



TUGAS AKHIR – TI 141501

**PENGEMBANGAN MODEL HEURISTIK UNTUK
PENJADWALAN PRODUKSI PADA PPC GAMES ONLINE
(www.ie.its.ac.id/game)**

AFIF BURHANUDDIN

2508100705

Dosen Pembimbing:

Yudha Andrian Saputra, S.T., MBA

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



FINAL PROJECT – TI 141501

**HEURISTIC MODEL DEVELOPMENT FOR
PRODUCTION SCHEDULING AT PPC GAMES ONLINE
(www.ie.its.ac.id/game)**

AFIF BURHANUDDIN

2508100705

Supervisor:

Yudha Andrian Saputra, S.T., MBA

INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015

**PENGEMBANGAN MODEL HEURISTIK UNTUK PENJADWALAN
PRODUKSI PADA PPC GAMES ONLINE**

(www.ie.its.ac.id/game)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri

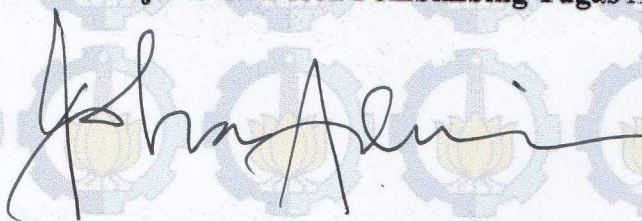
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Afif Burhanuddin

NRP. 2508100705

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



Yudha Andrian Saputra, S.T., MBA

(Pembimbing)

SURABAYA

JUNI, 2015



PENGEMBANGAN MODEL HEURISTIK UNTUK PENJADWALAN PRODUKSI PADA PPC GAMES ONLINE

(www.ie.its.ac.id/game)

Nama : Afif Burhanuddin
NRP : 2508 100 705
Jurusan : Teknik Industri FTI-ITS
Pembimbing : Yudha Andrian Saputra ST., MBA.

ABSTRAK

“PPC Games” adalah salah satu *game* edukasi di bidang manajemen produksi. Pemain dalam “PPC Games” berperan sebagai manajer produksi di sebuah perusahaan yang bertugas mengatur penjadwalan produksi. Permasalahan dalam “PPC Games” adalah bagaimana perusahaan bisa memenuhi order yang diterima selama sebulan yang apabila tidak terpenuhi akan mendapatkan penalti. Oleh karena itu peran pemain sebagai manajer produksi adalah merancang suatu penjadwalan produksi untuk memenuhi *order* tersebut dengan penalti sekecil mungkin. Permasalahan ini selanjutnya diselesaikan dengan proses *material requirements planning* (MRP). Penyelesaian yang dihasilkan dengan metode MRP ini ternyata menghasilkan keputusan yang tidak sesuai dengan kondisi dan batasan pada “PPC Games” yang seharusnya. Oleh karena itu pengerjaan MRP ini dilanjutkan dengan pendekatan metode heuristik agar bisa mengakomodasi kondisi dan batasan yang ada pada “PPC Games”. Metode heuristik ini kemudian dapat menyelesaikan persoalan pada “PPC Games” dengan penalti sebesar 420. Metode lainnya yang digunakan untuk memecahkan permasalahan pada “PPC Games” adalah metode *genetic algorithm*. Metode ini menghasilkan penalti sebesar 1320.

Kata kunci : Game Edukasi, Genetic Algorithm, Material Requirements Planning, Metode Heuristik, Perencanaan Produksi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

HEURISTIC MODEL DEVELOPMENT FOR PRODUCTION SCHEDULING AT PPC GAMES ONLINE

(www.ie.its.ac.id/game)

Student Name : Afif Burhanuddin
NRP : 2508 100 705
Department : Industrial Engineering FTI-ITS
Supervisor : Yudha Andrian Saputra ST., MBA.

ABSTRACT

"PPC Games" is one of the educational games in the field of production management. The player in the "PPC Games" acted as production manager in a company that is responsible for managing production scheduling. The problem in "PPC Games" is how the company could fulfill orders received during a month which, if not met will get a penalty. Therefore the role of the player as a production manager is designing a production scheduling to meet the order with penalty as small as possible. This problem is further solved by the material requirements planning (MRP). The resulting solution with MRP method turned out to produce a decision that does not comply with the conditions and limits on "PPC Games" should be. Therefore heuristic approach is used in order to accommodate the conditions and the restrictions on the "PPC Games". This heuristic method can then resolve the issue on "PPC Games" with a penalty of 420. Other method used to solve the problem on "PPC Games" is a genetic algorithm method. This method produces a penalty of 1320.

Keywords : *Game Education, Genetic Algorithm, Heuristic Method, Material Requirements Planning, Production Planning*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Pengembangan Model Heuristik Untuk Penjadwalan Produksi Pada PPC Games Online (www.ie.its.ac.id/game)**”.

Laporan Tugas Akhir ini tidak akan terwujud tanpa bantuan dari pihak lain. Dalam kesempatan ini penulis ingin memberikan ucapan terima kasih yang diberikan kepada penulis selama pelaksanaan Tugas Akhir, yaitu:

1. Allah SWT dengan segala karunia dan rahmat-Nya
2. Kedua orang tua, kedua mertua saya dan seluruh keluarga besar saya, terima kasih atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan serta bantuannya selama ini
3. Bapak Yudha Andrian Saputra ST., MBA, selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam membimbing penulis serta memberikan banyak ilmu, masukan dan dukungan kepada penulis
4. Bapak dan Ibu dosen penguji yang memberikan saran dan masukan yang membangun bagi tugas akhir ini
5. Istri tercinta saya, Indra Darimi Mukafa'ah, yang selalu memberikan dukungan selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman seperjuangan 08IE (khususnya Yofi Kresna Raharjo dan Donna Andy Permana) yang berjuang dalam menyelesaikan tugas akhir supaya lulus pada semester terakhir ini
7. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan laporan ini

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Perencanaan dan Pengendalian Produksi	7
2.1.1 Peramalan	9
2.1.2 Aggregate Planning	10
2.1.3 Master Production Schedule	11
2.1.4 Material Requirements Planning	13
2.1.5 Production Activity Control.....	15
2.2 <i>Game</i> Edukasi	15
2.2.1 PPC Games Gemastik 2010	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	25

4.1 Pengumpulan Data.....	25
4.2 Pengolahan Data	26
4.2.1 Gambaran PPC <i>Game</i>	26
4.2.1.1 Model Konseptual.....	28
4.2.2 Penyelesaian PPC <i>Game</i>	30
4.2.2.1 <i>Material Requirements Planning</i> (MRP)	30
4.2.2.2 Proses <i>Material Requirements Planning</i>	36
4.2.2.3 Pendekatan Heuristik Pada <i>Material Requirements Planning</i>	43
BAB V ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA	69
5.1 Analisa Penalti pada Metode MRP	69
5.2 Optimasi dengan Metode <i>Genetic Algorithm</i>	70
5.3 Analisa Penalti pada Metode <i>Genetic Algorithm</i>	83
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	85
6.1 Kesimpulan	85
6.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA.....	87
BIODATA PENULIS.....	89

