waktu kerja apabila *demand* melebihi kapasitas produksi mesin *filling lithos*, sehingga dapat mencapai rencana produksi yang diberikan.

Pendeskripsian sistem pada permasalahan dapat digambarkan dengan menggunakan *influence diagram*. *Influence diagram* terdiri dari komponen-komponen yang terpisah dan akan dihubungkan dengan tanda panah. Komponen tersebut adalah input tidak terkendali, input terkendali (*decision*), *output*, dan variabel sistem. Tanda panah memiliki arti bahwa komponen tersebut dipengaruhi oleh komponen lainnya. Input yang tidak terkendali dalam sistem ini adalah *demand* terkait pelumas yang dibutuhkan oleh konsumen. Input terkendali yang ada pada sistem adalah jumlah produk yang akan diproduksi, penentuan keputusan tersebut dipengaruhi oleh beberapa variabel yaitu jumlah mesin *filling*, waktu kerja, dan varian produk yang diproduksi. *Output* yang diinginkan dalam sistem adalah jumlah keuntungan yang akan diterima oleh Pertamina Lubricants. Jumlah

keuntungan yang ditentukan oleh jumlah stok barang jadi, harga jual tiap produk, *demand* dari pasar, dan tingkat keuntungan dari setiap produk yang diproduksi. Berikut ini merupakan Gambar 3.2 yang menjelaskan pendeskripsian sistem relevan yang ada pada sistem penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* PUG dalam bentuk *influence diagram*.



Gambar 3.2 *Influence Diagram* Penjadwalan pada Mesin *Filling Lithos*

Tahapan selanjutnya yang dilakukan adalah tahapan pengumpulan data yang berkaitan dengan penelitian. Data tersebut adalah informasi umum terkait perusahaan. Informasi yang dikumpulkan seperti kapasitas produksi dari mesin *filling lithos*, data rencana produksi bulanan, tingkat prioritas dari produk, waktu *setup* mesin *filling lithos* dalam melakukan setiap pergantian produk, dan data terkait harga jual dari setiap produk. Data tersebut nantinya akan digunakan dalam pengujian terhadap model yang telah dibuat. Skenario yang akan digunakan dalam permasalahan adalah saat kondisi *demand* kurang dari kapasitas produksi mesin *filling lithos* dan skenario terdapat kondisi saat *demand* lebih besar dari kapasitas produksi mesin *filling lithos*. Data tersebut akan digunakan sebagai parameter dalam melakukan pengujian terhadap model.

3.2 Pembuatan Model Matematis

Model matematis merupakan sebuah ekspresi kuantitatif yang menyatakan hubungan antar komponen yang berada dalam sistem yang relevan. Model matematis yang dihasilkan bisa dalam bentuk persamaan, pertidaksamaan, atau

dalam sebuah fungsi. Tahapan yang diperlukan dalam membuat sebuah model matematis adalah sebagai berikut:

1. Permasalahan yang nyata yang menjadi sebuah sistem yang relevan dalam sebuah model konseptual.
2. Model konseptual yang telah dibuat akan diterjemahkan ke dalam bahasa verbal matematis dengan menentukan fungsi tujuan dan konstrain yang dimiliki dalam sebuah permasalahan.
3. Bahasa verbal matematis tersebut diubah menjadi persamaan matematis.
4. Melakukan validasi dan verifikasi terhadap model matematis yang telah dibuat agar logika berpikir dari model sesuai dengan model konseptual yang telah dibuat.
5. Menemukan solusi dari permasalahan dengan mencari solusi dari model matematis yang telah dibuat.
6. Menerapkan solusi yang didapatkan ke dalam dunia nyata agar dapat menyelesaikan permasalahan yang menjadi sistem yang relevan.

Model matematis yang dibuat harus mengacu pada *influence diagram* yang telah menggambarkan kondisi dari sistem yang relevan. Solusi yang diperoleh dari model matematis diharapkan mampu membantu oleh *problem owner* dalam mengambil sebuah keputusan. Model matematis dari permasalahan ini adalah sebagai berikut:

- Variabel keputusan yang digunakan dalam sistem adalah jumlah dan urutan terkait produk i yang akan diproduksi oleh Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik dalam mesin m dan pada hari ke t .
- Ukuran performansi yang digunakan dalam sistem adalah peningkatan keuntungan yang diterima oleh Pertamina Lubricants.
- Fungsi tujuan yang digunakan dalam sistem adalah mencapai target produksi yang diberikan oleh Pertamina Lubricants agar dapat mengoptimalkan keuntungan yang diterima.
- Input yang tidak terkontrol dalam sistem adalah *demand* dari pasar.

- Konstrain yang digunakan dalam sistem adalah jumlah produk yang diproduksi tidak boleh melebihi kapasitas maksimal mesin *filling lithos* dengan tetap mempertimbangkan waktu *setup* dari setiap aktivitas produksi.

Pengembangan model matematis dilakukan secara bertahap dari model yang sederhana hingga model tersebut sesuai dengan kondisi nyata yang dialami oleh PT Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik. Model matematis yang telah dibuat nantinya akan dikonversikan ke dalam kode program optimasi.

3.3 Eksperimen Model

Pada tahap ini akan dilakukan *running* model matematis dengan menggunakan data yang telah diperoleh. Hasil tersebut akan disesuaikan dengan parameter yang telah ditentukan sebelumnya untuk mendapatkan fungsi tujuan mengoptimalkan keuntungan yang diperoleh oleh Pertamina Lubricants. Parameter yang digunakan adalah model dapat menghasilkan sebuah penjadwalan pada operasi mesin *filling lithos* agar dapat menyelesaikan program produksi.

3.4 Validasi dan Verifikasi

Verifikasi model merupakan proses pemeriksaan kesesuaian model antara logika operasional (kode *software*) sesuai dengan logika diagram alur. Verifikasi model dilakukan dengan tujuan bahwa semua ekspresi matematis yang telah dibuat memiliki dimensi yang konsisten. Tujuan dari verifikasi adalah untuk menjamin kebenaran suatu model matematis dan konsisten secara logika. Sedangkan validasi merupakan sebuah proses yang merepresentasikan keakuratan model sebagai model konseptual dari sistem nyata. Tujuan dari validasi adalah untuk menjamin kemampuan suatu model untuk merepresentasikan sistem nyata.

Proses validasi nantinya dilakukan dengan cara membandingkan hasil dari model yang telah dibuat dengan data primer yang diperoleh langsung dari lapangan. Jika dalam pengujian secara statistik *output* yang dihasilkan dari model tidak terdapat perbedaan yang signifikan dengan *output* yang ada pada kondisi nyata, maka model yang telah dibuat dapat dikatakan valid.

Proses verifikasi yang dilakukan ada dua tahap. Tahapan pertama dilakukan untuk memastikan tidak ada kesalahan saat model dalam program dijalankan.

Tahap verifikasi kedua yang dilakukan untuk memastikan logika dari model yang dibuat masuk akal dan logis. Verifikasi juga akan memeriksa apakah perhitungan matematis yang dikerjakan oleh model sudah benar.

3.5 Analisa Model

Pada tahap ini dilakukan implementasi model matematis dalam menyelesaikan permasalahan yang dialami oleh objek amatan. Pengolahan data dilakukan dengan tujuan untuk menyesuaikan data dengan model. Tahapan selanjutnya dilakukan analisa sensitivitas dengan mengubah parameter yang ada pada sistem dan melihat pengaruhnya terhadap performansi sistem. Dalam tahap analisa juga digunakan salah satu contoh penggunaan model dalam menentukan penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* dalam menyelesaikan target produksi yang telah ditentukan oleh Pertamina Lubricants.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan akhir berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Serta pemberian saran terkait kebijakan yang harus diambil dalam membuat sebuah penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* agar dapat mengoptimalkan keuntungan yang diterima oleh Pertamina Lubricants.

BAB 4

PERANCANGAN MODEL

Pada bab ini akan dibahas deskripsi umum objek amatan, perancangan model yang akan digunakan dan tahapan verifikasi dan validasi model yang akan digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang terjadi pada objek amatan.

4.1 Deskripsi Umum PT Pertamina Lubricants

PT Pertamina Lubricants merupakan anak perusahaan PT Pertamina (Persero), yang didirikan pada 23 September 2013 dan menerima pemisahan unit bisnis pelumas PT Pertamina (Persero) pada 30 Oktober 2013. PT Pertamina Lubricants didirikan sebagai pelaksanaan amanat Undang-Undang No. 22 tahun 2001 tentang minyak dan gas. Tujuan pendirian perusahaan adalah meningkatkan kekuatan bisnis perseroan di bidang usaha pelumas pada masa mendatang, melalui cakupan bisnis di dalam dan luar negeri. PT Pertamina Lubricants bertekad pada masa-masa mendatang dapat menjadi perusahaan pelumas kelas dunia, dan mencapai posisi sebagai *Top 20 World Lubricants Company* (Pertamina, 2013).

Pemenuhan memenuhi kebutuhan pelumas nasional maupun internasional Pertamina Lubricants memiliki sebuah unit yang dinamakan unit produksi. Tanggung jawab fungsi produksi adalah menyediakan seluruh material bahan baku dan bahan pembantu produksi, melakukan proses produksi, dan melakukan optimalisasi fasilitas produksi untuk menunjang kelancaran produksi. Kegiatan produksi dimulai dari pemrosesan bahan baku, terdiri atas *base oil* yang berasal dari PT Pertamina (Persero) serta bahan adiktif dari PT Pertamina (Persero) dan produksi PT Pertamina Lubricants. Bahan baku tersebut selanjutnya diolah menjadi pelumas, gemuk, dan beberapa produk dengan spesifikasi khusus. Pertamina Lubricants memiliki empat area produksi, setiap area produksi hanya diperbolehkan memproduksi pelumas dengan ketentuan yang telah ditentukan oleh Pertamina Lubricants. Keempat area produksi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Production Unit Jakarta (PUJ)
2. Production Unit Cilacap (PUC)

3. Production Unit Gresik (PUG)

4. Pertamina Lubricants Thailand

Visi dari PT Pertamina Lubricants Production Unit Gresik yaitu “Menjadi perusahaan pelumas kelas dunia”. Misi merupakan turunan dari visi yang ingin dicapai, misi yang dimiliki PT Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik adalah melaksanakan bisnis solusi pelumasan dan memasarkan pelumas serta produk terkait secara kompetitif di pasar domestik dan luar negeri untuk memperkuat portofolio bisnis guna mengoptimalkan nilai tambah bagi seluruh pemangku kepentingan.

Tata nilai perusahaan tersebut mengadopsi tata nilai Pertamina Korporat, yaitu FIVE-M (*Focus, Integrity, Visionary, Excellence, serta Mutual Respect*) dan 6-C (*Clean, Confident, Competitive Customer Focus, Commercial serta Capable*). Berikut merupakan penjelasan tata nilai yang dimiliki oleh PUG.

1. *Clean* (Bersih)

Dikelola secara profesional, menghindari benturan kepentingan, tidak menoleransi suap, menjunjung tinggi kepercayaan dan integritas, serta berpedoman pada asas-asas tata kelola korporasi yang baik.

2. *Competitive* (Kompetitif)

Mampu berkompetisi dalam skala regional maupun internasional, mendorong pertumbuhan melalui investasi, membangun budaya sadar biaya dan menghargai kinerja.

3. *Confident* (Percaya Diri)

Berperan dalam pembangunan ekonomi nasional, menjadi pelopor dalam reformasi BUMN, dan membangun kebanggaan bangsa.

4. *Customer Focused* (Fokus pada Pelanggan)

Berorientasi pada kepentingan pelanggan, dan berkomitmen untuk memberikan pelayanan terbaik kepada pelanggan.

5. *Commercial* (Komersil)

Menciptakan nilai tambah dengan orientasi komersial, mengambil keputusan berdasarkan prinsip-prinsip bisnis yang sehat.

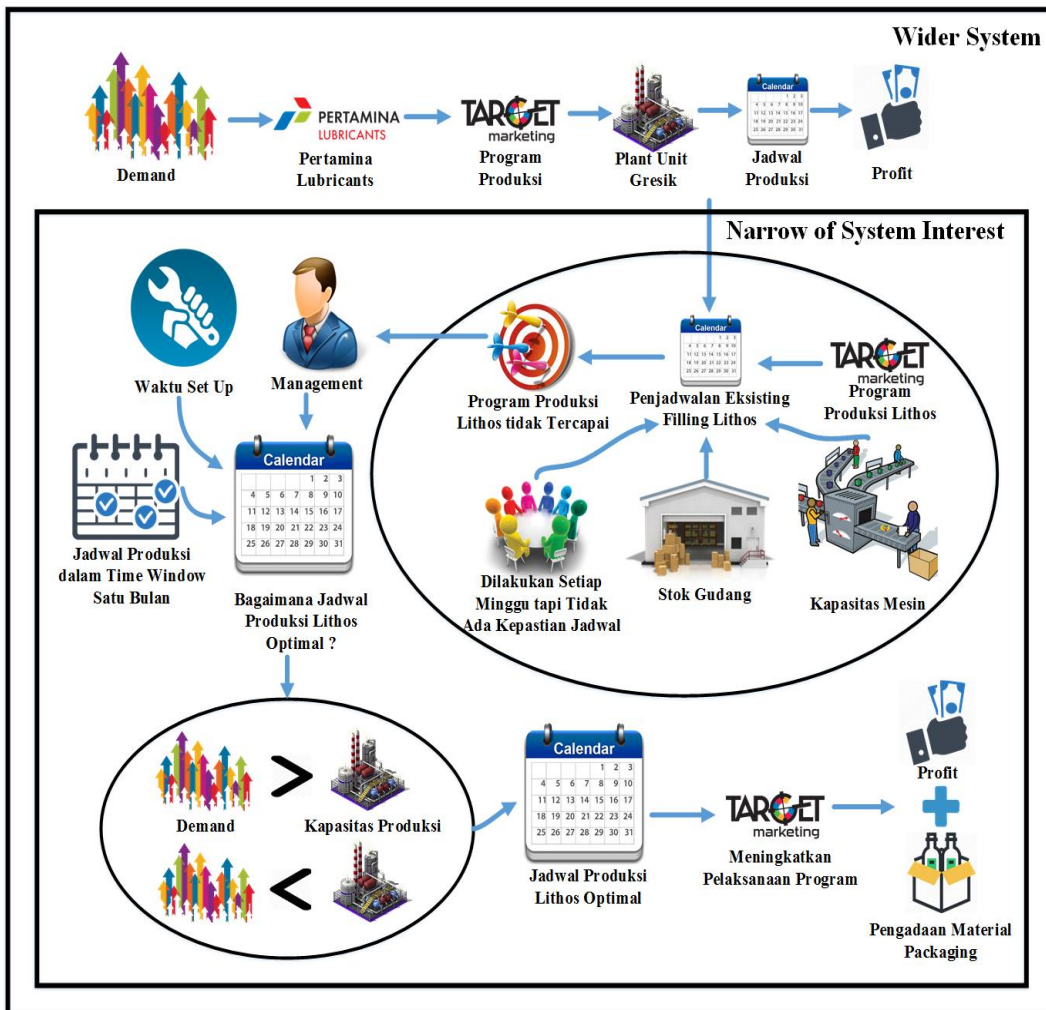
6. *Capable* (Berkemampuan)

Dikelola oleh pemimpin dan pekerja yang profesional serta memiliki talenta dan penguasaan teknis yang tinggi, berkomitmen dalam membangun kemampuan riset dan pengembangan.