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 <i>Game</i> Edukasi di Bidang Produksi dan Logistik	3
Tabel 4.1 Data MPS dalam sebulan	35
Tabel 4.2 Catatan Inventori.....	36
Tabel 4.3 Matriks MRP Item <i>Low-Level-Code</i> 0.....	40
Tabel 4.4 Matriks MRP Material <i>Low-Level-Code</i> 1.....	41
Tabel 4.5 Matriks MRP Material <i>Low-Level-Code</i> 2.....	42
Tabel 4.6 Matriks MRP Material <i>Low-Level-Code</i> 3.....	43
Tabel 4.7 Matriks MRP dengan Penambahan Pemesanan.....	47
Tabel 4.8 Proses Pembelian Bahan Baku.....	48
Tabel 4.9 Pemrosesan Material WIP di M1	48
Tabel 4.10 Pemrosesan Material WIP di M2	48
Tabel 4.11 Pemrosesan Material A di M3	48
Tabel 4.12 Pindahan Pemrosesan Material WIP di Mesin M1	51
Tabel 4.13 Perubahan Matriks MRP Material WIP D dan Material WIP F	52
Tabel 4.14 Kebutuhan Material Setiap Produk yang Berhubungan dengan Mesin M2	53
Tabel 4.15 Matriks MRP Dengan Komponen <i>Inventory On Hand</i>	54
Tabel 4.16 Kondisi <i>Inventory On Hand</i> pada Setiap Level Prioritas.....	56
Tabel 4.17 Pengecekan Keberhasilan Proses <i>Assembly</i>	57
Tabel 4.18 Tabel Penalti untuk <i>Order</i>	57
Tabel 4.19 Perubahan Data <i>Order</i>	61
Tabel 4.20 Perubahan Matriks MRP	62
Tabel 4.21 Pembelian Bahan Baku	63
Tabel 4.22 Matriks MRP Bahan Baku dengan Penambahan Inventori	64
Tabel 4.23 Matriks MRP Bahan Baku dengan Penggabungan Pembelian	65
Tabel 4.24 Matriks MRP Akhir	66
Tabel 4.25 Keputusan Pemain.....	67
Tabel 5.1 Jumlah Kebutuhan Material Setiap Produk	72
Tabel 5.2 Data Inventori Gudang G1 dan G2 pada hari ke-0	73
Tabel 5.3 Jumlah Pembelian <i>Raw Material</i>	73

Tabel 5.4 Batasan Pembelian <i>Raw Material</i>	74
Tabel 5.5 Pemilihan Material di Mesin M1 dan M2	75
Tabel 5.6 Jumlah Material yang diproses di Mesin M1 dan M2.....	75
Tabel 5.7 Pemrosesan Material A di Mesin M3	76
Tabel 5.8 <i>On hand inventory</i>	78
Tabel 5.9 Pengecekan Material	79
Tabel 5.10 <i>Inventory on hand</i> Setiap Level Prioritas	80
Tabel 5.11 Pengecekan <i>Assembly</i>	80
Tabel 5.12 Inventori Awal Gudang	81
Tabel 5.13 <i>Input</i> pada PPC <i>Game</i>	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Perencanaan dan Pengendalian Produksi	8
Gambar 2.2 MPS <i>environment</i> yang berbeda	13
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> metodologi penelitian	21
Gambar 4.1 Proses <i>Input</i> Gudang G1 dan G2 pada Hari ke-0	26
Gambar 4.2 Proses <i>Input</i> Keputusan Setiap Periode.....	27
Gambar 4.3 Hasil Komputasi PPC <i>Game</i>	28
Gambar 4.4 <i>Flowchart</i> Model Konseptual PPC <i>Game</i>	29
Gambar 4.5 <i>Bill of Material</i> Produk 1	30
Gambar 4.6 <i>Bill of Material</i> Produk 2	31
Gambar 4.7 <i>Bill of Material</i> Produk 3	31
Gambar 4.8 Pengembangan <i>Bill of Material</i> Produk 1	32
Gambar 4.9 Pengembangan <i>Bill of Material</i> Produk 2	32
Gambar 4.10 Pengembangan <i>Bill of Material</i> Produk 3	33
Gambar 4.11 Grafik Gozinto <i>Bill of Material</i>	34
Gambar 4.12 Data <i>Order</i> Selama Sebulan.....	35
Gambar 4.13 <i>Flowchart</i> Algoritma Eliminasi Kekurangan Material	46
Gambar 4.14 <i>Flowchart</i> Algoritma Penyesuain Proses di Mesin M1	50
Gambar 5.1 Optimasi “@Risk”	83

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

Bab pendahuluan ini berisi tentang hal-hal yang mendasari dilakukannya penelitian serta pengidentifikasian masalah penelitian. Komponen-komponen yang terdapat dalam bab pendahuluan ini meliputi latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi beberapa tahun terakhir ini bisa dikatakan sangat pesat yang menyebabkan penggunaan beberapa perangkat teknologi seperti komputer juga ikut meningkat. Salah satu bentuk pemanfaatan komputer yang populer adalah sebagai media permainan (*game*). *Game* merupakan hiburan bagi manusia yang paling menarik (Prensky, 2001). *Game* rupanya dimanfaatkan juga sebagai salah satu metode pembelajaran berkaitan dengan sifat dasar *game* yang menarik tersebut. *Game* sebagai salah satu metode pembelajaran dianggap menjadi penunjang dari metode pembelajaran konvensional seperti ceramah kelas, diskusi, membaca dan sebagainya (Pasin dan Giroux, 2011). Oleh karena itu, pada saat ini banyak dikembangkan *game* sebagai penunjang pembelajaran yang juga disebut sebagai *game* edukasi.

Game edukasi merupakan salah satu media pembelajaran yang efektif (Simkova, 2014). Dalam hal ini *game* edukasi memberikan nuansa yang berbeda dibanding metode pembelajaran yang sudah ada sebelumnya. *Game* edukasi sebagai salah satu bentuk *learning style* dari *new 'virtual generation' (V-gen)* menawarkan pengalaman yang lebih visual, interaktif, dan lebih terfokus terhadap *problem solving* (Pasin dan Giroux, 2011). Pada saat ini, proses pembelajaran tradisional dianggap kurang menarik bagi siswa (Shri, Wai, dan Peter, 2006 dalam Seng dan Yatim, 2014). Hal ini dikarenakan pengajaran konvensional dan tutorial dalam kelas kurang mencukupi dan hanya menyediakan satu sisi *learning environment*. Mayoritas dari siswa saat ini lebih memilih untuk memiliki

kebebasan dalam belajar dan pembelajaran itu juga bersifat *self-learning*. *Computer games* adalah salah satu perangkat yang cocok untuk pembelajaran yang melakukan pendekatan terhadap *student-centered learning*. Hal ini dikarenakan *computer games* tidak hanya untuk hiburan, tapi juga memiliki kemampuan untuk membentuk *self-learning environment* bagi para siswa (Seng dan Yatim, 2014). Penggunaan *game* meningkatkan efisiensi pembelajaran, *game* dapat memberikan pemainnya pengalaman dalam mengaplikasikan teori dan konsep serta dapat meningkatkan kapasitas dari pelajar untuk berpikir (Pivec, Dziabenko, dan Schinnerl, 2003 dalam Chang et al, 2009). Penggunaan *game* sebagai salah satu metode pembelajaran terutama banyak dilakukan oleh pengajar di bidang manajemen produksi, manajemen logistik, dan berbagai macam materi pengambilan keputusan. *Game* digunakan untuk menggambarkan situasi nyata dari perusahaan sehingga para pelajar mempunyai persiapan yang lebih matang dalam menghadapi karir profesional mereka nantinya (Chang et al, 2009).

Pengajar dalam bidang pengambilan keputusan seperti dalam bidang manajemen produksi, manajemen logistik dan manajemen rantai pasok akan menemui kondisi riil yang setiap saat akan terus berkembang. Untuk meningkatkan efektifitas pengajaran di tengah kondisi ini, maka disusunlah metode dalam pengajaran untuk membantu pelajar dalam memahami kondisi riil perindustrian juga mampu mengaplikasikan pengetahuan dan teori yang didapatkan di kelas. Salah satu metode pengajaran tersebut adalah menggunakan *game* atau permainan yang tidak hanya mampu meningkatkan kompetisi belajar di antara pelajar namun juga meningkatkan ketertarikan dalam proses pembelajaran (Chang et al, 2009). Beberapa *games* di bidang produksi juga telah dibuat seperti pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 *Game* Edukasi di Bidang Produksi dan Logistik

Sumber : Chang et al., 2009

Nama <i>Game</i>	Deskripsi	Ruang lingkup keputusan	Developer
MIT <i>Beer Game</i> www.beergame.mit.edu/	Produksi dan distribusi <i>beer</i>	Pemain bertindak sebagai produsen, distributor, wholesaler, atau retailer untuk menentukan jumlah produksi atau jumlah order	Massachusetts Institute of Technology, USA (1988)
Columbia <i>Beer Game</i>	Produksi dan distribusi <i>beer</i>	Pemain bertindak sebagai produsen, distributor, wholesaler, atau retailer untuk menentukan jumlah produksi atau jumlah order (<i>stochastic demand</i>)	Columbia University
Hulia <i>Game</i>	Produksi dan distribusi <i>beer</i>	Pemain bertindak sebagai produsen, distributor, wholesaler, atau retailer	The University of Haifa, Israel
Trading Agent Competition	<i>Online bidding</i>	Pemain bertindak sebagai agen untuk memproduksi PC, memenuhi pesanan	Swedish Institute of Computer Science (2003)
Littlefield Technology	Simulasi manufaktur	Pemain bertindak sebagai produsen untuk menentukan utilitas, antrian, penjadwalan, dan inventori	Stanford University, USA (1996)
The Logi- <i>Game</i>	<i>Game</i> simulasi tentang aliran material di industri sepeda	Pemain bertindak sebagai produsen, distributor, wholesaler, atau retailer untuk menentukan keputusan produksi dan inventori	Technical University of Denmark
Supply Chain <i>Game</i>	Simulasi mengenai produksi dan distribusi di industri automobile	Pemain bertindak sebagai pengambil keputusan di supply chain framework seperti supplier dan assembler	Georgia Institute of Technology

Jika didesain dengan benar, *game* dapat menjadi alat pengajaran yang benar-benar penting (Shreve, 2005 dalam Balasubramanian dan Wilson, 2006). Selain itu perlu diperhatikan beberapa panduan dalam mendesain sebuah *game* edukasi yaitu desain *games* harus menarik dan menantang bagi pelajar (pemain), konten dari *games* harus sesuai dengan standar dan kurikulum yang diajarkan di sekolah, waktu yang dibutuhkan dalam bermain harus sesuai dengan batasan waktu di sekolah, bisa menunjukkan hasil pembelajaran, dan adanya guru dalam

memandu jalannya permainan untuk meningkatkan pembelajaran siswa (Balasubramanian dan Wilson, 2006).

Dalam sebuah perusahaan, PPC (*Production, Planning and Control*) memegang peranan penting yang penting. PPC berperan sebagai pengatur aliran material dalam suatu sistem produksi agar dapat memenuhi *demand* secara efektif dan efisien. Oleh karena itu PPC menjadi bagian mata kuliah wajib dalam jurusan teknik industri. Penggunaan *game* edukasi mengenai PPC tentunya akan membantu proses pembelajaran bagi para pemainnya. Oleh karena itu beberapa *game* yang bertemakan PPC telah dibuat dengan tujuan membantu meningkatkan pemahaman pemain terhadap keilmuan PPC. Salah satu *game* mengenai PPC yang telah dibuat adalah PPC *Game* – geMastik 2010. Pemain dalam PPC *game* ini berperan sebagai manajer sebuah perusahaan yang memiliki wewenang sebagai pengambil keputusan dalam bidang produksi. Terdapat *order* untuk dipenuhi oleh perusahaan dalam periode tertentu. Apabila *order* dalam PPC *game* ini tidak berhasil dipenuhi maka pemain akan mendapatkan penalti. Selain itu terdapat batasan-batasan dalam proses pengambilan keputusan selama PPC *game* ini berlangsung. Oleh karena itu PPC *game* ini menuntut pemainnya agar mampu merancang skema perencanaan produksi yang efektif untuk memenuhi *order* tersebut. Tujuan akhir dari PPC *game* ini adalah memperoleh penalti minimum dengan cara memaksimalkan jumlah *order* yang bisa dipenuhi namun tetap dalam batasan-batasan yang ada. Untuk mencapai tujuan ini dibutuhkan keputusan yang berdasarkan pada konsep PPC. Pada tugas akhir ini akan dilakukan pemecahan masalah yang terdapat pada PPC *game* dengan menggunakan konsep PPC. Pemecahan masalah ini akan menghasilkan keputusan yang dapat digunakan oleh pemain dalam PPC *game* untuk mendapatkan penalti seminimal mungkin.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, perumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah bagaimana menyelesaikan persoalan dalam PPC *game* dengan menggunakan konsep PPC.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah sebelumnya, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini antara lain :

1. Mencari pemecahan masalah dalam PPC *game* menggunakan konsep PPC.
2. Menggunakan pendekatan heuristik untuk menyelesaikan permasalahan dalam PPC *game*.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain :

1. Membantu pemain memahami konsep PPC.
2. Mengetahui permasalahan yang muncul ketika melakukan kegiatan PPC.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini meliputi batasan dan asumsi penelitian. Berikut ini merupakan batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini :

a. Batasan

Hal-hal yang menjadi batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Proses game yang berlangsung secara garis besar mengikuti kondisi game eksisting.
2. Keputusan yang dihasilkan oleh pemain akan disesuaikan dengan kondisi yang normal meskipun pada PPC *game* memungkinkan untuk lebih dari itu.

b. Asumsi

Asumsi yang dipergunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. PPC *game* memberikan penalti untuk kegagalan order dan kelebihan kapasitas gudang. Asumsi yang digunakan adalah penalti untuk kelebihan kapasitas gudang diabaikan.
2. Utilitas mesin diasumsikan konstan dengan nilai paling kecil.

3. Algoritma perhitungan assembly material A disesuaikan dengan kondisi yang seharusnya dan tidak mengikuti algoritma pada kondisi PPC game

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini berisi tentang uraian konsep-konsep dan teori-teori yang relevan dan berkaitan dengan permasalahan yang akan diteliti. Konsep-konsep dan teori-teori yang menjadi landasan secara konseptual atau teoritis dalam penelitian ini diperoleh dari literatur-literatur yang telah ada

2.1 Perencanaan dan Pengendalian Produksi

Perencanaan dan pengendalian produksi didefinisikan sebagai teknik yang mengelola aliran material yang masuk dalam sistem produksi, mengalir dalam sistem produksi, dan keluar dari sistem produksi sehingga sistem produksi dapat memenuhi demand dengan efektif serta efisien. Tujuan dari pengendalian produksi adalah merencanakan dan mengendalikan arus bahan-bahan ke dalam melewati (dalam proses/operasi) dan keluar dari pabrik sedemikian rupa, sehingga keuntungan optimal yang menjadi sasaran perusahaan dapat dicapai (Biegel, 1999).

Biegel (1999) menyebutkan fungsi pengendalian produksi adalah sebagai berikut:

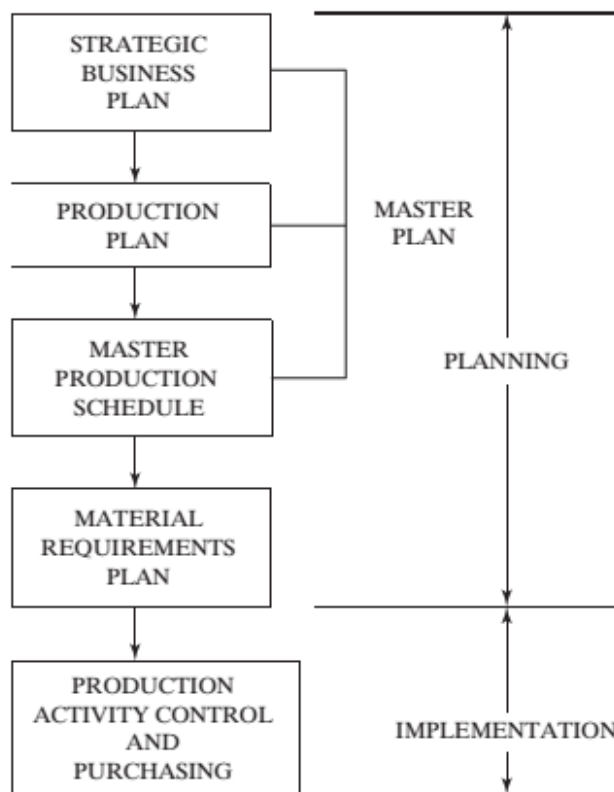
1. Meramalkan permintaan produk yang dinyatakan dengan jumlah sebagai suatu fungsi dari waktu
2. Memantau permintaan nyata, dan membandingkannya dengan ramalan permintaan serta memperbaiki ramalan tersebut jika diperlukan.
3. Membuat jumlah ekonomis untuk pembelian dan pembuatan produk yang dihasilkan.
4. Membuat sistem pengendalian secara ekonomis.
5. Membuat keperluan produksi dan tingkat pengendalian pada batas waktu tertentu.
6. Memantau tingkat pengendalian dan membandingkannya dengan rencana pengendalian serta memperbaiki rencana produksi jika diperlukan.