Production Unit Gresik (PUG) memiliki fasilitas produksi *LOBP* dan *VM Plant* yang masing-masing memiliki kapasitas produksi sebesar 120.000 KL/tahun dan 9.000 KL/tahun. Fasilitas pendukung produksi PUG untuk tangki timbun bahan baku (*base oil* dan adiktif) memiliki kapasitas sebesar 14.000 KL tangki timbun untuk bahan baku, dan kapasitas tangki timbun produk jadi sebesar 1.800 KL. Proses produksi pada PUG sudah dijalankan dengan menggunakan teknologi *In Line Blending* (ILB) dan *Automatic Batch Blending* (ABB). Proses *blending* dan *filling* secara otomatis menghasilkan kualitas produk yang memenuhi spesifikasi dengan kualitas tinggi. Selain itu, PUG memiliki fasilitas pengisian masing-masing empat lini produksi dalam kemasan *lithos* dan drum. Setiap bahan baku yang diolah hingga menjadi produk jadi harus melewati proses *quality control* dan uji laboratorium produksi dengan tujuan untuk memastikan kualitas pelumas yang diproduksi sesuai dengan kualitas yang telah ditentukan (Pertamina, 2013).

4.2 Perancangan Model

Perancangan model yang akan digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang terjadi pada objek amatan mengacu pada sistem relevan yang telah dibuat pada sub bab sebelumnya. Perancangan model matematis dilakukan secara bertahap hingga nantinya sesuai dengan kondisi yang ada pada PT Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik. Model matematis yang digunakan merupakan persamaan *integer linear programming* dengan fungsi tujuan dan beberapa konstrain. Solusi dari model matematis yang dihasilkan diharapkan akan membantu *problem owner* dalam mengambil suatu keputusan. Berikut pada Gambar 4.1 merupakan ringkasan situasi permasalahan yang digambarkan dalam sebuah *rich picture* yang menjelaskan permasalahan pada objek amatan.



Gambar 4.1 Rich Picture Sistem Permasalahan pada PUG

Model matematis yang akan digunakan dalam menyelesaikan permasalahan penjadwalan operasi mesin *filling lithos*. Kondisi penjadwalan yang ada pada PUG memiliki beberapa kondisi yaitu apabila penjadwalan setiap produk akan memiliki waktu *setup* yang berbeda dari setiap produknya. Pihak PUG memiliki sebuah target produksi dari kemasan *lithos* sebanyak 50 produk yang harus diselesaikan dalam jangka waktu satu bulan. Pihak PUG memiliki empat fasilitas produksi mesin *filling* dengan setiap fasilitasnya akan memiliki kecepatan yang berbeda tergantung dengan produk yang akan diproduksi. Model matematis yang akan digunakan dalam menyelesaikan permasalahan penjadwalan operasi mesin *filling lithos* pada pihak PUG.

Indeks yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan adalah sebagai berikut:

- i : indeks untuk produk
- t : indeks untuk hari pelaksanaan produksi
- m : indeks untuk mesin yang akan digunakan dalam melakukan proses
- (i,j) : indeks untuk perintah pergantian produk i ke produk j
- (i,t,m) : indeks untuk perintah produksi produk i pada hari t dan proses produksi dilakukan pada mesin m
- (i,m) : indeks untuk perintah produk i yang akan diproduksi pada mesin m
- (i,j,t,m) : indeks untuk perintah pergantian dari produk i ke produk j pada hari t dan diproses pada mesin m

Notasi yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan adalah sebagai berikut:

- WP_{im} : keputusan untuk melaksanakan produksi pada produk i yang diproduksi pada hari t dan diproses dengan menggunakan mesin m
- SU_{ij} : waktu pergantian *setup* dari produk i ke produk j
- V_{im} : kecepatan produksi produk i yang diproses pada mesin m dalam satuan unit per jam
- I_{it} : *inventory* produk i pada hari t
- S_{it} : stok hasil produksi produk i pada hari t
- D_i : program produksi yang diterima oleh perusahaan untuk setiap produk i
- P_i : profit yang diterima oleh perusahaan untuk setiap produk i
- WS : waktu *setup* pada awal produksi hari pertama
- HPP_{it} : beban produksi produk i pada hari t yang merupakan data *dummy*
- JSP : tingkat prosentase *demand* produk yang mengalami kondisi *stock out* dan harus diproduksi terlebih dahulu pada hari yang telah ditentukan
- WK : waktu kerja yang tersedia dalam satu hari, ketersediaan waktu produksi yang nantinya akan dikurangi waktu *setup*

Variabel keputusan yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan adalah sebagai berikut:

- X_{im} : jumlah produk i yang diproduksi pada hari t dan diproses dengan menggunakan mesin m

Y_{im} : keputusan untuk melaksanakan produksi pada produk i yang diproduksi pada hari t dan diproses dengan menggunakan mesin m

$Y =$ bernilai 1, apabila akan dilakukan kegiatan produksi

$Y =$ bernilai 0, apabila tidak dilakukan kegiatan produksi

Z_{ijm} : keputusan untuk melakukan pergantian produk atau tetap melakukan produksi pada produk yang sama, saat produk ganti $i \neq i$ pada hari $t+1$ yang diproses dengan menggunakan mesin m

$Z =$ selalu bernilai 1, apabila terjadi perpindahan produk saat hari $t+1$

Model matematis yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan adalah sebagai berikut:

Fungsi tujuan

$$z = \max \left(\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M X_{im} * P_i - \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M X_{im} * HPP_{it} \right) \quad (4.1)$$

Konstrain

$$\sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M X_{im} < D_i, \quad \forall_i = 1, \dots, i \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^I Y_{im} \leq 1, \quad \forall_t = 1, \dots, t \quad \forall_m = 1, \dots, m \quad (4.3)$$

$$X_{im} \leq V_{im} * WP_{im}, \quad \forall_i = 1, \dots, i \quad \forall_t = 1, \dots, t \quad \forall_m = 1, \dots, m \quad (4.4)$$

$$WP_{im} = WS * Y_{im}, \quad \forall_i = 1, \dots, i \quad \forall_m = 1, \dots, m \quad \forall_t = 1 \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=1}^I Z_{ijm} * (WK - SUIJ_{ij}) = WP_{im}, \quad \forall_i = 1, \dots, i \quad \forall_m = 1, \dots, m \quad \forall_t = 2, \dots, t \quad (4.6)$$

$$\sum_{j=1}^J Z_{ijm} = Y_{im}, \quad \forall_i = 1, \dots, i \quad \forall_m = 1, \dots, m \quad \forall_t = 1, \dots, t \quad (4.7)$$

$$\sum_{i=1}^I Z_{ijt-1m} = Y_{jm}, \quad \forall_j = 1, \dots, j \quad \forall_m = 1, \dots, m \quad \forall_t = 2, \dots, t \quad (4.8)$$

$$\sum_{m=1}^M X_{im} = St_{it}, \quad \forall_i = 1, \dots, i \quad \forall_m = 1, \dots, m \quad (4.9)$$

$$I_{it} = St_{it}, \quad \forall_i = 1, \dots, i \quad \forall_t = 1 \quad (4.10)$$

$$I_{it} = St_{it} + I_{it-1}, \quad \forall_i = 1, \dots, i \quad \forall_t = 2, \dots, t \quad (4.11)$$

$$I_{it} > JSP * D_i, \quad \forall_i = 1, \dots, i \quad \forall_t = 1, \dots, t \quad (4.12)$$

$$X_{im} \in \text{integer}, \quad \forall_i = 1, \dots, i \quad \forall_m = 1, \dots, m \quad \forall_t = 1, \dots, t \quad (4.13)$$

$$Y_{im} \in \text{biner}, \quad \forall_i = 1, \dots, i \quad \forall_m = 1, \dots, m \quad \forall_t = 1, \dots, t \quad (4.14)$$

$$Z_{ijm} \in \text{biner}, \quad \forall_i = 1, \dots, i \quad \forall_j = 1, \dots, j \quad \forall_m = 1, \dots, m \quad \forall_t = 1, \dots, t \quad (4.15)$$

Review jurnal yang telah dilakukan pada Subbab 2.5, pada ketiga jurnal tersebut fungsi tujuan yang digunakan tidak sesuai dengan kondisi yang ada pada PUG. Pada jurnal Biskup, *et al.*, (2008) fungsi tujuan yang digunakan adalah untuk meminimalkan jumlah total keterlambatan yang terjadi. Pada jurnal Meyr & Mann (2013) fungsi tujuan yang akan digunakan adalah untuk meminimalkan biaya *inventory*, biaya *setup* mesin, dan biaya produksi. Sedangkan pada jurnal Zhou, *et al.*, (2016) meminimalkan *makespan* dalam menyelesaikan target yang diberikan. Ketiga fungsi tujuan yang digunakan dalam jurnal tidak sesuai dengan harapan yang diinginkan oleh *problem owner*. Pihak *problem owner* menginginkan sebuah jadwal operasi pada mesin *filling lithos* yang menentukan dalam keputusan terkait jumlah produk yang harus diproduksi dalam satuan tertentu. Jumlah produk yang akan diproduksi akan berkaitan secara langsung dengan ketersediaan waktu produksi yang telah dikurangi oleh waktu *setup* yang terjadi.

Persamaan 4.1 merupakan fungsi tujuan yang digunakan untuk membuat jadwal operasi pada mesin *filling lithos* yang optimal dari program produksi yang telah diterima. Dengan memaksimalkan keuntungan yang akan diterima oleh perusahaan. Tingkat keuntungan yang akan diterima oleh perusahaan berasal dari hasil perkalian produk yang berhasil diproduksi dalam satuan waktu tertentu dengan besarnya keuntungan yang dimiliki oleh setiap produk. Pada Persamaan 4.1 terdapat pengurangan nilai keuntungan yang diterima akibat pemberian bobot (HPP) dari setiap produk yang diproduksi. Pembobotan tersebut digunakan dengan tujuan untuk membuat solusi dari model lebih sesuai dengan. Saat fungsi tujuan hanya memaksimalkan keuntungan, solusi yang dihasilkan dari model akan menghasilkan jadwal operasi pada mesin *filling lithos* secara acak yang tidak sesuai dengan kondisi di objek amata. Tabel 4.6 akan menampilkan solusi dari model yang tidak memiliki pembobotan (HPP), terlihat bahwa solusi yang dihasilkan memilih untuk melaksanakan produksi dalam jumlah banyak pada hari terakhir mendekati *deadline* program produksi. Solusi tersebut tidak sesuai dengan yang diharapkan

oleh perusahaan. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan memberikan pembobotan pada setiap produk yang diproduksi. Bobot tersebut akan bertambah besar seiring dengan bertambahnya jumlah hari produksi, sehingga hal tersebut akan memaksa solusi yang akan dihasilkan untuk melakukan perintah produksi pada awal periode saat program produksi diterima. Tabel 4.7 menampilkan solusi dari hasil saat fungsi tujuan diberikan beban produksi, sehingga solusi yang dihasilkan sesuai dengan apa yang telah diharapkan oleh *problem owner*.

Persamaan 4.2 merupakan konstrain yang memicu adanya perintah produksi produk i yang akan diproduksi pada hari t dan dengan menggunakan mesin m agar dapat memenuhi program (*demand*) yang telah diterima oleh PUG. Persamaan 4.2 akan memaksa solusi dari keseluruhan produk yang di produksi tidak boleh melebihi program produksi yang telah diterima. Apabila Persamaan 4.2 tidak ditulis maka solusi yang dihasilkan dari model akan selalu memilih melakukan produksi pada produk yang memiliki keuntungan yang paling tinggi dan mengabaikan program produksi yang telah diterima. Persamaan 4.2 juga akan memperbolehkan adanya produk yang tidak diproduksi karena sedikit keuntungan yang akan diperoleh apabila memproduksi produk yang memiliki keuntungan paling kecil, selain itu kuantitas yang akan dihasilkan juga tidak terlalu banyak. Persamaan 4.3 merupakan perintah untuk pelaksanaan produksi, terdapat kondisi apabila variabel Y bernilai 1 maka perintah produksi akan dilaksanakan untuk setiap hari t dan dengan menggunakan mesin m , dan apabila variabel Y bernilai 0 maka tidak terjadi perintah pelaksanaan produksi pada hari t . Persamaan 4.3 ini merupakan pengembangan dari Persamaan 2.22 yang hanya memperoleh satu mesin melakukan proses pada produk, namun dalam mengatasi permasalahan yang ada pada objek amatan model tetap memperbolehkan adanya mesin yang tidak melakukan produksi apabila program produksi telah diselesaikan atau pada saat mesin mati secara tiba-tiba.

Persamaan 4.4 membahas terkait konstrain untuk kecepatan yang diproduksi yang terjadi pada setiap produk i pada mesin m , kondisi pelaksanaan perintah produksi terhadap jumlah produk yang akan diproduksi tidak boleh melebihi kapasitas dari mesin m . Persamaan 4.4 ini dikembangkan dari Persamaan 2.17 yang menunjukkan jumlah produk yang akan diproduksi dalam satu *batch*.

Pada Persamaan 4.4 jumlah produk yang diproduksi tidak diperbolehkan melebihi kapasitas dari mesin produksi dengan mempertimbangkan kecepatan proses mesin dan ketersediaan waktu produksi. Persamaan 4.5 merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan waktu produksi pada mesin produksi saat hari pertama pelaksanaan program produksi. Persamaan 4.6 merupakan persamaan yang menghitung jumlah ketersediaan waktu kerja pada saat hari kedua dan seterusnya dalam melaksanakan perintah produksi. *Input* dari Persamaan 4.6 ditentukan oleh Persamaan 4.7 dan 4.8 yang akan melakukan pengecekan terkait produk yang akan diproduksi pada hari ini apakah berbeda dengan produk yang diproduksi pada hari sebelumnya. Persamaan 2.20 merupakan dasar yang digunakan sebagai pembuatan Persamaan 4.7 dan 4.8, dikarenakan pada Persamaan 2.20 keputusan pergantian dari produk i ke produk j dapat dilakukan dalam menyelesaikan penjadwalan. Persamaan 4.7 digunakan sebagai konstrain melakukan pengecekan produk apa yang diproduksi pada hari ke- t . Persamaan 4.8 akan melakukan pengecekan terhadap produk yang akan diproduksi yang telah di produksi pada hari sebelumnya. Apabila terjadi perubahan produk i dan produk j dari hari sebelumnya, maka akan terjadi perubahan produk maka akan terjadi perubahan waktu *setup* yang akan mengurangi ketersediaan waktu produksi pada Persamaan 4.6, perubahan tersebut akan membaca nilai *input* dari waktu *setup* yang telah ditentukan.