7. Membuat rincian dari jadwal produksi, penugasan kerja, beban mesin, dan lain-lain.
8. Melakukan perencanaan proyek menggunakan CPM, PERT, dan lain-lain.

Terdapat lima tingkatan dalam perencanaan dan pengendalian produksi (Arnold, Chapman, dan Clive, 2008) yaitu:

1. *Strategic production plan*
2. *Production plan (sales dan operations plan)*
3. *Master production schedule*
4. *Material requirements planning*
5. *Purchasing dan production activity control*

Setiap tingkatan memiliki perbedaan dalam tujuannya, jangka waktu, dan tingkat kedetailannya.



Gambar 2.1 Sistem Perencanaan dan Pengendalian Produksi

Sumber : Arnold, Chapman, dan Clive (2008)

2.1.1 Peramalan

Peramalan adalah suatu perkiraan tingkat permintaan yang diharapkan untuk suatu produk atau beberapa produk dalam periode waktu tertentu di masa yang akan datang (Biegel, 1999). Peramalan menurut Biegel (1999) mempunyai kegunaan sebagai berikut:

1. Menentukan apa yang dibutuhkan untuk perluasan pabrik.
2. Menentukan perencanaan lanjutan bagi produk-produk yang ada untuk dikerjakan dengan fasilitas-fasilitas yang ada.
3. Menentukan penjadwalan jangka pendek produk-produk yang ada untuk dikerjakan berdasarkan peralatan yang ada.

Ada beberapa teknik *forecasting* yang secara umum terbagi menjadi tiga kategori yaitu kualitatif, ekstrinsik, dan intrinsik (Arnold, Chapman, dan Clive, 2008).

1. Teknik Kualitatif

Teknik kualitatif adalah proyeksi berdasarkan *judgement*, intuisi, dan informasi opini. Pada dasarnya teknik ini bersifat subjektif. Salah satu teknik kualitatif yang umum dipakai adalah metode Delphi yaitu metode yang menggunakan panel para ahli yang memberikan opini atas hal yang akan terjadi.

2. Teknik Ekstrinsik

Teknik ekstrinsik adalah proyeksi yang berdasarkan pada indikator eksternal (ekstrinsik) yang berhubungan dengan *demand* dari sebuah produk perusahaan.

3. Teknik Intrinsik

Teknik intrinsik adalah teknik yang menggunakan data historis untuk melakukan peramalan. Peramalan dengan teknik intrinsik menggunakan asumsi bahwa apa yang terjadi di masa lalu akan terulang lagi di masa depan. Beberapa teknik intrinsik adalah *moving averages*, *exponential smoothing*, dan *seasonality*.

2.1.2 Aggregate Planning

Aggregate planning menetapkan tingkatan produksi dan inventori secara umum selama masa perencanaan. Tujuan utamanya adalah untuk mencapai tingkat produksi yang bisa memenuhi *strategic business plan*. Biasanya jangka waktu perencanaan *aggregate planning* adalah dari enam sampai delapan belas bulan. Proses *aggregate planning* dilakukan dalam kelompok produk (*product family*). (Arnold, Chapman, dan Clive, 2008).

Terdapat beberapa strategi dalam penyusunan *aggregate planning* seperti *chase strategy*, *production levelling*, *subcontracting*, dan *hybrid strategy* (Arnold, Chapman, dan Clive, 2008).

1. *Chase strategy*

Chase strategy berarti memproduksi sesuai dengan permintaan setiap waktu. *Inventory levels* akan stabil sedangkan tingkat produksi bervariasi mengikuti permintaan. Keuntungan dari strategi ini adalah biaya inventori bisa ditekan.

2. *Production levelling*

Production levelling adalah memproduksi dengan jumlah sesuai dengan rata-rata dari permintaan. Keuntungannya adalah operasional yang stabil. Hal ini dikarenakan strategi ini juga mengumpulkan inventori. Kerugiannya adalah adanya biaya inventori.

3. *Subcontracting*

Subcontracting berarti memproduksi dengan jumlah yang disesuaikan dengan permintaan minimum dan memenuhi permintaan tambahan melalui *subcontracting*.

4. *Hybrid strategy*

Hybrid strategy berusaha mengkombinasikan beberapa strategi untuk meminimalkan semua biaya yang ada. Dalam kenyataannya, *hybrid strategy* ini sangat banyak jumlahnya karena tergantung pada pihak manajemen produksi dalam merancanginya.

2.1.3 Master Production Schedule

Master production schedule (MPS) merupakan langkah yang sangat penting dalam perencanaan dan juga sebagai penghubung komunikasi antara bagian *sales* dengan *manufacturing*. MPS merupakan penghubung yang vital dalam sistem perencanaan produksi :

1. Menjadi penghubung antara perencanaan produksi dan apa yang akan dibentuk oleh sistem manufaktur.
2. Menjadi dasar untuk menghitung kapasitas dan sumber daya yang dibutuhkan.
3. Sebagai penentu *material requirement plan* (MRP). MPS dan *bills of material* memutuskan komponen yang dibutuhkan dari *manufacturing* dan *purchasing*.
4. Menjaga prioritas. MPS merupakan perencanaan prioritas untuk *manufacturing*.

Apabila *aggregate planning* bekerja pada *product family*, MPS bekerja dengan *end item*. MPS memecah *aggregate planning* menjadi kebutuhan untuk tiap *individual end items*, dalam tiap *family*, dalam kuantitas dan tanggalnya. *Aggregate planning* membatasi MPS. Oleh karena itu jumlah total dari *items* di MPS harus sama dengan jumlah total yang ditampilkan oleh *aggregate planning*. Dengan batasan ini, tujuan dari MPS adalah menyeimbangkan permintaan (*priorities*) yang ditetapkan oleh pasar dengan ketersediaan dari material, pekerja, dan peralatan (kapasitas) dari *manufacturing*. *End items* yang diproduksi oleh pabrik merupakan gabungan dari komponen dan sub-komponen. Hal ini harus tersedia dalam jumlah yang cukup dan dalam waktu yang tepat agar bisa mendukung MPS. Sistem MRP menyusun penjadwalan dari komponen-komponen ini berdasarkan kebutuhan dari MPS. Oleh karena itu MPS menentukan MRP (Arnold, Chapman, dan Clive, 2008).

MPS adalah perencanaan untuk *manufacturing*. MPS menunjukkan kebutuhan pasar, kapasitas dari *manufacturing*, dan membentuk perencanaan prioritas bagi *manufacturing* untuk diikuti. Adapun informasi yang dibutuhkan dalam penyusunan MPS adalah:

1. *Aggregate planning*

2. Peramalan untuk setiap individual *end items*
3. *Actual orders* dari *customers* juga untuk pemulihan stok
4. Level inventori untuk setiap individual *end items*
5. Batas kapasitas

Sedangkan tujuan dari penyusunan MPS adalah sebagai berikut:

1. Untuk menjaga level dari *customer service* dengan mengatur level inventori dari produk jadi
2. Untuk memaksimalkan penggunaan material, pekerja, dan mesin.
3. Untuk menjaga biaya inventori

Untuk mencapai tujuan tersebut, perencanaan harus memuaskan *customer demand*, dalam lingkup kapasitas dari *manufacturing*, dan dalam acuan perencanaan produksi. Terdapat tiga langkah dalam penyusunan MPS sebagai berikut:

1. Menyusun MPS tahap awal
2. Memeriksa MPS tahap awal dengan kapasitas yang tersedia
3. Memperbaiki perbedaan antara MPS tahap awal dengan kapasitas yang tersedia

Proses pemeriksaan MPS tahap awal terhadap kapasitas yang tersedia disebut juga sebagai *rough-cut capacity planning*. *Rough-cut capacity planning* memeriksa apakah sumber daya yang kritis tersedia untuk memenuhi MPS tahap awal. Sumber daya kritis misalnya adalah operasi *bottleneck*, pekerja, dan material kritis (seperti material yang memiliki *lead time* yang panjang) (Arnold, Chapman, dan Clive, 2008).