Persamaan 4.9, 4.10, dan 4.11 merupakan persamaan yang digunakan untuk melakukan *update* dari *inventory* dari setiap produk yang telah diproduksi. Pada kondisi perusahaan produk yang telah diproduksi akan disimpan sementara dalam fasilitas gudang yang dimiliki oleh pihak PUG. Produk yang telah diproduksi pada hari t akan dijadikan sebagai variabel *dummy* stok yang dicantumkan pada Persamaan 4.9, hal tersebut dilakukan agar nantinya *dummy* stok dapat dijadikan *inventory* dalam gudang PUG. Persamaan 4.10 digunakan untuk menyatakan jumlah *inventory* pada hari pertama merupakan jumlah stok yang berhasil diproduksi pada hari pertama. *Update inventory* dinyatakan pada Persamaan 4.11 yaitu dengan dimulai saat hari kedua pelaksanaan produksi yaitu dengan cara dengan menambahkan jumlah *dummy* stok yang berhasil diproduksi pada hari tersebut yang ditambahkan dengan jumlah *inventory* pada gudang PUG saat satu hari sebelumnya.

Persamaan 4.12 digunakan untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada saat kondisi ada beberapa produk yang mengalami kehabisan stok yang ada di pasar. Kondisi tersebut mengharuskan perusahaan perusahaan untuk melakukan proses produksi terlebih dahulu pada produk yang mengalami kehabisan stok, walaupun produk tersebut memiliki tingkat keuntungan yang kecil. Persamaan 4.12 akan memaksa model menghasilkan solusi dengan mengutamakan produk yang mengalami kondisi kehabisan stok jika dibandingkan produk lain walaupun keuntungan yang dimilikinya kecil. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menentukan jenis produk yang mengalami kehabisan stok, kemudian menentukan jumlah *input* pada variabel JSP dalam satuan persentase, kemudian menentukan hari sebagai *deadline* penyelesaian perintah produksi tersebut. Tabel 4.7 dibuktikan untuk menyelesaikan permasalahan kehabisan stok pada produk 4 dan 5, apabila tidak ada Persamaan 4.12 maka produk 4 dan 5 tidak akan dilaksanakan perintah produksi dikarenakan tingkat keuntungan yang dimilikinya rendah. Model akan hanya melakukan perintah produksi pada produk yang memiliki keuntungan paling tinggi, namun dengan adanya Persamaan 4.12 model juga akan memaksa menghasilkan solusi untuk melaksanakan perintah produksi pada produk yang memiliki tingkat keuntungan kecil.

Persamaan 4.13 merupakan persamaan yang menyatakan bahwa variabel X sebagai bilangan *integer*. Persamaan 4.14 dan 4.15 merupakan persamaan yang menyatakan bahwa variabel keputusan Y dan Z sebagai bilangan *biner*. Persamaan 4.7 menyatakan nilai dari variabel Z akan sama dengan nilai dari variabel Y . Variabel keputusan yang ada pada model akan menghasilkan solusi biner terkait keputusan melakukan pelaksanaan produksi, keputusan terkait pergantian produk. Selain itu variabel keputusan yang ada pada model juga memiliki variabel keputusan terkait berapa jumlah produk (pelumas *lithos* dalam satuan kardus) yang akan diproduksi oleh pihak PUG yang merupakan variabel *integer*. Karakteristik dari situasi permasalahan mesin dapat melakukan aktivitas produksi (akan bernilai 1) ataupun tidak melakukan aktivitas produksi (akan bernilai 0) yang dijelaskan variabel keputusan yang digunakan adalah bilangan *biner*. Karakteristik produk pelumas merupakan produk yang dijual dalam satuan bilangan bulat (*integer*). Karakteristik dari program produksi yang diterima oleh PUG yang merupakan

variabel *input* dari model memiliki nilai pasti (deterministik), bukan sebuah kemungkinan (stokastik). Studi literatur yang telah dilakukan pada subbab 2.5 menyatakan bahwa masalah penjadwalan pada mesin paralel dapat diselesaikan dengan menggunakan metode *integer linier programming*, heuristik, dan metaheuristik. Oleh karena itu permasalahan penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* di PUG dapat diselesaikan dengan menggunakan metode *integer linier programming*.

Persamaan yang telah dibuat akan diubah ke dalam sebuah kode optimasi *software*. Persamaan kode optimasi tersebut akan dilampirkan pada Lampiran A. Kode optimasi tersebut nantinya diharapkan mampu menyelesaikan permasalahan pada penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* yang dihadapi oleh pihak PUG. Solusi yang telah dihasilkan diharapkan mampu digunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam menentukan keputusan penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* untuk melaksanakan program produksi yang telah ditentukan oleh Pertamina Lubricants.

4.3 Validasi dan Verifikasi

Validasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan menganggap sistem sebagai sesuatu *black box* yang dilakukan hanya dengan mengamati eksekusi melalui data uji dan memeriksa fungsional dari *software*, yaitu dengan hanya *input* dan *output* dari sistem. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan solusi model dalam melakukan penyelesaian program produksi dengan dua skenario yaitu skenario saat program produksi memiliki *demand* lebih besar dari pada kapasitas produksi dan skenario saat program produksi memiliki *demand* yang lebih kecil dari pada kapasitas produksi. Apabila jumlah kapasitas produksi memiliki nilai yang lebih rendah dari *demand*, maka program produksi tidak dapat terlaksana secara keseluruhan. Apabila jumlah *demand* memiliki nilai yang lebih rendah maka semua *demand* dapat diproduksi, namun untuk urutan dari produksi akan sesuai dengan tingkat keuntungan yang diberikan dari setiap produk. Model akan lebih memilih melakukan produksi pada jenis produk dengan tingkat keuntungan yang paling tinggi. Tahapan lain yang digunakan dalam validasi adalah dengan melakukan klarifikasi dengan *problem owner* agar model yang telah dibuat sesuai

dengan harapan. Tabel 4.1 akan menampilkan perbandingan solusi model terhadap skenario dari parameter *demand*. Apabila kapasitas produksi lebih besar maka produk dapat diproduksi semua.

Tabel 4.1 Perbandingan Solusi Model terhadap *Demand*

Jenis Produk	Profit	Skenario			
		<i>Demand</i> < Kapasitas		<i>Demand</i> > Kapasitas	
		<i>Demand</i>	Solusi Model	<i>Demand</i>	Solusi Model
Produk 1	2000	3500	3500	10000	10000
Produk 2	1500	3500	3500	10000	10000
Produk 3	2500	3500	3500	10000	6600
Produk 4	2000	3500	3500	10000	3080
Produk 5	1500	3500	3500	10000	3080
Produk 6	2500	3500	3500	10000	9680
Produk 7	3000	3500	3500	10000	10000
Produk 8	2500	3500	3500	10000	10000
Produk 9	2000	3500	3500	10000	2400
Produk 10	8000	3500	3500	10000	10000

Berdasarkan validasi yang telah dilakukan pada tahapan sebelumnya, maka model yang dibuat telah dapat dikatakan telah valid. Dari solusi model telah dihasilkan berdasarkan Tabel 4.1 bahwa model yang telah dibuat sesuai dengan logika pada model konseptual yang terdapat hubungan antara program produksi dengan kapasitas produksi yang dimiliki oleh perusahaan. Sehingga model tersebut dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada pada objek amatan.

Tabel 4.2 merupakan *input* terkait data program produksi dan profit yang digunakan sebagai pemicu adanya perintah produksi. Tabel 4.3 merupakan *input* data terkait kecepatan proses produk pada mesin. Tabel 4.4 merupakan *input* waktu *setup* yang dilakukan untuk mempersiapkan mesin agar siap digunakan dalam melakukan kegiatan produksi. Tabel 4.5 merupakan *input* bobot yang dibebankan pada setiap pelaksanaan produksi dilakukan pada awal waktu. *Input* tersebut akan diselesaikan dengan menggunakan model, sehingga akan menghasilkan solusi jadwal operasi pada mesin *filling lithos* terkait urutan dan jumlah produk yang akan diproduksi selama hari tertentu untuk menyelesaikan program produksi yang telah diterima oleh pihak PUG, sehingga dapat memberikan keuntungan yang maksimal bagi PT Pertamina Lubricants.

Tabel 4.2 *Input* Keuntungan Produk

Jenis Produk	Profit	Jenis Produk	Profit
Produk 1	2000	Produk 6	10000
Produk 2	1500	Produk 7	10000
Produk 3	2500	Produk 8	10000
Produk 4	2000	Produk 9	10000
Produk 5	1500	Produk 10	10000

Tabel 4.3 *Input* Kecepatan Proses Produk

	Mesin 1	Mesin 2	Mesin 3	Mesin 4
Produk 1	0	0	0	250
Produk 2	0	0	0	250
Produk 3	0	0	220	0
Produk 4	0	0	220	0
Produk 5	0	0	220	0
Produk 6	0	0	220	0
Produk 7	0	250	0	0
Produk 8	0	250	0	0
Produk 9	160	0	0	0
Produk 10	125	0	0	0

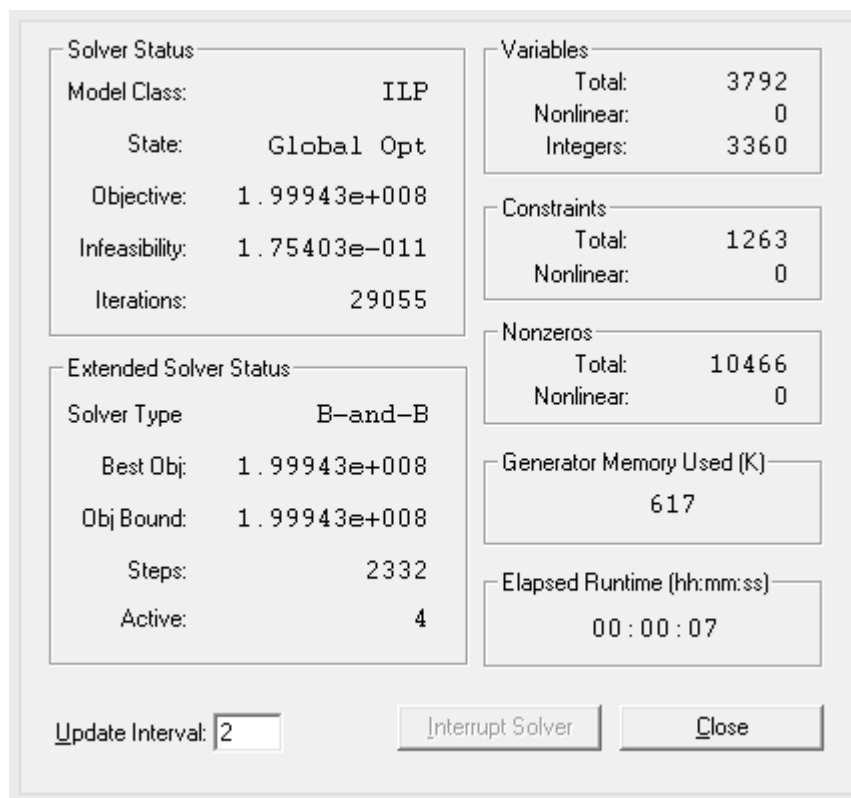
Tabel 4.4 *Input* Waktu *Setup* Proses

	Pro 1	Pro 2	Pro 3	Pro 4	Pro 5	Pro 6	Pro 7	Pro 8	Pro 9	Pro 10
Pro 1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pro 2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Pro 3	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
Pro 4	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
Pro 5	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
Pro 6	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
Pro 7	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2
Pro 8	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
Pro 9	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
Pro 10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1

Tabel 4.5 *Input* Bobot Produksi Setiap Produk

	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Hari 6	Hari 7
Produk 1	200	225	250	275	300	325	350
Produk 2	150	175	200	225	250	275	300
Produk 3	250	275	300	325	350	375	400
Produk 4	200	225	250	275	300	325	350
Produk 5	200	225	250	275	300	325	350
Produk 6	250	250	250	250	250	250	250
Produk 7	300	325	350	375	400	425	450
Produk 8	250	275	300	325	350	375	400
Produk 9	200	225	250	275	300	325	350
Produk 10	800	825	850	875	900	925	950

Solusi dari pengujian data numerik ditampilkan pada Tabel 4.6 merupakan jadwal operasi pada mesin *filling lithos* yang menghasilkan keuntungan maksimal. Hasil penjadwalan yang dipilih akan mengutamakan produk dengan keuntungan yang paling tinggi, sehingga keputusan yang akan dihasilkan merupakan keputusan terbaik yang dilakukan. Solusi yang dihasilkan dari model akan memilih memaksimalkan jumlah produk yang diproduksi dengan tingkat keuntungan tinggi. Solusi yang ditemukan pada *software* dalam status “*global optimum*”, sehingga tidak ada solusi lain yang tersedia. Saat solusi global optimum ditemukan, maka tidak ada konstrain yang dilanggar dalam menyelesaikan permasalahan. Perhitungan manual dilakukan untuk memastikan apakah perhitungan yang *software* dilakukan dengan benar. Hasil perhitungan terhadap keuntungan yang diperoleh menggunakan perhitungan manual dan *software* menghasilkan angka yang sama yaitu sebesar Rp 199.943.000. Pada Gambar 4.1 terdapat perbedaan hasil *objective* pada *software* dikarenakan keuntungan yang diterima telah dikurangi bobot pelaksanaan produksi dari produk.



Gambar 4. 2 Status Solusi Model Data Numerik

Verifikasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan cara melakukan pengecekan pada model matematis pada kode model optimasi *software*. Kode optimasi yang telah dibuat apakah sudah sesuai dengan model matematis yang diharapkan. Pengecekan tersebut dilakukan dengan cara memeriksa fungsi tujuan dan setiap batasan yang akan digunakan dalam menyelesaikan permasalahan pada objek amatan. Gambar 4.2 merupakan tahapan verifikasi pada model optimasi *software* menjadi persamaan matematis. Selain itu verifikasi juga dapat dilakukan dengan mengecek model tersebut dapat dilakukan *debug* hingga memunculkan dari status “*unknown*” menjadi “*feasible*”, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3. Pengujian model digunakan dengan menggunakan data *dummy* untuk memastikan model yang telah dibuat telah terverifikasi, sehingga model dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada objek amatan.

MODEL:

```
[ 1] MAX= UNTUNG - BOBOT ;
[ 2] UNTUNG - 2000 * X_1_1_1 - 2000 * X_1_1_2 - 2000 * X_1_1_3 - 2000 *
X_1_1_4 - 2000 * X_1_2_1 - 2000 * X_1_2_2 - 2000 * X_1_2_3 - 2000 *
X_1_2_4 - 2000 * X_1_3_1 - 2000 * X_1_3_2 - 2000 * X_1_3_3 - 2000 *
X_1_3_4 - 2000 * X_1_4_1 - 2000 * X_1_4_2 - 2000 * X_1_4_3 - 2000 *
X_1_4_4 - 2000 * X_1_5_1 - 2000 * X_1_5_2 - 2000 * X_1_5_3 - 2000 *
X_1_5_4 - 2000 * X_1_6_1 - 2000 * X_1_6_2 - 2000 * X_1_6_3 - 2000 *
X_1_6_4 - 2000 * X_1_7_1 - 2000 * X_1_7_2 - 2000 * X_1_7_3 - 2000 *
X_1_7_4 - 1500 * X_2_1_1 - 1500 * X_2_1_2 - 1500 * X_2_1_3 - 1500 *
X_2_1_4 - 1500 * X_2_2_1 - 1500 * X_2_2_2 - 1500 * X_2_2_3 - 1500 *
X_2_2_4 - 1500 * X_2_3_1 - 1500 * X_2_3_2 - 1500 * X_2_3_3 - 1500 *
X_2_3_4 - 1500 * X_2_4_1 - 1500 * X_2_4_2 - 1500 * X_2_4_3 - 1500 *
X_2_4_4 - 1500 * X_2_5_1 - 1500 * X_2_5_2 - 1500 * X_2_5_3 - 1500 *
X_2_5_4 - 1500 * X_2_6_1 - 1500 * X_2_6_2 - 1500 * X_2_6_3 - 1500 *
X_2_6_4 - 1500 * X_2_7_1 - 1500 * X_2_7_2 - 1500 * X_2_7_3 - 1500 *
X_2_7_4 - 2500 * X_3_1_1 - 2500 * X_3_1_2 - 2500 * X_3_1_3 - 2500 *
X_3_1_4 - 2500 * X_3_2_1 - 2500 * X_3_2_2 - 2500 * X_3_2_3 - 2500 *
X_3_2_4 - 2500 * X_3_3_1 - 2500 * X_3_3_2 - 2500 * X_3_3_3 - 2500 *
X_3_3_4 - 2500 * X_3_4_1 - 2500 * X_3_4_2 - 2500 * X_3_4_3 - 2500 *
X_3_4_4 - 2500 * X_3_5_1 - 2500 * X_3_5_2 - 2500 * X_3_5_3 - 2500 *
X_3_5_4 - 2500 * X_3_6_1 - 2500 * X_3_6_2 - 2500 * X_3_6_3 - 2500 *
X_3_6_4 - 2500 * X_3_7_1 - 2500 * X_3_7_2 - 2500 * X_3_7_3 - 2500 *
X_3_7_4 - 2000 * X_4_1_1 - 2000 * X_4_1_2 - 2000 * X_4_1_3 - 2000 *
```

Solver Status: Model Class: IILP, State: Unknown, Objective: 0, Infeasibility: 0, Iterations: 0. Variables: Total: 3792, Nonlinear: 0, Integers: 3360. Constraints: Total: 1261, Nonlinear: 0. Nonzeros: Total: 10464, Nonlinear: 0. Generator Memory Used (K): 613. Elapsed Runtime (hh:mm:ss): 00:00:01.

Gambar 4.3 Persamaan Matematis dari Kode *Software* Optimasi

Error Code: 123

Error Text: Models must be either infeasible or unbounded to be debugged.

```
sets:
produ
hari/
mesin
Link1
Link2
Link3
Link4
Link5
endset

data:
Demar
Prof1
Kecep
HPP=@ole('E:\Bismillah TA Lancar\model setelah seminar\Coba.xlsx','HPP');
SUIJ=@ole('E:\Bismillah TA Lancar\model setelah seminar\Coba.xlsx','SetUpIJ');
@ole('E:\Bismillah TA Lancar\model setelah seminar\Coba.xlsx','Jadwal')=X;
@ole('E:\Bismillah TA Lancar\model setelah seminar\Coba.xlsx','Stok')=Stok;
@ole('E:\Bismillah TA Lancar\model setelah seminar\Coba.xlsx','Inventory')=Inventory;

enddata

max = untung-bobot;

untung = @sum(Link3(1,t,m):X(1,t,m)*Profit(1));
bobot = @sum(Link3(1,t,m):X(1,t,m)*hpp(1,t));
```

Solver Status: Model Class: IILP, State: Global Opt, Objective: 2.03353e+008, Infeasibility: 7.45342e-009, Iterations: 29693. Variables: Total: 3792, Nonlinear: 0, Integers: 3360. Constraints: Total: 1261, Nonlinear: 0. Nonzeros: Total: 10464, Nonlinear: 0. Generator Memory Used (K): 616. Elapsed Runtime (hh:mm:ss): 00:00:13.

Gambar 4.4 Hasil *Debug* dari Kode *Software* Optimasi

Tabel 4.6 Solusi Model dengan Menggunakan Fungsi Tujuan yang tidak Disertai Beban HPP dan Persamaan tentang *Stock Out* Produk

	Hari 1				Hari 2				Hari 3				Hari 4				Hari 5				Hari 6				Hari 7				Realisasi	Demand
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4		
Prod 1	0	0	0	2750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3500	0	0	0	3750	10000	10000
Prod 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3500	0	0	0	2750	0	0	0	3750	0	0	0	0	0	0	0	0	10000	10000
Prod 3	0	0	3300	0	0	0	3300	0	0	0	0	3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9900	10000
Prod 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3080	10000
Prod 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000
Prod 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3080	0	0	0	0	3300	0	0	0	3300	9680	10000
Prod 7	0	3750	0	0	0	0	0	0	0	3500	0	0	0	2750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000	10000
Prod 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3500	0	0	0	3750	0	0	2750	0	0	10000	10000	
Prod 9	2400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2400	10000
Prod 10	0	0	0	0	1750	0	0	0	1875	0	0	0	1875	0	0	0	1875	0	0	0	1875	0	0	0	750	0	0	0	10000	10000

Tabel 4.7 Solusi Model dengan Menggunakan Fungsi Tujuan yang tidak Disertai Beban HPP dan Persamaan tentang *Stock Out* Produk

	Hari 1				Hari 2				Hari 3				Hari 4				Hari 5				Hari 6				Hari 7				Realisasi	Demand
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4		
Prod 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3500	0	0	0	3750	0	0	0	2750	0	0	0	0	0	0	0	0	10000	10000
Prod 2	0	0	0	3750	0	0	0	3750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2500	0	0	0	0	10000	10000
Prod 3	0	0	3300	0	0	0	3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6600	10000
Prod 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3080	10000
Prod 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3080	10000
Prod 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3080	0	0	0	0	3300	0	0	0	3300	9680	10000
Prod 7	0	3750	0	0	0	3750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2500	0	0	0	0	0	0	10000	10000
Prod 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3500	0	0	0	3750	0	0	0	2750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000	10000
Prod 9	2400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2400	10000
Prod 10	0	0	0	0	1750	0	0	0	1875	0	0	0	1875	0	0	0	1875	0	0	0	1875	0	0	0	750	0	0	0	10000	10000

BAB 5

UJI COBA DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dibahas terkait pengujian model yang telah dibuat pada bab sebelumnya. Analisis terhadap hasil *running* dengan data numerik dilakukan untuk menunjukkan penggunaan model pada kasus yang pada objek amatan.

5.1 Implementasi Model

Pada subbab ini akan dilakukan pengumpulan data yang digunakan sebagai *input* dalam model yang telah dibuat dan implementasi model untuk membuat jadwal operasi pada mesin *filling lithos* berdasarkan data yang telah dikumpulkan.

5.1.1 Input Data

Pengumpulan data dilakukan dari data historis yang didapatkan selama periode 3 bulan untuk mengetahui pola penjadwalan yang dimiliki oleh PUG. Data tersebut akan digunakan sebagai parameter dalam model. Periode pengumpulan data tersebut dimulai pada bulan Januari 2017 hingga Maret 2017. Data yang dikumpulkan nantinya akan digunakan sebagai *input* dari model yang telah dibuat. Data tersebut akan ditampilkan pada subbab berikut ini.

5.2.1.1 Jenis Produk dan Tingkat Keuntungan

PT Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik memiliki program produksi yang diberikan oleh PT Pertamina Lubricants yang harus diselesaikan dalam jangka waktu satu bulan. Pihak PUG memproduksi produk dengan berbagai macam ukuran, dan nantinya akan dikemas dalam kemasan kardus. Data produk yang diproduksi dan tingkat keuntungan dari setiap produk akan digunakan sebagai parameter dalam model. Keuntungan dari setiap produk diasumsikan sebesar 10% dari harga jual produk yang ada di pasar. Tabel 5.1 berikut ini akan menampilkan produk yang diproduksi oleh PUG dengan tingkat keuntungan yang diberikan oleh setiap produk.

Tabel 5.1 Tingkat Keuntungan Produk

Jenis produk	Harga produk	Keuntungan Produk	Keuntungan dengan skala 1:100
<i>Lithos 1 10 L</i>	507000	50700	507
<i>Lithos 2 10 L</i>	548000	54800	548
<i>Lithos 3 10 L</i>	696800	69700	697
<i>Lithos 4 10 L</i>	484000	48400	484
<i>Lithos 1 5 L</i>	512000	52000	520
<i>Lithos 2 5 L</i>	556000	55600	556
<i>Lithos 4 5 L</i>	487000	52700	527
<i>Lithos 5 5 L</i>	538000	53800	538
<i>Lithos 6 5 L</i>	524000	52400	524
<i>Lithos 7 5 L</i>	600000	60000	600
<i>Lithos 8 5 L</i>	597000	59700	597
<i>Lithos 9 4 L</i>	664000	66400	664
<i>Lithos 10 4 L</i>	2070000	207000	2070
<i>Lithos 11 4 L</i>	2496000	249600	2496
<i>Lithos 12 4 L</i>	1530000	153000	1530
<i>Lithos 13 4 L</i>	1356000	135600	1356
<i>Lithos 14 4 L</i>	1200000	120000	1200
<i>Lithos 3 4 L</i>	863000	86300	863
<i>Lithos 15 4 L</i>	528000	52800	528
<i>Lithos 4 4 L</i>	600000	60000	600
<i>Lithos 16 4 L</i>	605000	60500	605
<i>Lithos 17 4 L</i>	994000	99400	994
<i>Lithos 18 4 L</i>	760000	76000	760
<i>Lithos 5 4 L</i>	680000	68000	680
<i>Lithos 6 4 L</i>	644000	64400	644
<i>Lithos 7 4 L</i>	738000	73800	738
<i>Lithos 8 4 L</i>	735000	73500	735
<i>Lithos 19 1 L</i>	640000	64000	640
<i>Lithos 9 1 L</i>	880000	88000	880
<i>Lithos 12 1 L</i>	1280000	128000	1280
<i>Lithos 13 1 L</i>	960000	96000	960
<i>Lithos 14 1 L</i>	1020000	102000	1020
<i>Lithos 1 1 L</i>	562000	56200	562
<i>Lithos 2 1 L</i>	616000	61600	616
<i>Lithos 3 1 L</i>	776000	77600	776
<i>Lithos 4 1 L</i>	533000	53300	533
<i>Lithos 20 1 L</i>	504000	50400	504
<i>Lithos 21 1 L</i>	560000	56000	560
<i>Lithos 22 1 L</i>	800000	80000	800
<i>Lithos 17 1 L</i>	880000	88000	880
<i>Lithos 18 1 L</i>	672000	67200	672
<i>Lithos 23 1 L</i>	233000	21500	215
<i>Lithos 24 1 L</i>	180000	18000	180
<i>Lithos 25 1 L</i>	216000	21600	216
<i>Lithos 11 1 L</i>	1200000	120000	1200
<i>Lithos 19 0,8 L</i>	692000	69200	692
<i>Lithos 16 0,8 L</i>	586000	58600	586
<i>Lithos 26 0,8 L</i>	480000	48000	480
<i>Lithos 24 0,8 L</i>	220000	22000	220
<i>Lithos 25 0,8 L</i>	225000	22500	225

5.2.1.2 Kecepatan dan Beban Produksi pada Setiap Produk

PT Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik memiliki fasilitas mesin *filling lithos* sebanyak empat lini produksi. Pada setiap lini produksi memiliki kecepatan dalam melakukan proses untuk setiap produk, dan untuk setiap lini produksi juga memiliki batasan hanya bisa memproduksi produk tertentu. Tabel 5.2 berikut ini akan menampilkan kecepatan yang dimiliki oleh setiap produk dalam melakukan proses produksi pada setiap lininya.

Tabel 5.2 Jenis Produk dan Kecepatan Proses

Jenis Produk	Kecepatan (kartus/jam)			
	Mesin 1	Mesin 2	Mesin 3	Mesin 4
<i>Lithos 1 10 L</i>	0	0	0	250
<i>Lithos 2 10 L</i>	0	0	0	250
<i>Lithos 3 10 L</i>	0	0	0	250
<i>Lithos 4 10 L</i>	0	0	0	250
<i>Lithos 1 5 L</i>	0	0	0	220
<i>Lithos 2 5 L</i>	0	0	0	220
<i>Lithos 4 5 L</i>	0	0	0	220
<i>Lithos 5 5 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 6 5 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 7 5 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 8 5 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 9 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 10 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 11 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 12 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 13 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 14 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 3 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 15 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 4 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 16 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 17 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 18 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 5 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 6 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 7 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 8 4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 19 1 L</i>	160	0	0	0
<i>Lithos 9 1 L</i>	0	160	0	0
<i>Lithos 12 1 L</i>	0	160	0	0
<i>Lithos 13 1 L</i>	0	160	0	0
<i>Lithos 14 1 L</i>	0	160	0	0
<i>Lithos 1 1 L</i>	160	0	0	0
<i>Lithos 2 1 L</i>	160	0	0	0
<i>Lithos 3 1 L</i>	160	0	0	0
<i>Lithos 4 1 L</i>	160	0	0	0
<i>Lithos 20 1 L</i>	160	0	0	0

Tabel 5.2 Jenis Produk dan Kecepatan Proses (Lanjutan)

Jenis Produk	Kecepatan (kardus/jam)			
	Mesin 1	Mesin 2	Mesin 3	Mesin 4
<i>Lithos 21 1 L</i>	160	0	0	0
<i>Lithos 22 1 L</i>	160	0	0	0
<i>Lithos 17 1 L</i>	160	0	0	0
<i>Lithos 18 1 L</i>	160	0	0	0
<i>Lithos 23 1 L</i>	250	0	0	0
<i>Lithos 24 1 L</i>	0	250	0	0
<i>Lithos 25 1 L</i>	0	250	0	0
<i>Lithos 11 1 L</i>	0	250	0	0
<i>Lithos 19 0,8 L</i>	0	125	0	0
<i>Lithos 16 0,8 L</i>	0	125	0	0
<i>Lithos 26 0,8 L</i>	0	125	0	0
<i>Lithos 24 0,8 L</i>	0	250	0	0
<i>Lithos 25 0,8 L</i>	0	250	0	0

Tabel 5.3 berikut ini akan menampilkan bobot produksi dari setiap produk beberapa harinya, terdapat kondisi dalam setiap penambahan hari maka akan semakin besar beban biaya yang akan ditanggung. Nilai harga pokok produksi ini diasumsikan pembulatan ke bawah dari 10% keuntungan yang diterima oleh setiap produknya untuk pelaksanaan hari pertama. Data yang lengkap terkait harga pokok produksi dari setiap produk untuk 30 hari akan ditampilkan pada Lampiran B. Hal tersebut digunakan sebagai data *dummy* agar jumlah produk yang dapat menghasilkan penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* sesuai dengan kondisi yang diharapkan oleh perusahaan, sehingga akan memaksa solusi model untuk memproduksi produk dalam jumlah yang banyak pada awal periode program produksi.