MPS seharusnya bersifat seefisien mungkin. Jika terlalu banyak *items* yang dimasukkan, ini akan berakibat pada kesulitan dalam peramalan dan pengaturan MPS. Dalam tiap *manufacturing environments*, MPS seharusnya berperan di jumlah pilihan produk yang terkecil. Berikut ini adalah letak di mana MPS berperan dalam *manufacturing environment* yang berbeda:

1. *Make-to-stocks*

Dalam *make-to-stocks*, *items* standar dengan jumlah terbatas disusun dari banyak komponen. Televisi merupakan contohnya. MPS biasanya berupa penjadwalan dari barang jadi.

2. *Make-to-order*

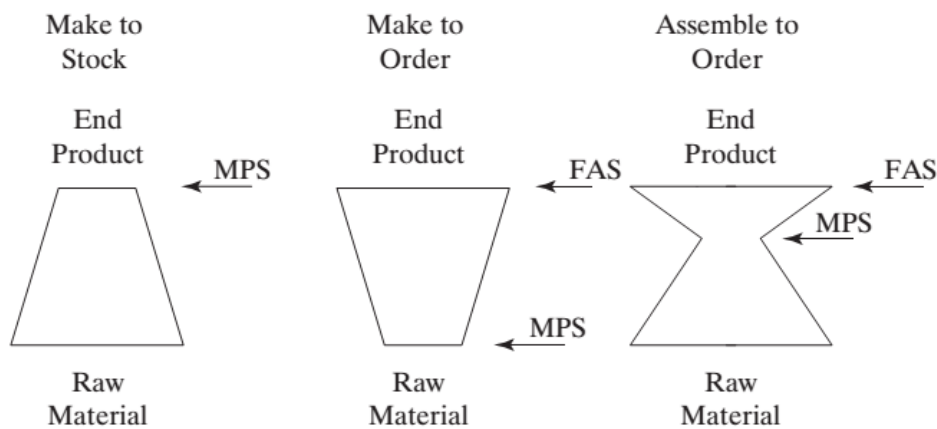
Dalam *make-to-order*, kebanyakan *end items* yang berbeda dibuat dari komponen dalam jumlah yang kecil. Contohnya adalah baju dengan desain *custom*. MPS biasanya berupa penjadwalan dari *actual customer orders*.

3. *Assemble-to-order*

Dalam *assemble-to-order*, kebanyakan *end items* dapat dibuat dari kombinasi komponen dasar dan *subassemblies*. MPS dapat dilakukan pada *base items*.

4. *Final assembly schedule (FAS)*

Final assembly schedule biasanya digunakan untuk *make-to-order* dan *assembly-to-order*. Ini merupakan penjadwalan terhadap apa yang akan di-*assembly* dan digunakan ketika banyak pilihan produk serta sulit untuk melakukan peramalan terhadap kombinasi pilihan yang pembeli inginkan. MPS dilakukan di level komponen.



Gambar 2.2 MPS *environment* yang berbeda

Sumber : Arnold, Chapman, dan Clive (2008)

2.1.4 Material Requirements Planning

Material requirements planning adalah suatu sistem yang menunjukkan komponen yang dibutuhkan tiap level *assembly* dan menunjukkan kapan komponen tersebut akan dibutuhkan berdasarkan *lead times*. *Material requirement planning* memiliki tujuan yaitu memiliki material yang tepat dengan jumlah yang

tepat di waktu yang tepat untuk memenuhi *demand* dari produk (Chapman, Clive dan Arnold, 2008).

Terdapat tiga *input* yang dibutuhkan untuk MRP yaitu:

1. *Master production schedule*

Master production schedule adalah *statement* yang menunjukkan *end items* mana yang akan diproduksi, jumlah masing-masing, dan tanggal selesainya. Hal ini berpengaruh pada MRP yaitu sebagai masukan awal *items* yang dibutuhkan.

2. Catatan inventori

Catatan inventori merupakan masukan yang penting bagi MRP. Ketika perhitungan dilakukan untuk menentukan jumlah atau kuantitas, maka jumlah yang sudah ada harus diperhitungkan.

3. *Bills of material*

The Association for Operations Management (APICS) mendefinisikan bill of material sebagai daftar dari semua subassemblies, intermediates, parts, dan raw materials yang dibutuhkan untuk menyusun *parent assembly* serta jumlah yang dibutuhkan.

Perlu diketahui bahwa terdapat dua tipe *demand* yaitu independen dan dependen. *Demand* independen tidak berhubungan dengan *demand* produk yang lain. *Items* dalam MPS merupakan *items* dengan *demand* independen. Karena *demand* independen tidak dipengaruhi oleh *demand* produk lain, maka perlu dilakukan peramalan untuk menentukan jumlah yang sesuai. Sedangkan *demand* dependen secara langsung berhubungan dengan *demand* dari produk dengan level yang lebih tinggi sehingga bisa dihitung. *Material requirements planning* dirancang untuk melakukan perhitungan ini (Arnold, Chapman, dan Clive, 2008).

Langkah-langkah dasar dalam pengelolaan MRP adalah sebagai berikut (Kusuma, 2009):

1. *Netting*

Netting adalah proses mencari kebutuhan bersih yaitu selisih antara kebutuhan kotor dengan persediaan.

2. *Lotting*

Lotting merupakan proses untuk menentukan besarnya pesanan yang optimal berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan bersih.

3. *Offsetting*

Offsetting merupakan proses untuk menentukan waktu yang tepat dalam melakukan rencana pemesanan untuk memenuhi kebutuhan bersih dengan cara mengurangi saat awal tersedianya ukuran lot yang diinginkan dengan besarnya *lead time*.

4. *Explosion*

Explosion merupakan proses perhitungan kebutuhan kotor *item* yang berada di tingkat lebih bawah, berdasarkan pada rencana pemesanan yang disusun pada tahap *offsetting*.

2.1.5 Production Activity Control

Production activity control (PAC) berperan mengeksekusi MPS dan MRP. Dalam waktu yang bersamaan PAC juga memastikan penggunaan dari pekerja dan mesin, meminimalkan inventori *work-in-process*, dan menjaga servis konsumen (Arnold, Chapman, dan Clive, 2008). Dalam prakteknya, MRP memberikan wewenang PAC dalam hal sebagai berikut:

1. Mengeluarkan *work orders* untuk *shop*
2. Mengontrol *work orders* dan memastikannya selesai tepat waktu
3. Mengatur aliran *work orders* dalam pabrik
4. Mengatur aktivitas sehari-hari dan memberikan bantuan yang dibutuhkan

Aktivitas dari sistem PAC dapat dibagi menjadi perencanaan, implementasi, dan fungsi kontrol. Perencanaan berarti setiap *work centers* yang ada harus disiapkan agar bisa menyelesaikan pekerjaan sesuai jadwal. Implementasi berarti PAC harus menyampaikan kepada *shop floor* apa yang harus dilakukan. Fungsi kontrol berarti melakukan pengawasan dan membandingkannya dengan rencana lalu melakukan perbaikan jika diperlukan.

2.2 Game Edukasi

Game adalah aktivitas *problem solving* interaktif yang mempunyai tujuan, konflik, peraturan, dan tantangan yang mengikat para pemainnya (Schell, 2008)

dalam Samur, 2012). Prensky (2001) menyebutkan bahwa *games* merupakan hiburan bagi manusia yang paling menarik dikarenakan dua belas faktor sebagai berikut:

1. *Games* adalah sebuah bentuk hiburan.
2. *Games* adalah sebuah bentuk permainan.
3. *Games* memiliki peraturan.
4. *Games* memiliki tujuan yang harus dicapai.
5. *Games* bersifat interaktif.
6. *Games* bersifat adaptif.
7. *Games* merupakan hasil dan *feedback*.
8. *Games* memecahkan masalah.
9. *Games* memiliki representasi dan cerita.
10. *Games* mengandung interaksi.
11. *Games* mengandung tantangan, persaingan, dan perlawanan.
12. *Games* dapat memberikan kemenangan.

Samur (2012) mendefinisikan *game* edukasi sebagai segala macam *game* yang dapat dimainkan dengan sistem yang terkomputerisasi (*video games*, *computer games*, dan *mobile games*) untuk membantu perkembangan akademis dan psikologis pelajar (seperti kemampuan belajar, pengalaman, motivasi, dan *engagement*). Meski demikian *game* edukasi sebenarnya tidak terbatas pada sistem yang terkomputerisasi seperti *video games* (Perrotta et al, 2013). *Game* edukasi mencakup perkembangan teknologi yang mengaburkan garis antara format, spesifikasi, bahasa, dan praktek yang terasosiasi dengan *video games*, yang akhirnya menyebabkan ke bermacam pengalaman yang tidak bisa hanya dikaitkan pada *video games* saja (De Freitas dan Griffiths, 2008 dalam Perrotta et al, 2013). Selanjutnya Perrotta et al (2013) mendefinisikan *game* edukasi sebagai sebuah bentuk pengalaman terikat yang mana orang dapat belajar melalui *trial* dan *error*, *role-playing* dan dengan memperlakukan suatu topik tertentu bukan sebagai “konten” melainkan sebagai sebuah kumpulan dari peraturan atau sebuah sistem yang terdiri dari pilihan dan konsekuensi. Perrotta et al (2013) merumuskan beberapa prinsip dan mekanisme untuk melengkapi definisi mengenai *game* edukasi. Prinsip berarti asumsi dan konsep yang mendasari. Mekanisme berarti

proses dan dinamika yang membantu pemahaman bagaimana *video games* secara teori membantu mencapai tujuan edukasi. Prinsip dan mekanisme yang disebutkan adalah sebagai berikut:

1. Prinsip

- a. Hakekatnya memotivasi

Bermain *game* hakekatnya memotivasi pemainnya karena dilakukan secara sukarela. Oleh karena itu game edukasi bekerja dengan baik dalam konteks undangan atau ajakan bukan melalui paksaan.

- b. Belajar melalui rasa menikmati dan senang

Game dapat menjadi sarana dalam menarik pelajar dalam sebuah “*flow*”. *Flow* merupakan kondisi kesadaran ketika seseorang sedang mengontrol perbuatannya dan sepenuhnya terfokus pada perbuatannya.

- c. Otentik

Otentik berhubungan dengan kondisi natural dalam pembelajaran. Hal ini berbeda dengan bentuk pembelajaran “buatan” yang terjadi di sekolah. Oleh karena itu game edukasi yang bagus menunjukkan proses belajar yang aktual.

- d. Kepercayaan diri dan otonomi

Bermain *game* membuat individu secara bebas mengeksplorasi apa yang menjadi ketertarikannya.

- e. Pembelajaran dari pengalaman

Bermain game dapat memberikan nuansa nyata dalam mempelajari sesuatu.

2. Mekanisme

- a. Peraturan

- b. Tujuan yang jelas tapi menantang

- c. Latar belakang yang menarik dan fiksi

- d. Level kesulitan yang meningkat

- e. Interaksi

- f. Aspek ketidakpastian dan tidak bisa diprediksi

g. *Feedback* yang langsung dan membangun

h. Aspek sosial

Perlu diketahui bahwa terdapat keuntungan dan kerugian penggunaan *game* edukasi dalam pembelajaran (Simkova, 2014) :

Keuntungan

1. Mengembangkan kreativitas pelajar
2. *Game* itu menarik, sehingga kadang-kadang pelajar tidak sadar mereka sedang belajar
3. Membiasakan bekerja dengan teknologi komputer
4. Melalui *game*, pelajar dapat mengingat materi lebih baik
5. Pelajar memilih sendiri kapan waktu mereka belajar
6. Bersifat interaktif
7. Lebih mudah diadaptasi sesuai dengan kemampuan pelajar
8. Lebih ilustratif daripada pembelajaran tradisional

Kerugian

1. Kemungkinan muncul resiko yang berhubungan dengan kesehatan
2. Dapat menimbulkan ketagihan
3. Menghilangkan kemauan untuk membaca buku
4. Pelajar menjadi terasing satu dengan yang lain.

2.2.1 PPC Games Gemastik 2010

PPC games ini menceritakan tentang PT X sebagai perusahaan manufaktur yang berkembang pesat. PT X memiliki 3 produk utama yaitu P1, P2, and P3. Tiap-tiap produk memiliki komposisi material penyusun yang berbeda. terdapat 6 material penyusun produk, yaitu : A, B, C, D, E, and F. Dimana A merupakan material yang disusun dari kombinasi E(1) dan F(1). PT. X bekerja dengan 1 shift selama 8 jam dan 6 hari dalam seminggu. untuk mempermudah simulasi, maka proses permesinan, pembelian dan assembly hanya diizinkan untuk melakukan aktifitas 1 jenis material perhari.

Tujuan dari permainan adalah untuk memenuhi order yang ada setiap harinya. Pemain berperan sebagai *planner*, yang bertugas untuk memutuskan

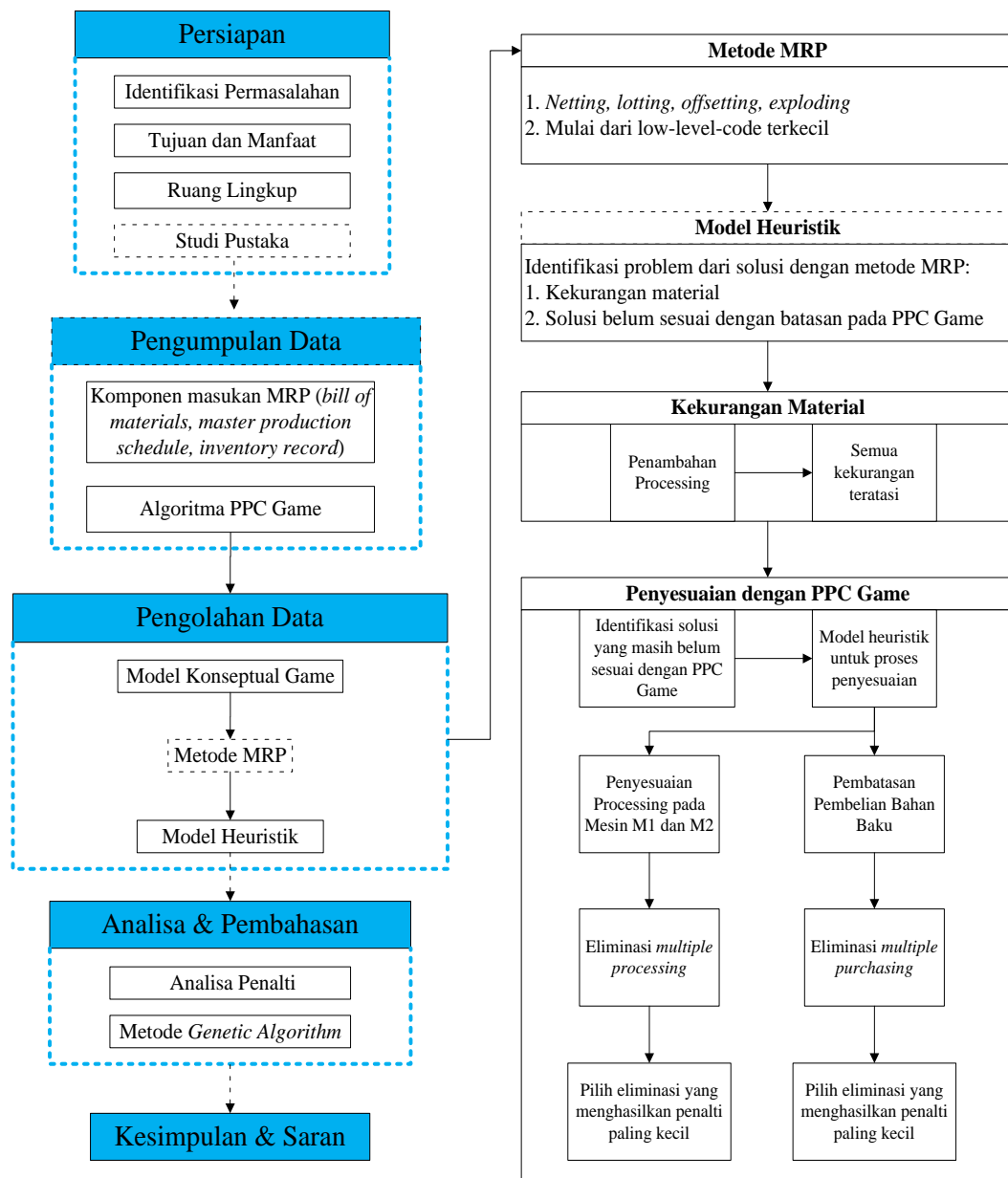
material apa yang akan dibeli, diproses menjadi WIP dan yang berapa material A yang akan diproduksi setiap harinya.