Tabel 5.3 Beban Pokok Produksi dengan Skala 1:100

Jenis Produk	Beban biaya harga pokok produksi dengan skala 1:100					
	Hari 1	Hari 2	...	Hari 28	Hari 29	Hari 30
<i>Lithos 1 10 L</i>	5	10	...	140	145	150
<i>Lithos 2 10 L</i>	5	10	...	140	145	150
<i>Lithos 3 10 L</i>	6	12	...	168	174	180
<i>Lithos 4 10 L</i>	4	8	...	112	116	120
...
<i>Lithos 19 0,8 L</i>	6	12	...	168	174	180
<i>Lithos 1 10 L</i>	5	10	...	140	145	150
...
<i>Lithos 16 0,8 L</i>	5	10	...	140	145	150
<i>Lithos 26 0,8 L</i>	4	8	...	112	116	120
<i>Lithos 24 0,8 L</i>	2	4	...	56	58	60
<i>Lithos 25 0,8 L</i>	2	4	...	56	58	60

5.2.1.3 Waktu Setup dari Setiap Produk

Pelaksanaan setiap produksi memiliki waktu *setup* yang berbeda antara setiap produknya tergantung dari produk yang akan diproduksi. Waktu *setup* yang diterapkan dalam pelaksanaan produksi terdiri dari waktu *setup* dari produk yang terbagi menjadi pergantian produk dengan ukuran yang sama namun merek dagang berbeda, produk dengan merek dagang sama namun ukurannya berbeda, dan produk dengan merek dagang dan ukurannya yang berbeda. Terdapat jenis waktu *setup* pada produk dengan merek dagang dan ukuran yang sama. Tabel 5.4 berikut ini akan menampilkan data waktu *setup* yang dimiliki oleh setiap produk terhadap produk lainnya. Data yang lengkap terkait waktu *setup* dari semua produk akan ditampilkan pada Lampiran C.

Tabel 5.4 Waktu *Setup* Pergantian Produk

Jenis Produk	<i>Lithos</i> 1 10 L	<i>Lithos</i> 2 10 L	...	<i>Lithos</i> 24 0,8 L	<i>Lithos</i> 25 0,8 L
<i>Lithos</i> 1 10 L	1,5	3	...	4	4
<i>Lithos</i> 2 10 L	3	1,5	...	4	4
<i>Lithos</i> 3 10 L	3	3	...	4	4
<i>Lithos</i> 4 10 L	3	3	...	4	4
<i>Lithos</i> 1 5 L	3,5	3,5	...	4	4
...
<i>Lithos</i> 19 0,8 L	4	4	...	3	3
<i>Lithos</i> 16 0,8 L	4	4	...	3	3
<i>Lithos</i> 26 0,8 L	4	4	...	3	3
<i>Lithos</i> 24 0,8 L	4	4	...	1,5	3
<i>Lithos</i> 25 0,8 L	4	4	...	3	1,5

5.1.2 Solusi Model

Pada subbab ini akan dilakukan pembuatan jadwal operasi pada mesin *filling lithos* dari program yang telah diterima oleh pihak PUG. Program tersebut akan diselesaikan dalam jangka waktu satu bulan. Jadwal yang dihasilkan akan mengutamakan memproduksi produk dengan tingkat keuntungan yang paling besar, sehingga nantinya terdapat urutan dari produk yang akan diproduksi. Tabel 5.5 merupakan solusi dari model dalam menyelesaikan program produksi yang diterima oleh PUG pada bulan Maret 2017 yang telah berjalan selama 22 hari kerja.

Tabel 5.5 Perbandingan Solusi Model dengan Realisasi terhadap Pelaksanaan Program Produksi Selama 22 Hari

Jenis Produk	Program (P)	Realisasi (R)	P-R	Solusi Model (S)	P-S
<i>Lithos 1 10 L</i>	30000	22898	7102	28625	1375
<i>Lithos 2 10 L</i>	10730	3849	6881	10730	0
<i>Lithos 3 10 L</i>	12820	8299	4521	12820	0
<i>Lithos 4 10 L</i>	3700	1542	2158	3250	450
<i>Lithos 1 5 L</i>	29860	21800	8060	18700	11160
<i>Lithos 2 5 L</i>	9630	0	9630	0	9630
<i>Lithos 4 5 L</i>	8380	2977	5403	0	8380
<i>Lithos 5 5 L</i>	2490	0	2490	2490	0
<i>Lithos 6 5 L</i>	4070	4346	+276	4070	0
<i>Lithos 7 5 L</i>	2220	1631	589	2220	0
<i>Lithos 8 5 L</i>	670	1630	+960	0	670
<i>Lithos 9 4 L</i>	200	0	200	0	200
<i>Lithos 10 4 L</i>	200	0	200	0	200
<i>Lithos 11 4 L</i>	200	0	200	0	200
<i>Lithos 12 4 L</i>	200	0	200	0	200
<i>Lithos 13 4 L</i>	1100	0	1100	1100	0
<i>Lithos 14 4 L</i>	700	0	700	0	700
<i>Lithos 3 4 L</i>	3880	4160	+280	3080	800
<i>Lithos 15 4 L</i>	4390	4574	+184	2750	1640
<i>Lithos 4 4 L</i>	3080	3276	+196	2750	330
<i>Lithos 16 4 L</i>	11040	11551	+511	11040	0
<i>Lithos 17 4 L</i>	1670	0	1670	1670	0
<i>Lithos 18 4 L</i>	18460	17833	627	18460	0
<i>Lithos 5 4 L</i>	1070	846	224	0	1070
<i>Lithos 6 4 L</i>	2190	1396	794	2190	0
<i>Lithos 7 4 L</i>	2460	2079	381	2460	0
<i>Lithos 8 4 L</i>	1530	0	1530	1530	0
<i>Lithos 19 1 L</i>	1540	1275	265	1540	0
<i>Lithos 9 1 L</i>	230	0	230	0	230
<i>Lithos 12 1 L</i>	200	0	200	0	200
<i>Lithos 13 1 L</i>	5050	2433	2617	5050	0
<i>Lithos 14 1 L</i>	250	0	250	250	0
<i>Lithos 1 1 L</i>	8440	1597	6843	8440	0
<i>Lithos 2 1 L</i>	1020	1043	+23	0	1020
<i>Lithos 3 1 L</i>	1160	1079	81	1160	0
<i>Lithos 4 1 L</i>	5160	0	5160	4560	600
<i>Lithos 20 1 L</i>	1040	992	48	0	1040
<i>Lithos 21 1 L</i>	23170	4629	18541	22960	210
<i>Lithos 22 1 L</i>	350	0	350	0	350
<i>Lithos 17 1 L</i>	1800	2085	+285	1800	0
<i>Lithos 18 1 L</i>	4390	2280	2110	4390	0
<i>Lithos 23 1 L</i>	30000	25466	4534	3250	26750
<i>Lithos 24 1 L</i>	700	0	700	0	700
<i>Lithos 25 1 L</i>	2080	1519	561	2080	0
<i>Lithos 11 1 L</i>	0	0	0	0	0
<i>Lithos 19 0,8 L</i>	500	0	500	500	0
<i>Lithos 16 0,8 L</i>	13700	10792	2908	13700	0
<i>Lithos 26 0,8 L</i>	5280	3093	2187	5249	31
<i>Lithos 24 0,8 L</i>	11860	7317	4543	10500	1360
<i>Lithos 25 0,8 L</i>	8230	8287	+57	6875	1355

Terdapat perbedaan jumlah produk yang diproduksi dari penjadwalan yang telah dilakukan dan solusi dari model yang telah dilakukan pada 22 hari kerja seperti yang telah ditampilkan pada Tabel 5.5. Jumlah keuntungan yang dihasilkan apabila menggunakan metode penjadwalan yang telah diterapkan adalah sebesar Rp 9.797.847.000 sedangkan solusi penjadwalan yang dihasilkan dari model memiliki tingkat keuntungan sebesar Rp 12.685.339.000. Terdapat perbedaan selisih keuntungan yang diterima sebesar Rp 2.887.492.000 dari jadwal operasi pada mesin *filling lithos* yang telah dibuat apabila dibandingkan dengan solusi yang telah dihasilkan dari model. Perbedaan tersebut terjadi karena urutan terkait produk yang akan diproduksi terlebih dahulu. Solusi penjadwalan dari model yang telah dibuat akan ditampilkan dalam sebuah jadwal operasi pada mesin *filling lithos* selama 30 hari. Solusi model yang menghasilkan jadwal operasi pada mesin *filling lithos* untuk menyelesaikan program produksi bulan Maret 2017 akan ditampilkan pada Lampiran D. Jadwal tersebut dihasilkan dari solusi terbaik yang telah disimpan dalam model yang dilakukan jumlah iterasi sebanyak 40 juta iterasi yang dilakukan dalam waktu selama 17 jam 28 menit 51 detik. Pada solusi yang dihasilkan memiliki status *local optimum*, sehingga apabila dilakukan *running* model kembali maka dapat menghasilkan solusi yang lain.

5.2 Analisis Model

Pada subbab ini akan dibahas terkait analisa terhadap model yang telah dibuat. Terdapat beberapa analisa yang akan dilakukan yaitu analisis waktu iterasi terhadap solusi dari model, analisis sensitivitas, dan analisis perubahan kondisi pada objek amatan.

5.2.1 Pengaruh Jumlah Iterasi terhadap Solusi Model

Algoritma *Branch and Bound* merupakan metode yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan optimasi. Algoritma *Branch and Bound* akan melakukan iterasi secara terus menerus hingga menemukan solusi yang terbaik, dan solusi terbaik sementara akan disimpan sebagai solusi dari model. Solusi terbaik yang disimpan berdasarkan fungsi tujuan yang telah ditentukan. Permasalahan yang ada pada PUG adalah bagaimana membuat sebuah penjadwalan operasi pada mesin

filling lithos yang dapat menyelesaikan program produksi yang telah diterima dengan tujuan untuk memaksimalkan keuntungan yang akan diterima. Tabel 5.6 akan menampilkan hasil perbandingan dari uji coba jumlah iterasi dan solusi dari model.

Tabel 5.6 Perbandingan Jumlah Iterasi Terhadap Solusi dari Model

Jumlah Iterasi	Waktu Iterasi (jam:menit:detik)	Objective Function	Keuntungan
5.000.002	1:28:54	Rp 13.178.700.000	Rp 15.024.230.000
10.000.001	2:55:02	Rp 13.254.200.000	Rp 15.127.040.000
15.000.001	4:54:57	Rp 13.278.500.000	Rp 15.177.070.000
20.000.002	7:06:21	Rp 13.302.100.000	Rp 15.203.000.000
30.000.001	9:30:03	Rp 13.280.600.000	Rp 15.166.870.000
40.000.000	17:28:51	Rp 13.321.500.000	Rp 15.210.540.000
50.000.003	20:25:39	Rp 13.321.000.000	Rp 15.201.710.000

Semakin banyak jumlah iterasi yang dilakukan akan semakin baik dalam menemukan solusi yang akan dihasilkan pada model seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.6. Hal tersebut dipengaruhi karena untuk setiap produk yang diproduksi juga dibebankan bobot produksi (data *dummy*) sehingga akan mempengaruhi solusi dari model. Diketahui solusi terbaik yang dimiliki oleh model yaitu dengan melakukan *running* model dengan menggunakan iterasi sejumlah 40 juta. Apabila dibandingkan dengan uji coba percobaan dengan menggunakan jumlah iterasi dari 5 juta hingga 30 juta memiliki solusi yang lebih kecil. Namun, pada saat menggunakan jumlah iterasi sebanyak 50 juta solusi yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan iterasi sebanyak 40 juta. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada iterasi sebanyak 40 juta telah mendapatkan solusi yang memiliki solusi yang bersifat “*convergen*”, hal tersebut dapat diperlihatkan dengan membandingkan nilai keuntungan yang akan diterima oleh perusahaan pada semua percobaan iterasi yang telah dilakukan. Solusi akan menghasilkan keuntungan yang besar pada kisaran keuntungan sebesar Rp 15.200.000.000 yang telah mendekati titik puncak dari fungsi tujuan yang ingin dicapai. Kondisi tersebut dapat dikatakan bahwa solusi yang paling baik akan ditemukan pada kisaran keuntungan tersebut. Terbukti pada saat iterasi ditingkatkan dari 40 juta iterasi menjadi 50 juta iterasi solusi yang dihasilkan berada dalam rentang angka yang berdekatan. Perbedaan

nilai *objective function* akan membuat urutan penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* memiliki solusi jadwal yang berbeda, hal tersebut terjadi karena adanya beban biaya yang dibebankan pada setiap produk yang diproduksi. Solusi penjadwalan yang dihasilkan dapat dilihat pada Lampiran D yang merupakan solusi terbaik dari beberapa jumlah iterasi yang telah dilakukan. Model akan mengutamakan melakukan produksi pada produk yang memiliki tingkat keuntungan yang paling tinggi. Pada permasalahan ini solusi yang didapatkan merupakan solusi *local optimum*, sehingga model memiliki banyak alternatif pilihan solusi. Algoritma *Branch and Bound* cukup kesulitan dalam menemukan solusi yang melibatkan interaksi matriks dalam jumlah yang banyak. Pada solusi dapat ditemukan hingga status *global optimum* akan membutuhkan waktu yang lama dan jumlah iterasi semakin banyak, hal tersebut dapat diketahui dari solusi yang dihasilkan dengan menggunakan data numerik didapatkan solusi *global optimum*.

5.2.2 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan dengan cara mengubah parameter yang ada pada sistem dan melihat pengaruhnya terhadap performansi sistem. Dalam melakukan analisis sensitivitas pada model dibatasi dengan jumlah iterasi sebanyak 5 juta iterasi. Analisis sensitivitas yang dilakukan pada model ini adalah dengan melakukan perubahan pada parameter program produksi dan waktu *setup* dari setiap produk untuk melihat pengaruhnya terhadap variabel keputusan terkait urutan dan jumlah produk yang akan diproduksi. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk melakukan pengecekan ulang terhadap model yang telah dibuat apakah sudah *robust* atau belum terhadap perubahan yang terjadi pada nilai parameter. Selain parameter yang telah ditentukan untuk dijadikan pengujian sensitivitas, parameter lainnya tidak dilakukan perubahan atau tetap seperti pada kondisi awal.

5.2.2.1 Pengaruh Perubahan Program Produksi terhadap Solusi Model

Program produksi merupakan sebuah perintah produksi yang diterima oleh pihak PUG yang harus diselesaikan dalam jangka waktu satu bulan. Perubahan parameter yang dilakukan dengan cara meningkatkan dan menurunkan nilai dari program produksi. Program produksi yang awal nantinya akan ditingkatkan nilainya menjadi 1,5 kali dari nilai program produksi awal. Penurunan nilai parameter juga akan diturunkan sebanyak 0,5 kali dari nilai program produksi awal. Tabel 5.7 berikut ini merupakan rekap data yang menampilkan perbedaan dari performansi sistem akibat perubahan nilai pada parameter program produksi.