Parameter utama yang akan dievaluasi adalah kemampuan pemain memenuhi *order* yang ada tiap harinya sesuai due date. Tidak ada *backorder* pada PPC *game* maksudnya adalah jika pemain gagal memenuhi order pada hari itu maka pemain akan dianggap kehilangan pembeli. Dan konsekuensinya setiap *order* yang gagal pemain akan dikenakan penalti sebesar 20 untuk setiap *order* yang gagal. Tugas pemain adalah memikirkan berapa dan material apa yang akan dibeli, diproses dan diproduksi tiap hari dan memasukkan keputusan ini pada *field* yang telah disediakan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada metodologi penelitian diuraikan langkah-langkah sistematis penelitian mulai dari latar belakang, tinjauan pustaka sampai dengan penyelesaian dalam bentuk kesimpulan dan saran. Pada gambar 3.1 berikut ini divisualisasikan metodologi yang menjelaskan tahapan dalam penelitian tugas akhir ini.



Gambar 3.1 Flowchart metodologi penelitian

3.1 Tahap Identifikasi

Tahap identifikasi merupakan tahap awal dalam penelitian ini. Tahap ini terdiri dari beberapa langkah, yaitu perumusan masalah, penentuan tujuan penelitian, studi pustaka, dan studi lapangan.

1. Perumusan masalah

Pada tahap ini akan ditetapkan objek penelitian yang akan diamati. Setelah objek penelitian ditentukan, dilakukan penentuan permasalahan yang akan diselesaikan. Selain itu pada langkah ini akan ditetapkan batasan dari penelitian.

2. Penentuan tujuan penelitian

Setelah permasalahan di objek penelitian ditentukan, maka selanjutnya adalah penentuan tujuan dari penelitian yang akan dilakukan.

3. Studi pustaka

Studi pustaka adalah melakukan pencarian referensi yang akan mendukung berjalannya penelitian. Referensi yang digunakan dapat berupa jurnal penelitian, buku, penelitian tugas akhir, maupun artikel-artikel.

3.2 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

3.2.1 Pengumpulan Data

Agar bisa melakukan proses *material requirements planning* (MRP) maka dilakukan pengumpulan komponen *input* yang dibutuhkan. Komponen tersebut adalah *master production schedule* (MPS), catatan inventori dan *bill of material*. Ketiga komponen ini didapatkan dari PPC *game*. Selain itu juga dilakukan identifikasi terhadap algoritma PPC *game* yang nantinya ditampilkan dalam model konseptual.

3.2.2 Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data dimulai dengan penyusunan model konseptual dari PPC *game*. Selanjutnya dilakukan proses MRP dengan menggunakan komponen *input* MRP yang telah dikumpulkan datanya. Pengerjaan MRP ini terdiri dari tahapan *netting*, *lotting*, *offsetting*, dan *exploding*. Tahapan-tahapan ini akan dikerjakan pada setiap tingkatan *low-level-code*.

Hasil yang didapatkan dari pengerjaan MRP selanjutnya disesuaikan dengan batasan-batasan yang terdapat pada PPC *game*. Proses penyesuaian ini dilakukan dengan pendekatan metode heuristik agar didapatkan hasil yang efektif dan efisien. Prinsip dari proses penyesuaian ini adalah memperoleh penalti seminimal mungkin dan memenuhi semua batasan yang terdapat pada PPC *game*.

3.3 Tahap Analisis dan Interpretasi Data

Tahapan ini akan menganalisa bagaimana proses MRP dan metode heuristik dalam memecahkan persoalan pada PPC *game*. Hal yang paling utama untuk dianalisa adalah penalti yang dihasilkan dari pengerjaan sebelumnya. Kemudian akan dilakukan percobaan pencarian solusi dengan cara lain yaitu dengan metode *genetic algorithm*. Metode *genetic algorithm* ini akan menggunakan *default initial value* untuk setiap komponen genetiknya (*population*, *cross over rate*, dan *mutation*) yang pada tugas akhir ini menggunakan *default value* dari software “@Risk”..

3.4 Tahap Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan keseluruhan tahap sebelumnya maka dapat ditarik sebuah kesimpulan. Selain itu juga diberikan saran sebagai perbaikan terhadap penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengumpulan data yang akan digunakan untuk kemudian diolah agar mendapatkan hasil yang diinginkan.

4.1 Pengumpulan Data

Sebelum memasuki tahap pengolahan data, maka perlu melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan. Data-data yang dibutuhkan tersebut diperoleh dalam PPC *game*. Data dalam PPC *game* yang digunakan antara lain algoritma PPC *game*, *bill of material* dan data *order* dalam sebulan. Data-data ini diperoleh dengan mengakses situs PPC *game* pada alamat *url ie.its.ac.id/game* dengan melakukan login terlebih dahulu.

1. Algoritma PPC *game*

Algoritma PPC *game* didapatkan dengan mengamati bagaimana permainan tersebut berjalan. Pada awalnya algoritma ini bisa diketahui dengan mengamati instruksi permainan yang terdapat dalam PPC *game* sebagai pemain. Selanjutnya semua hal yang mungkin terjadi selama permainan juga dicoba untuk mengetahui bagaimana PPC *game* merespon hal tersebut. Semua respon dari PPC *game* ini kemudian dicatat dan disusun menjadi algoritma permainan.

2. *Bill of material*

Bill of material ditampilkan melalui instruksi permainan pada PPC *game*. Pemain bisa mengetahui data jenis dan jumlah material yang menjadi penyusun setiap produk yang ada.

3. Data *order*

Setiap harinya terdapat jumlah *order* yang harus dipenuhi oleh pemain. Jumlah *order* untuk setiap produk bisa diketahui dalam PPC *game* sejak hari ke-0.

4.2 Pengolahan Data

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan pengolahan data-data yang telah dikumpulkan.

4.2.1 Gambaran PPC Game

Sub bab ini bertujuan untuk memberikan Gambaran mengenai PPC *game*. *Game* ini dimulai dengan pemain memasukkan *username* dan *password*. Setelah masuk ke dalam PPC *game*, pemain kemudian memilih satu dari tiga pilihan kesulitan yaitu tiga produk, lima produk, dan tujuh produk. *Game* ini dimulai dengan memasukkan data material B, C, D, E, dan F di gudang G1 dan G2 pada hari ke-0 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Setup Stok Awal

Hari ke-0
Harap inputkan stok awal material di gudang G1 & G2.