Tabel 5.7 Rekap Solusi Model akibat Perubahan Program Produksi

Skenario Jenis Produk	Demand Awal*1,5			Demand Awal			Demand Awal*0,5		
	Demand (D)	Realisasi (R)	D-R	Demand (D)	Realisasi (R)	D-R	Demand (D)	Realisasi (R)	D-R
Lithos 1 10 L	45000	43000	2000	30000	28625	1375	15000	15000	0
Lithos 2 10 L	16095	14000	2095	10730	10730	0	5365	5365	0
Lithos 3 10 L	19230	17750	1480	12820	12820	0	6410	6410	0
Lithos 4 10 L	5550	3250	2300	3700	3125	575	1850	1850	0
Lithos 1 5 L	45000	5940	39060	30000	28270	1730	15000	15000	0
Lithos 2 5 L	14445	12100	2345	9630	9240	390	4815	4815	0
Lithos 4 5 L	12570	5610	6960	8380	5940	2440	4190	4190	0
Lithos 5 5 L	3735	2750	985	2490	2490	0	1245	1245	0
Lithos 6 5 L	6105	5500	605	4070	2750	1320	2035	2035	0
Lithos 7 5 L	3330	2750	580	2220	2220	0	1110	1110	0
Lithos 8 5 L	1005	0	1005	670	670	0	335	335	0
Lithos 9 4 L	300	0	300	200	200	0	100	100	0
Lithos 10 4 L	300	0	300	200	200	0	100	100	0
Lithos 11 4 L	300	0	300	200	200	0	100	100	0
Lithos 12 4 L	300	0	300	200	200	0	100	100	0
Lithos 13 4 L	1650	1650	0	1100	1100	0	550	550	0
Lithos 14 4 L	1050	0	1050	700	700	0	350	350	0
Lithos 3 4 L	5820	5820	0	3880	3080	800	1940	1940	0
Lithos 15 4 L	6585	5940	645	4390	4390	0	2195	2195	0
Lithos 4 4 L	4620	4620	0	3080	2750	330	1540	1540	0
Lithos 16 4 L	16560	15070	1490	11040	11040	0	5520	5520	0
Lithos 17 4 L	2505	2505	0	1670	1670	0	835	835	0
Lithos 18 4 L	27690	27390	300	18460	18260	200	9230	9230	0
Lithos 5 4 L	1605	1605	0	1070	1070	0	535	535	0
Lithos 6 4 L	3285	2750	535	2190	2190	0	1095	1095	0
Lithos 7 4 L	3690	3080	610	2460	2460	0	1230	1230	0
Lithos 8 4 L	2295	2295	0	1530	1530	0	765	765	0
Lithos 19 1 L	2310	2080	230	1540	1540	0	770	770	0
Lithos 9 1 L	345	0	345	230	0	230	115	0	115
Lithos 12 1 L	300	0	300	200	200	0	100	100	0
Lithos 13 1 L	7575	7575	0	5050	5050	0	2525	2525	0
Lithos 14 1 L	375	0	375	250	250	0	125	125	0

Tabel 5.7 Rekap Solusi Model akibat Perubahan Program Produksi (Lanjutan)

Skenario	Demand Awal*1,5			Demand Awal			Demand Awal*0,5		
Jenis Produk	Demand (D)	Realisasi (R)	D-R	Demand (D)	Realisasi (R)	D-R	Demand (D)	Realisasi (R)	D-R
Lithos 1 1 L	12660	11360	1300	8440	8440	0	4220	4220	0
Lithos 2 1 L	1530	1530	0	1020	1020	0	510	510	0
Lithos 3 1 L	1740	1740	0	1160	1160	0	580	580	0
Lithos 4 1 L	7740	6720	1020	5160	4560	600	2580	2580	0
Lithos 20 1 L	1560	0	1560	1040	0	1040	520	520	0
Lithos 21 1 L	34755	34320	435	23170	22960	210	11585	11585	0
Lithos 22 1 L	525	0	525	350	0	350	175	175	0
Lithos 17 1 L	2700	2240	460	1800	1800	0	900	900	0
Lithos 18 1 L	6585	6585	0	4390	4390	0	2195	2195	0
Lithos 23 1 L	45000	0	45000	30000	28250	1750	15000	15000	0
Lithos 24 1 L	1050	0	1050	700	0	700	350	350	0
Lithos 25 1 L	3120	3120	0	2080	2080	0	1040	1040	0
Lithos 11 1 L	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lithos 19 0,8 L	750	750	0	500	500	0	250	250	0
Lithos 16 0,8 L	20550	20550	0	13700	13700	0	6850	6850	0
Lithos 26 0,8 L	7920	7061	859	5280	5249	31	2640	2640	0
Lithos 24 0,8 L	17790	17750	40	11860	11860	0	5930	5930	0
Lithos 25 0,8 L	12345	10500	1845	8230	8230	0	4115	4115	0
Objective Function	Rp 15.741.870.000			Rp 13.178.720.000			Rp 7.114.871.000		

Semakin banyak program produksi yang diberikan pada produk yang memiliki tingkat keuntungan yang tinggi, solusi yang dihasilkan dari model akan terus memilih produk tersebut. Hal tersebut bisa terjadi karena fungsi tujuan dari model adalah untuk memaksimalkan keuntungan yang akan diterima. Model baru akan melakukan pergantian produksi dari salah satu produk ke produk yang lainnya apabila keuntungan saat memproduksi sisa program produksi memiliki keuntungan yang lebih sedikit daripada melakukan perintah untuk melakukan produksi pada produk yang lain.

Pada saat skenario program produksi ditingkatkan sebanyak 1,5 kali dari program produksi yang awal dapat dilihat bahwa fungsi tujuan yang dimiliki semakin besar, namun solusi yang dihasilkan tidak dapat melakukan perintah produksi secara merata yang disebabkan oleh fungsi tujuan untuk memperoleh keuntungan yang semaksimal mungkin. Pada saat skenario nilai parameter dari program produksi diturunkan sebanyak 0,5 kali dari program produksi awal, maka terjadi pemerataan semua produksi dikarenakan nilai kapasitas produksi yang dimiliki lebih besar dari program produksi yang telah diberikan. Berdasarkan kedua pengujian tersebut, maka didapatkan hasil model bahwa yang telah dibuat *robust*

terhadap perubahan parameter program produksi. Semakin banyak jumlah program produksi pada produk yang memiliki tingkat keuntungan tinggi akan semakin meningkatkan keuntungan yang akan diterima oleh perusahaan. Namun terdapat konsekuensi yang akan diterima yaitu tidak meratanya tingkat realisasi pelaksanaan program produksi, dikarenakan model akan memilih produk yang memiliki keuntungan yang paling maksimal akan diselesaikan terlebih dahulu. Kondisi tersebut mengakibatkan produk yang memiliki keuntungan kecil tidak dapat diproduksi secara keseluruhan.

5.3.5.2 Pengaruh Perubahan Waktu Setup terhadap Solusi Model

Waktu *setup* merupakan waktu yang diperlukan untuk mempersiapkan sebuah operasi kerja. Waktu persiapan yang dihabiskan tersebut menyangkut waktu pengaturan komponen mesin, waktu penyediaan peralatan kerja, dan sebagainya. Perubahan parameter yang dilakukan dengan cara meningkatkan dan menurunkan nilai dari waktu *setup* sebelum melakukan kegiatan produksi. Waktu *setup* yang awal nantinya akan ditingkatkan nilainya menjadi 1,5 kali dari parameter waktu *setup* awal. Penurunan nilai parameter juga akan diturunkan sebanyak 0,5 kali dari nilai waktu *setup* awal. Pengujian tersebut dilakukan pada model dengan tidak melakukan perubahan pada parameter yang lainnya.

Berdasarkan pengujian model yang telah dilakukan dengan melakukan perubahan pada parameter waktu *setup*. Tabel 5.8 berikut ini merupakan rekap yang menampilkan perbedaan perubahan dari performansi sistem akibat berubahnya nilai pada parameter waktu *setup*.

Tabel 5.8 Rekap Solusi Model akibat Perubahan Waktu *Setup*

Skenario Jenis Produk	Waktu <i>Setup</i> Awal*1,5			Waktu <i>Setup</i> Awal			Waktu <i>Setup</i> Awal*0,5		
	Demand (D)	Realisasi (R)	D-R	Demand (D)	Realisasi (R)	D-R	Demand (D)	Realisasi (R)	D-R
<i>Lithos 1 10 L</i>	30000	26934	3066	30000	28625	1375	30000	30000	0
<i>Lithos 2 10 L</i>	10730	10374	356	10730	10730	0	10730	10730	0
<i>Lithos 3 10 L</i>	12820	12820	0	12820	12820	0	12820	11124	1696
<i>Lithos 4 10 L</i>	3700	2687	1013	3700	3125	575	3700	3562	138
<i>Lithos 1 5 L</i>	30000	23540	6460	30000	28270	1730	30000	30000	0
<i>Lithos 2 5 L</i>	9630	8580	1050	9630	9240	390	9630	9630	0
<i>Lithos 4 5 L</i>	8380	8380	0	8380	5940	2440	8380	8380	0

Tabel 5.8 Rekap Solusi Model akibat Perubahan Waktu *Setup* (Lanjutan)

Skenario	Waktu <i>Setup</i> Awal*1,5			Waktu <i>Setup</i> Awal			Waktu <i>Setup</i> Awal*0,5		
	Demand (D)	Realisasi (R)	D-R	Demand (D)	Realisasi (R)	D-R	Demand (D)	Realisasi (R)	D-R
<i>Lithos 5 5 L</i>	2490	2490	0	2490	2490	0	2490	2490	0
<i>Lithos 6 5 L</i>	4070	4070	0	4070	2750	1320	4070	4070	0
<i>Lithos 7 5 L</i>	2220	2220	0	2220	2220	0	2220	2220	0
<i>Lithos 8 5 L</i>	670	670	0	670	670	0	670	0	670
<i>Lithos 9 4 L</i>	200	200	0	200	200	0	200	200	0
<i>Lithos 10 4 L</i>	200	0	200	200	200	0	200	0	200
<i>Lithos 11 4 L</i>	200	200	0	200	200	0	200	200	0
<i>Lithos 12 4 L</i>	200	0	200	200	200	0	200	0	200
<i>Lithos 13 4 L</i>	1100	1100	0	1100	1100	0	1100	1100	0
<i>Lithos 14 4 L</i>	700	700	0	700	700	0	700	700	0
<i>Lithos 3 4 L</i>	3880	0	3880	3880	3080	800	3880	3880	0
<i>Lithos 15 4 L</i>	4390	4390	0	4390	4390	0	4390	4390	0
<i>Lithos 4 4 L</i>	3080	2365	715	3080	2750	330	3080	3080	0
<i>Lithos 16 4 L</i>	11040	11040	0	11040	11040	0	11040	11040	0
<i>Lithos 17 4 L</i>	1670	1670	0	1670	1670	0	1670	1670	0
<i>Lithos 18 4 L</i>	18460	18460	0	18460	18260	200	18460	18460	0
<i>Lithos 5 4 L</i>	1070	1070	0	1070	1070	0	1070	1070	0
<i>Lithos 6 4 L</i>	2190	2190	0	2190	2190	0	2190	2190	0
<i>Lithos 7 4 L</i>	2460	2365	95	2460	2460	0	2460	2460	0
<i>Lithos 8 4 L</i>	1530	1530	0	1530	1530	0	1530	1530	0
<i>Lithos 19 1 L</i>	1540	1540	0	1540	1540	0	1540	1540	0
<i>Lithos 9 1 L</i>	230	0	230	230	0	230	230	230	0
<i>Lithos 12 1 L</i>	200	200	0	200	200	0	200	200	0
<i>Lithos 13 1 L</i>	5050	5050	0	5050	5050	0	5050	5050	0
<i>Lithos 14 1 L</i>	250	250	0	250	250	0	250	250	0
<i>Lithos 1 1 L</i>	8440	8440	0	8440	8440	0	8440	8440	0
<i>Lithos 2 1 L</i>	1020	0	1020	1020	1020	0	1020	1020	0
<i>Lithos 3 1 L</i>	1160	1160	0	1160	1160	0	1160	1160	0
<i>Lithos 4 1 L</i>	5160	4440	720	5160	4560	600	5160	4640	520
<i>Lithos 20 1 L</i>	1040	0	1040	1040	0	1040	1040	0	1040
<i>Lithos 21 1 L</i>	23170	23170	0	23170	22960	210	23170	23170	0
<i>Lithos 22 1 L</i>	350	0	350	350	0	350	350	0	350
<i>Lithos 17 1 L</i>	1800	1800	0	1800	1800	0	1800	1800	0
<i>Lithos 18 1 L</i>	4390	4040	350	4390	4390	0	4390	4390	0
<i>Lithos 23 1 L</i>	30000	26934	3066	30000	28250	1750	30000	29935	65
<i>Lithos 24 1 L</i>	700	700	0	700	0	700	700	700	0
<i>Lithos 25 1 L</i>	2080	2080	0	2080	2080	0	2080	2080	0
<i>Lithos 11 1 L</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lithos 19 0,8 L</i>	500	500	0	500	500	0	500	500	0
<i>Lithos 16 0,8 L</i>	13700	13369	331	13700	13700	0	13700	13700	0
<i>Lithos 26 0,8 L</i>	5280	4873	407	5280	5249	31	5280	5280	0
<i>Lithos 24 0,8 L</i>	11860	11860	0	11860	11860	0	11860	11249	611
<i>Lithos 25 0,8 L</i>	8230	8230	0	8230	8230	0	8230	7437	793
Objective Function	Rp12.529.100.000			Rp13.178.720.000			Rp13.341.850.000		

Waktu *setup* akan memengaruhi jumlah ketersediaan waktu produksi. Semakin besar dari nilai waktu *setup* yang digunakan akan semakin kecil jumlah

ketersediaan waktu yang digunakan untuk melakukan proses produksi. Jumlah ketersediaan waktu produksi akan mempengaruhi kuantitas dari produk yang akan diproduksi, sehingga hal tersebut akan mempengaruhi tingkat keuntungan yang akan diterima oleh pihak perusahaan.

Pada saat skenario yang digunakan dalam pengujian adalah meningkatkan nilai parameter waktu *setup* produksi sebanyak 1,5 kali dari kondisi awal, didapatkan hasil kuantitas dari jenis produk yang diproduksi juga semakin menurun apabila dibandingkan dengan kondisi awal. Pada saat skenario yang digunakan dalam pengujian menurunkan nilai parameter pada waktu *setup* sebanyak 0,5 kali dari kondisi awal, didapatkan hasil kuantitas produk yang dihasilkan lebih banyak. Berdasarkan kedua pengujian tersebut maka didapatkan hasil model yang telah dibuat *robust* terhadap perubahan parameter waktu *setup* produksi. Semakin tinggi waktu *setup* yang diperlukan dalam mengatasi permasalahan model akan berupaya untuk menghindari aktivitas pergantian produk dari salah satu produk ke produk yang lainnya. Pergantian produk yang akan diproduksi terjadi apabila keputusan melakukan produksi pada produk yang sama akan menghasilkan keuntungan yang lebih kecil saat dibandingkan dengan keputusan melakukan pergantian melakukan produksi pada produk yang lainnya. Semakin kecil nilai parameter dari waktu *setup*, maka akan semakin besar tingkat keuntungan yang akan diterima oleh pihak perusahaan. Hal tersebut terjadi karena nilai parameter yang ada pada waktu *setup* akan mempengaruhi jumlah produk yang akan diproduksi.

5.2.3 *Analisis Pengaruh Program Produksi terhadap Kapasitas Produksi Perusahaan*

Perubahan dari program produksi akan menentukan jumlah produk yang akan diproduksi. Program produksi akan menjadi pemicu yang digunakan dalam model untuk melaksanakan perintah produksi. Apabila jumlah kapasitas produksi memiliki nilai yang lebih rendah dari program produksi, maka program produksi tidak dapat terlaksana secara keseluruhan. Apabila jumlah program produksi memiliki nilai yang lebih rendah maka semua program produksi dapat diproduksi. Model akan lebih memilih melakukan produksi pada jenis produk dengan tingkat keuntungan yang paling tinggi.

Kondisi untuk program produksi yang memiliki nilai yang lebih besar pada kapasitas produksi telah dibuktikan dalam menyelesaikan permasalahan penjadwalan pada bulan Maret 2017. Namun jadwal operasi pada mesin *filling lithos* tidak dapat melaksanakan semua program produksi yang telah diberikan. Solusi terkait urutan dan kuantitas produk yang akan diproduksi ditampilkan pada Lampiran D, model akan mengutamakan memproduksi produk dengan tingkat keuntungan yang paling tinggi. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan pada subbab 5.3.1 didapatkan solusi dengan keuntungan sebanyak Rp 15.210.540.000 dari program produksi yang diterima oleh pihak PUG.

Kondisi pada program produksi yang memiliki nilai yang lebih kecil dari kapasitas produksi, maka semua produk akan dapat diproduksi. Pada kasus ini proses *running* dibatasi hanya sampai 5 juta iterasi. Urutan terkait produk yang akan diproduksi ditampilkan dalam Lampiran F. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan didapatkan solusi dengan keuntungan sebanyak Rp 9.001.225.000. Tabel 5.9 akan menampilkan rekap data terkait hasil percobaan terkait data program produksi dan tingkat realisasi dari program produksi tersebut.

Tabel 5.9 Rekap Data Program Produksi dan Tingkat Realisasi dalam Program

Jenis Produk	Program Produksi (D)	Realisasi (R)	D-R	Program Produksi (D)	Realisasi (R)	D-R
<i>Lithos 1 10 L</i>	3000	3000	0	30000	28625	1375
<i>Lithos 2 10 L</i>	3000	3000	0	10730	10730	0
<i>Lithos 3 10 L</i>	3000	3000	0	12820	12820	0
<i>Lithos 4 10 L</i>	3000	3000	0	3700	3250	450
<i>Lithos 1 5 L</i>	3000	3000	0	29860	21890	7970
<i>Lithos 2 5 L</i>	3000	3000	0	9630	0	9630
<i>Lithos 4 5 L</i>	3000	3000	0	8380	0	8380
<i>Lithos 5 5 L</i>	2750	2750	0	2490	2490	0
<i>Lithos 6 5 L</i>	3000	3000	0	4070	4070	0
<i>Lithos 7 5 L</i>	2860	2860	0	2220	2220	0
<i>Lithos 8 5 L</i>	2750	2750	0	670	0	670
<i>Lithos 9 4 L</i>	2750	2750	0	200	0	200
<i>Lithos 10 4 L</i>	2750	2750	0	200	0	200
<i>Lithos 11 4 L</i>	3000	3000	0	200	0	200
<i>Lithos 12 4 L</i>	3000	3000	0	200	0	200
<i>Lithos 13 4 L</i>	2750	2750	0	1100	1100	0
<i>Lithos 14 4 L</i>	2750	2750	0	700	700	0
<i>Lithos 3 4 L</i>	3000	3000	0	3880	3080	800
<i>Lithos 15 4 L</i>	2750	2750	0	4390	2750	1640
<i>Lithos 4 4 L</i>	2750	2750	0	3080	2750	330
<i>Lithos 16 4 L</i>	2750	2750	0	11040	11040	0

Tabel 5.9 Rekap Data Program Produksi dan Tingkat Realisasi dalam Program
(Lanjutan)

Jenis Produk	Program Produksi (D)	Realisasi (R)	D-R	Program Produksi (D)	Realisasi (R)	D-R
<i>Lithos 17 4 L</i>	2750	2750	0	1670	1670	0
<i>Lithos 18 4 L</i>	2750	2750	0	18460	18460	0
<i>Lithos 5 4 L</i>	2750	2750	0	1070	0	1070
<i>Lithos 6 4 L</i>	3000	3000	0	2190	2190	0
<i>Lithos 7 4 L</i>	2750	2750	0	2460	2460	0
<i>Lithos 8 4 L</i>	2750	2750	0	1530	1530	0
<i>Lithos 19 1 L</i>	1500	1500	0	1540	1540	0
<i>Lithos 9 1 L</i>	1500	1500	0	230	0	230
<i>Lithos 12 1 L</i>	1500	1500	0	200	0	200
<i>Lithos 13 1 L</i>	1500	1500	0	5050	5050	0
<i>Lithos 14 1 L</i>	1500	1500	0	250	250	0
<i>Lithos 1 1 L</i>	1500	1500	0	8440	8440	0
<i>Lithos 2 1 L</i>	1500	1500	0	1020	0	1020
<i>Lithos 3 1 L</i>	1500	1500	0	1160	1160	0
<i>Lithos 4 1 L</i>	1500	1500	0	5160	4560	600
<i>Lithos 20 1 L</i>	1500	1500	0	1040	0	1040
<i>Lithos 21 1 L</i>	1500	1500	0	23170	22960	210
<i>Lithos 22 1 L</i>	1500	1500	0	350	0	350
<i>Lithos 17 1 L</i>	1500	1500	0	1800	1800	0
<i>Lithos 18 1 L</i>	1500	1500	0	4390	4390	0
<i>Lithos 23 1 L</i>	3000	3000	0	30000	6500	23500
<i>Lithos 24 1 L</i>	3000	3000	0	700	0	700
<i>Lithos 25 1 L</i>	3000	3000	0	2080	2080	0
<i>Lithos 11 1 L</i>	3000	3000	0	0	0	0
<i>Lithos 19 0,8 L</i>	1500	1500	0	500	500	0
<i>Lithos 16 0,8 L</i>	1500	1500	0	13700	13700	0
<i>Lithos 26 0,8 L</i>	1500	1500	0	5280	5249	31
<i>Lithos 24 0,8 L</i>	3000	3000	0	11860	10500	1360
<i>Lithos 25 0,8 L</i>	3000	3000	0	8230	8230	0

Model dapat melakukan perintah produksi apabila program produksi yang diberikan memiliki nilai yang lebih rendah dari kapasitas produksi yang dimiliki oleh pihak perusahaan seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.9. Model juga mampu menghasilkan solusi penjadwalan pada saat program produksi yang diberikan jumlah, namun semua jenis produk tidak dapat diproduksi. Model dapat digunakan untuk kedua skenario tersebut, namun model akan lebih mengutamakan melakukan perintah pelaksanaan produksi pada jenis produk yang memiliki tingkat keuntungan yang paling tinggi. Apabila program produksi yang diberikan memiliki nilai yang lebih kecil dari kapasitas produksi, maka semua program produksi dapat diselesaikan. Namun apabila jumlah program produksi yang diberikan memiliki jumlah yang lebih kecil dari pada kapasitas produksi, maka model akan memilih

melakukan produksi pada produk dengan keuntungan yang maksimal dilakukan pada awal program produksi.

5.2.4 *Perubahan Jadwal Operasi akibat Mesin Rusak*

Skenario yang diterapkan pada permasalahan ini adalah kondisi pada saat terdapat salah satu mesin yang rusak pada saat jadwal telah dijalankan. Ketika terjadi kerusakan mesin pihak PUG perlu melakukan *running* ulang dengan melakukan penyesuaian pada *input* data yang digunakan. Tahapan yang perlu dilakukan dalam mengatasi permasalahan yang terjadi pada skenario terkait terjadinya kondisi adanya salah satu mesin produksi yang rusak adalah sebagai berikut:

1. Lakukan perubahan penyesuaian terhadap *input* pada kolom *demand* produksi dengan cara mengurangi program produksi awal yang dikurangi dengan tingkat *inventory* yang telah dihasilkan pada tepat sehari saat mesin masih dalam kondisi normal. Hasil pengurangan tersebut akan digunakan sebagai *input* dari parameter program produksi pada model untuk melakukan *running* ulang model dengan penyesuaian *input*.
2. Lakukan penyesuaian kolom kecepatan produksi sesuai dengan ketentuan produk yang hanya bisa diproses pada mesin tertentu. Dengan membuat kolom kecepatan produksi pada kolom kecepatan produksi pada mesin yang mati menjadi nol, dan melakukan pengubahan nilai *input* pada kolom mesin lainnya apabila produk tersebut dapat diproses dengan menggunakan mesin yang lain sesuai pada Tabel 5.10.
3. Lakukan *setting* pada model dengan maksimal jumlah iterasi tertentu. Pada kasus ini yang digunakan jumlah iterasi sebanyak 10 juta iterasi.
4. Solusi dari model setelah melakukan penyesuaian pada kolom *input*, gunakan jadwal yang dihasilkan selama mesin tersebut masih dalam kondisi rusak.
5. Setelah mesin kembali ke kondisi normal lakukan *running* pada model kembali dengan melakukan tahapan Langkah 1, kemudian lakukan penyesuaian kembali terhadap *input* data program produksi dan kecepatan produksi.

Tabel 5.10 yang berisi informasi terkait setiap *lithos* dengan ukuran tertentu hanya dapat diproduksi pada mesin yang telah ditentukan, dan kecepatan dalam setiap melakukan proses. Apabila terjadi kerusakan pada salah satu mesin maka produk dapat diolah pada mesin yang lain sesuai dengan ketentuan yang telah ditentukan.

Tabel 5.10 Kecepatan Produksi dan Ketentuan Pelaksanaan Produksi

Kecepatan Produksi dalam Satuan kardus/jam				
Jenis Lithos	Mesin 1	Mesin 2	Mesin 3	Mesin 4
<i>Lithos 2x10 L</i>	0	0	0	250
<i>Lithos 4x5 L</i>	0	0	220	220
<i>Lithos 6x4 L</i>	0	0	220	0
<i>Lithos 6x1 L</i>	250	250	0	0
<i>Lithos 20x1 L</i>	160	160	0	0
<i>Lithos 6x0,8 L</i>	0	250	0	0
<i>Lithos 24x0,8 L</i>	0	250	0	0

Skenario yang digunakan sebagai percobaan adalah saat penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* yang telah ditentukan pada Lampiran E. Ketika penjadwalan setelah berjalan selama 15 hari, ternyata terjadi kerusakan pada mesin 1 selama 7 hari. Perlu dilakukan *running* model kembali untuk mencari solusi terkait perubahan jadwal yang terjadi dengan melakukan perubahan pada kolom *input* kecepatan produksi. Pencarian solusi model ditentukan dengan menentukan batas jumlah iterasi sebanyak 10 juta iterasi. Hasil dari solusi tersebut hanya akan digunakan untuk 7 hari awal. Apabila mesin kembali ke kondisi yang normal, maka perlu dilakukan penyesuaian terhadap *input* terkait kecepatan produksi ke kondisi awal. Kemudian dilakukan *running* kembali dengan cara melakukan Tahapan 5. Solusi yang dihasilkan dengan skenario ini ditampilkan pada Lampiran E. Konsekuensi dari salah satu mesin yang mati maka akan mengurangi kuantitas dari jumlah produk yang dapat dihasilkan oleh model. Namun model akan tetap mengutamakan melakukan perintah produksi pada produk yang memiliki tingkat keuntungan yang paling tinggi.

Pada hari ke-16, terdapat kondisi yang tidak dapat dikendalikan oleh perusahaan yaitu terjadi kerusakan pada salah satu mesin *filling lithos*. Mesin 1 tidak dapat digunakan akibat adanya kerusakan pada komponen mesin sehingga

memerlukan waktu yang lama untuk melakukan reparasi pada mesin tersebut. Pada kondisi normal seharusnya mesin 1 akan melakukan proses *filling* produk *lithos* 1 berukuran 1 liter. Setelah melakukan penyesuaian produk tersebut akhirnya diproses pada mesin 2. Pada kondisi awal mesin 2, seharusnya melakukan proses pada produk *lithos* 24 berukuran 0,8 liter. Terjadi perpindahan produk yang diproses menggunakan mesin 2 disebabkan karena terjadi produk *lithos* 1 berukuran 1 liter memiliki keuntungan yang lebih tinggi dari pada produk *lithos* 24 berukuran 0,8 liter. Saat salah satu mesin tidak dapat digunakan karena beberapa kendala, akan memberikan dampak secara langsung terhadap penurunan keuntungan yang akan diterima.

5.2.5 *Perubahan Perencanaan Penjadwalan akibat Stock Out Bahan Baku*

Skenario yang diterapkan pada permasalahan ini adalah kondisi pada saat terdapat salah satu bahan baku yang seharusnya dilakukan proses produksi pada besok harinya mengalami *stock out*. Ketika terjadi kondisi tersebut berikut beberapa hal yang perlu dilakukan oleh pihak perusahaan agar dapat mengatasi permasalahan yang terjadi.

1. Lakukan perubahan penyesuaian terhadap *input* pada kolom *demand* produksi dengan cara mengurangi program produksi yang awal yang dikurangi dengan tingkat *inventory* yang telah dihasilkan pada tepat sehari pada saat mesin masih dalam kondisi normal. Hasil pengurangan tersebut akan digunakan sebagai *input* dari model untuk melakukan *running* ulang model dengan penyesuaian *input*.
2. Lakukan *setting* pada model dengan maksimal jumlah iterasi tertentu. Pada kasus ini yang digunakan jumlah iterasi sebanyak 10 juta iterasi.
3. Kemudian lakukan penyesuaian ulang pada jadwal yang telah diproduksi.

Pada skenario yang digunakan sebagai percobaan adalah saat jadwal operasi pada mesin *filling lithos* yang telah ditentukan pada Lampiran D. Penjadwalan telah berjalan selama 8 hari kerja, namun terjadi kondisi pada saat hari kerja ke-9 bahan baku yang akan diproses mengalami *stock out*. Pada hari ke-9 berdasarkan jadwal yang ada pada Lampiran E, mesin 1 akan melakukan proses

produk *lithos* 21 dengan ukuran 1 liter, mesin 2 akan memproduksi produk *lithos* 24 dengan ukuran 0,8 liter, mesin 3 akan melakukan proses pada produk *lithos* 16 dengan ukuran 4 liter, dan mesin 4 akan melakukan proses pada produk *lithos* 1 dengan ukuran 10 liter. Namun, pada saat hari ke-9 bahan baku yang digunakan untuk melakukan produksi pada produk *lithos* 16 mengalami *stock out*. Perlu dilakukan penyesuaian terhadap jadwal operasi pada mesin *filling lithos* oleh karena itu diperlukan *running* ulang terhadap model yang telah dibuat. Model dilakukan *running* ulang dengan membatasi jumlah iterasi sebanyak 5 juta iterasi.

Solusi jadwal yang dihasilkan pada saat kondisi awal dan pada di *running* ulang menghasilkan pemilihan jadwal operasi untuk melakukan proses produksi pada produk yang sama. Solusi pemilihan model tetap melakukan pemilihan produk yang sama dikarenakan fungsi tujuan dari model adalah untuk mendapatkan keuntungan yang maksimal dari penjadwalan yang akan dibuat. Solusi yang dihasilkan oleh model akan mengutamakan melakukan proses produksi pada produk dengan tingkat keuntungan yang paling tinggi. Oleh karena itu, solusi yang dapat dilakukan oleh pihak perusahaan apabila terdapat bahan baku yang mengalami *stock out* adalah dengan melanjutkan jadwal operasi pada mesin *filling lithos* sesuai dengan solusi penjadwalan yang telah ditentukan pada awal waktu. Berdasarkan skenario yang telah dirancang sebelumnya, pada saat hari ke-9 bahan baku untuk melakukan proses pada *lithos* 16 mengalami *stock out*. *Lithos* 16 tersebut akan diproduksi pada mesin 2, sehingga proses produksi yang dikerjakan pada mesin 2 hanya perlu melanjutkan jadwal yang ada dikarenakan solusi awal merupakan solusi yang terbaik apabila dibandingkan solusi yang lainnya. Mesin 2 akan melakukan proses produksi pada produk yang memiliki stok bahan baku yaitu pada *lithos* 24, 26, dan 25. Dengan melakukan kegiatan tersebut perusahaan tetap dapat melakukan kegiatan produksi sesuai jadwal yang telah dibuat sampai bahan baku yang mengalami kondisi *stock out* telah tersedia kembali.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dibahas terkait kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisis dan pembahasan yang disesuaikan dengan tujuan dari pengerjaan penelitian. Selain itu terdapat saran berdasarkan hasil penelitian untuk penelitian sejenis yang dilakukan.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, berikut ini merupakan kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini.

1. Penelitian ini menghasilkan model penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* dengan mempertimbangkan waktu *setup* yang berbeda-beda pada Pertamina Lubricants Plant Unit Gresik dengan memaksimalkan keuntungan dan membantu dalam pengambilan keputusan pengadaan *material packaging*.
2. Semakin banyak jumlah iterasi yang dilakukan akan mempengaruhi parameter solusi terbaik dari model, namun terdapat kondisi saat “*convergen*” yaitu solusi akan terus sama walaupun jumlah iterasi yang dilakukan bertambah.
3. Model penjadwalan operasi pada mesin *filling lithos* yang dikembangkan sensitif terhadap perubahan nilai tingkat keuntungan yang dapat dipengaruhi oleh perubahan pada parameter program produksi yang diterima dan waktu *setup* dalam setiap memproduksi setiap produk.
4. Model tetap dapat digunakan apabila terdapat beberapa produk yang mengalami kondisi *stock out* di pasar saat menggunakan data riil dari perusahaan, solusi tersebut dapat tercapai namun memerlukan iterasi sangat panjang atau waktu yang lama, namun pada saat pengujian

dengan menggunakan data uji coba model mampu mengatasi kondisi *stock out* pada produk tertentu.

5. Model tetap dapat digunakan apabila terjadi kondisi kerusakan mesin atau material yang tidak tersedia.

6.2 Saran

Saran dari dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Teknik solusi perlu dikembangkan lebih lanjut untuk menyelesaikan model, tidak menggunakan metode eksak (*Branch and Bound*) tetapi dengan menggunakan algoritma metaheuristik dan heuristik untuk mempersingkat waktu komputasi.
2. Model dapat dikembangkan lebih lanjut agar dapat menentukan tingkat prosentase stok produk dan waktu yang tepat untuk dapat melaksanakan produksi pada saat terjadi kondisi *stock out* produk tertentu di pasar agar produk tersebut dapat dilakukan proses produksi pada awal waktu pada saat menggunakan data riil dari perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Baker, K. R. & Triestcsh, D., 2009. *Principles of Sequencing and Scheduling*. Tenth Edition. New Jersey: A John Wiley & Sons, Inc.
- Biskup, D., Herrmann, J. & Gupta, J. N., 2008. *Scheduling Identical Parallel Machines to Minimize Total Tardiness*, Bielefeld: Production Economics.
- Daellenbach, H. G. & McNickle, D. C., 2005. *Management Science Science Decision Making Through System Thinking*. New Zealand: Palgrave.
- Meyr, H. & Mann, M., 2013. *A Decomposition Approach for the General Lotsizing and Scheduling Problem for Parallel Production Lines*, Austria: European Journal of Operational Research.
- Pertamina, 2013. *Sejarah Pertamina Lubricants*. [Online]
Available at:
<http://www.pertaminalubricants.com/contents/sejarahkami.html>
[Diakses 17 Maret 2017].
- Pertamina, 2015. *Integrated Annual Report*. Jakarta: Pertamina Lubricants.
- Pinedo, M. L., 2011. *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems*. Fourth Edition. New York: Springer.
- Taha, H. A., 2007. *Operation Research: An Introduction*. Eighth Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Winston, W. L., 2003. *Operations Research: Applications and Algorithms*. Fourth Edition. Boston: Duxbury Press.
- Zhou, S., Liu, M., Chen, H. & Li, X., 2016. *An Effective Discrete Differential Evolution Algorithm for Scheduling Uniform Parallel Batch Processing Machines with Non-Identical Capacities and Arbitrary Job Sizes*, China: Production Economics.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran A: Kode Program Optimasi

```
sets:
produk/1..50/:Demand,Profit;
hari/1..30/;
mesin/1..4/;
Link1(produk,produk):SUIJ;
Link2(produk,produk,hari,mesin):Z;
Link3(produk,hari,mesin):X,Y,WaktuProduksi;
Link4(produk,mesin):Kecepatan;
Link5(produk,hari):Inventory,Stok,Produksi,HPP;
Endsets

data:

Demand=@ole('C:\Users\Alief
Septiwianto\Desktop\TA\alief_septi.xlsx','Demand');
Profit=@ole('C:\Users\Alief Septiwianto\Desktop\TA\alief_septi.xlsx','Profit');
Kecepatan=@ole('C:\Users\Alief
Septiwianto\Desktop\TA\alief_septi.xlsx','Kecepatan');
HPP=@ole('C:\Users\Alief Septiwianto\Desktop\TA\alief_septi.xlsx','HPP');
SUIJ=@ole('C:\Users\Alief Septiwianto\Desktop\TA\alief_septi.xlsx','SUIJ');

@ole('C:\Users\Alief Septiwianto\Desktop\TA\alief_septi.xlsx','X')=X;
@ole('C:\Users\Alief Septiwianto\Desktop\TA\alief_septi.xlsx','Stok')=Stok;
@ole('C:\Users\Alief
Septiwianto\Desktop\TA\alief_septi.xlsx','Inventory')=Inventory;

enddata

max = untung - pokok;

untung = @sum(Link3(i,t,m):X(i,t,m)*Profit(i));
pokok = @sum(Link3(i,t,m):X(i,t,m)*HPP(i,t));

!konstrain untuk pemenuhan demand;
@for(produk(i):@sum(hari(t):@sum(mesin(m):X(i,t,m)))) < Demand(i));

!pada setiap hari tiap mesin hanya boleh proses 1 produk;
@for(hari(t):@for(mesin(m):@sum(produk(i):Y(i,t,m)) <= 1));
```

!jumlah yang diproduksi pada setiap harinya = kecepatan * waktu tersedia;
@for(mesin(m):@for(produk(i):@for(hari(t):X(i,t,m) <=
Kecepatan(i,m)*WaktuProduksi(i,t,m))));

!konstrains untuk melakukan perhitungan waktu tersedia pada hari pertama;
@for(mesin(m):@for(produk(i):@for(hari(t)|t#eq#1:WaktuProduksi(i,t,m) =
WS*Y(i,t,m))));

!konstrains untuk penentuan waktu produksi untuk hari kedua dan selanjutnya
dimana setiap hari produknya bisa berubah;

@for(mesin(m):@for(produk(j):@for(hari(t)|t#ge#2:@sum(produk(i):(16-
SUII(i,j))*Z(i,j,t-1,m)) = WaktuProduksi(j,t,m))));

!konstrains untuk menentukan pergantian produk;

@for(mesin(m):@for(produk(i):@for(hari(t):@sum(produk(j):Z(i,j,t,m))=Y(i,t,m))
);

!konstrains untuk memastikan adanya perpindahan produk;

@for(mesin(m):@for(produk(j):@for(hari(t)|t#ge#2:@sum(produk(i):Z(i,j,t-
1,m))=Y(j,t,m))));

!inventory awal + produk yang diproduksi = inventory;

@for(produk(i):@for(hari(t):@sum(mesin(m):X(i,t,m)) = Stok(i,t));

@for(produk(i):@for(hari(t)|t#eq#1:Inventory(i,t) = Stok(i,t));

@for(produk(i):@for(hari(t)|t#ge#2:Inventory(i,t) = Stok(i,t) + Inventory(i,t-1));

!kondisi saat produk mengalami stock out dimana produk tersebut harus
diproduksi walaupun keuntungannya kecil;

@for(produk(i)|i#eq#4:@for(hari(t)|t#eq#12:Inventory(i,t) > 0.3 *Demand(i));

@for(produk(i)|i#eq#5:@for(hari(t)|t#eq#16:Inventory(i,t) > 0.3 *Demand(i));

@for(Link3(i,t,m):@gin(X(i,t,m))));

@for(Link3(i,t,m):@bin(Y(i,t,m))));

@for(Link2(i,j,t,m):@bin(Z(i,j,t,m))));

Lampiran B: Beban Biaya Produksi untuk 30 Hari

Jenis Produk	Beban Biaya Produksi untuk 30 Hari dengan skala 1:100																													
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Hari 6	Hari 7	Hari 8	Hari 9	Hari 10	Hari 11	Hari 12	Hari 13	Hari 14	Hari 15	Hari 16	Hari 17	Hari 18	Hari 19	Hari 20	Hari 21	Hari 22	Hari 23	Hari 24	Hari 25	Hari 26	Hari 27	Hari 28	Hari 29	Hari 30
Lithos 1 10 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 2 10 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 3 10 L	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Lithos 4 10 L	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120
Lithos 1 5 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 2 5 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 4 5 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 5 5 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 6 5 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 7 5 L	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Lithos 8 5 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 9 4 L	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Lithos 10 4 L	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600
Lithos 11 4 L	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360	384	408	432	456	480	504	528	552	576	600	624	648	672	696	720
Lithos 12 4 L	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	390	405	420	435	450
Lithos 13 4 L	13	26	39	52	65	78	91	104	117	130	143	156	169	182	195	208	221	234	247	260	273	286	299	312	325	338	351	364	377	390
Lithos 14 4 L	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240	252	264	276	288	300	312	324	336	348	360
Lithos 3 4 L	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152	160	168	176	184	192	200	208	216	224	232	240
Lithos 15 4 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 4 4 L	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Lithos 16 4 L	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Lithos 17 4 L	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189	198	207	216	225	234	243	252	261	270
Lithos 18 4 L	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140	147	154	161	168	175	182	189	196	203	210
Lithos 5 4 L	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Lithos 6 4 L	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Lithos 7 4 L	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140	147	154	161	168	175	182	189	196	203	210
Lithos 8 4 L	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140	147	154	161	168	175	182	189	196	203	210
Lithos 19 1 L	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Lithos 9 1 L	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152	160	168	176	184	192	200	208	216	224	232	240
Lithos 12 1 L	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240	252	264	276	288	300	312	324	336	348	360
Lithos 13 1 L	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189	198	207	216	225	234	243	252	261	270
Lithos 14 1 L	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
Lithos 1 1 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 2 1 L	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Lithos 3 1 L	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140	147	154	161	168	175	182	189	196	203	210
Lithos 4 1 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 20 1 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 21 1 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 22 1 L	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152	160	168	176	184	192	200	208	216	224	232	240
Lithos 17 1 L	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152	160	168	176	184	192	200	208	216	224	232	240
Lithos 18 1 L	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Lithos 23 1 L	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
Lithos 24 1 L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Lithos 25 1 L	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
Lithos 11 1 L	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240	252	264	276	288	300	312	324	336	348	360
Lithos 19 0,8 L	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
Lithos 16 0,8 L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Lithos 26 0,8 L	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120
Lithos 24 0,8 L	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
Lithos 25 0,8 L	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50</					

Lampiran C: Data Waktu *Setup* dari Setiap Pergantian Produk (2)

Jenis Produk	Data Waktu <i>Setup</i> dari Setiap Pergantian Produk																								
	L 7 4 liter	L 8 4 liter	L 19 1 liter	L 9 1 liter	L 12 1 liter	L 13 1 liter	L 14 1 liter	L 1 1 liter	L 2 1 liter	L 3 1 liter	L 4 1 liter	L 20 1 liter	L 21 1 liter	L 22 1 liter	L 17 1 liter	L 18 1 liter	L 23 1 liter	L 24 1 liter	L 25 1 liter	L 11 1 liter	L 19 0,8 liter	L 16 0,8 liter	L 26 0,8 liter	L 24 0,8 liter	L 25 0,8 liter
L 1 10 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 2 10 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 3 10 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 4 10 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 1 5 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 2 5 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 4 5 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 5 5 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 6 5 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 7 5 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 8 5 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 9 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 10 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 11 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 12 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 13 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 14 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 3 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 15 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 4 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 16 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 17 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 18 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 5 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 6 4 liter	3,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 7 4 liter	1,5	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 8 4 liter	3,5	1,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
L 19 1 liter	4	4	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 9 1 liter	4	4	3	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 12 1 liter	4	4	3	3	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 13 1 liter	4	4	3	3	3	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 14 1 liter	4	4	3	3	3	3	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 1 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 2 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	3	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 3 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	3	3	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 4 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 20 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 21 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 22 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 17 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 18 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5	3	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 23 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5	3	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 24 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 25 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 11 1 liter	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
L 19 0,8 liter	4	4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	1,5	3	3	3	3
L 16 0,8 liter	4	4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3	1,5	3	3	3
L 26 0,8 liter	4	4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3	3	1,5	3	3
L 24 0,8 liter	4	4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3	3	3	1,5	3
L 25 0,8 liter	4	4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3	3	3	3	1,5

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Kabupaten Magetan, Jawa Timur pada tanggal 22 September 1995 dengan nama lengkap Alief Septiwianto. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan dari pasangan Narto dan Wiwik Sulastri. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK RA Perwanida, MIN Demangan, SMP Negeri 1 Madiun, dan SMA Negeri 2 Madiun. Pada tahun 2013, penulis melanjutkan studi sebagai mahasiswa Strata-1

Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Saat menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dan organisasi. Riwayat organisasi yang pernah diikuti penulis yaitu staf Departemen Hubungan Masyarakat Lembaga Dakwah Jurusan (MSI Ulul Ilmi) Teknik Industri ITS pada tahun 2014-2015, anggota Komunitas Pecinta Alam (Mahapati) Teknik Industri ITS tahun 2014-2015, Kepala Departemen Hubungan Masyarakat MSI Ulul Ilmi Teknik Industri ITS tahun 2015-2016, dan Koordinator Eksternal Mahapati Teknik Industri ITS tahun 2015-2016. Penulis juga pernah mengikuti kegiatan sosial ITS Mengajar For Indonesia yang diadakan oleh BSO IECC BEM ITS di daerah Probolinggo selama bulan Juni 2015. Pada tahun 2016 penulis berkesempatan melakukan Kerja Praktik Industri di PT Kimia Farma (Persero) Tbk Plant Unit Watudakon di Departemen Produksi. Pada tahun 2017 penulis juga berkesempatan untuk melakukan Kerja Praktik Industri di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. Di bidang akademik penulis menekuni bidang keahlian Concurrent Engineering, Analisa Produktivitas, Procurement, Data Mining, Enterprise Resource Planning, dan Klaster Industri. Penulis dapat dihubungi melalui email aliefsepti@gmail.com.