Total seluruh material di gudang :
G1 (Raw Warehouse) harus ≤ 120
G2 (Wip Warehouse) harus ≤ 100

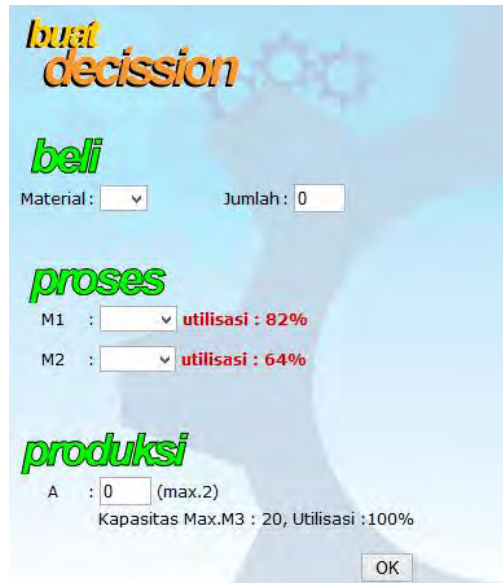
Material	G1	G2
	Raw Whouse	Wip Whouse
mB	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
mC	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
mD	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
mE	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
mF	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Total :	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Setup Data

Gambar 4.1 Proses *Input* Gudang G1 dan G2 pada Hari ke-0

Selanjutnya pada hari pertama pemain diminta untuk memasukkan jenis dan jumlah material yang dibeli, jenis material yang akan diproses di mesin M1 dan M2, serta jumlah material A yang akan di-*assembly* di mesin M3 seperti pada Gambar 4.2. Material yang akan dibeli setiap periodenya maksimal adalah satu jenis material yang dipilih melalui *dropdown menu* beli material. Sedangkan jumlah material yang bisa dibeli adalah bebas. Pemain memasukkan jumlah yang

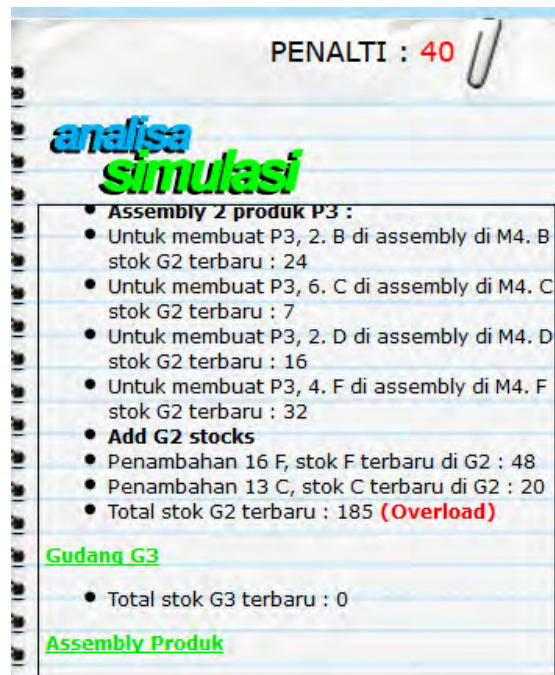
diinginkan pada kotak jumlah material. Kemudian pemain memilih material mana yang akan diproses di mesin M1 dan M2 melalui *dropdown menu* masing-masing maksimal satu jenis material. Pada bagian produksi material A, pemain memasukkan jumlah material A yang ingin diproduksi dengan jumlah maksimal sesuai dengan yang tertera pada tampilan *game*.



The screenshot shows a game interface titled "buat decision" with a gear icon. It is divided into three sections: "beli" (buy), "proses" (process), and "produksi" (production). In the "beli" section, there is a "Material:" dropdown menu and a "Jumlah:" input field with the value "0". The "proses" section shows "M1" and "M2" dropdown menus with utilization rates of "82%" and "64%" respectively. The "produksi" section shows "A" with an input field set to "0" (max.2) and a note "Kapasitas Max.M3 : 20, Utilisasi : 100%". An "OK" button is located at the bottom right.

Gambar 4.2 Proses *Input* Keputusan Setiap Periode

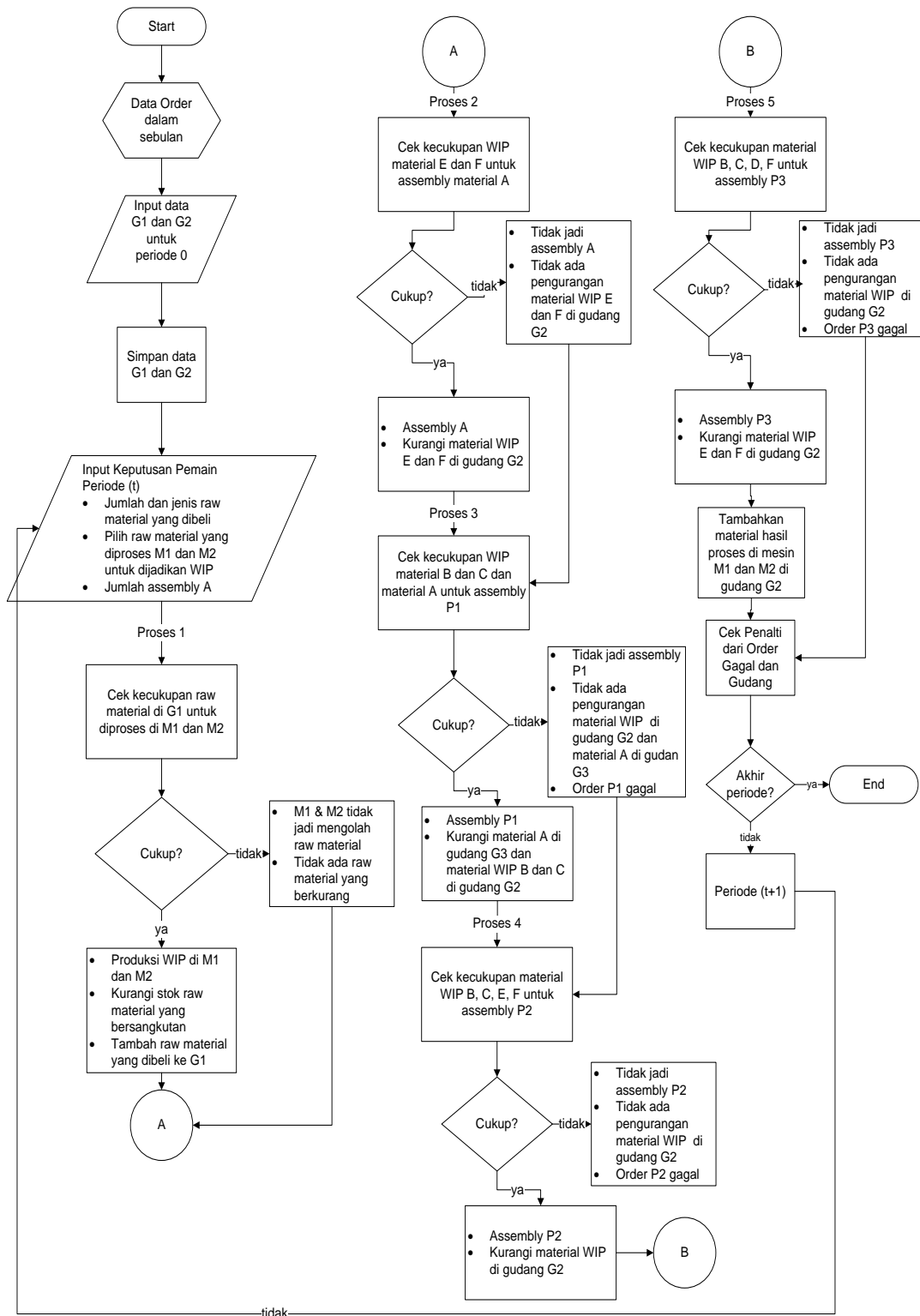
Setelah pemain menekan tombol “OK” maka akan dilakukan komputasi oleh *game*. Selanjutnya akan ditampilkan hasil dari proses *input* keputusan pemain. Dari hasil tersebut bisa diketahui bagaimana proses yang terjadi pada *game*. Hasil yang ditampilkan dimulai dari pembelian material, pemrosesan material, *assembly* produk, inventori pada gudang, hingga pada jumlah penalti yang didapat. Contoh hasil dari komputasi *game* ini ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Komputasi PPC *Game*

4.2.1.1 Model Konseptual

Bagian ini akan menggambarkan bagaimana model konseptual dari PPC *game*. Data masukan yang disimpan adalah inventori awal dan keputusan pemain pada setiap periode. Permainan dimulai dengan periode 1 dan berakhir pada periode 26. Terdapat 5 proses pengecekan keadaan inventori pada gudang. Setelah proses tersebut akan terjadi pengurangan inventori pada gudang yang bersangkutan jika *assembly* berhasil. Penambahan inventori pada gudang dilakukan setelah pengecekan selesai dilakukan. PPC *game* melakukan penambahan inventori pada akhir hari yang secara algoritma merupakan periode setelahnya. Model konseptual ini ditunjukkan oleh Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Flowchart Model Konseptual PPC Game

4.2.2 Penyelesaian PPC Game

Pada bagian ini akan dilakukan proses penyelesaian PPC game menggunakan metode *material requirements planning* dan heuristik.

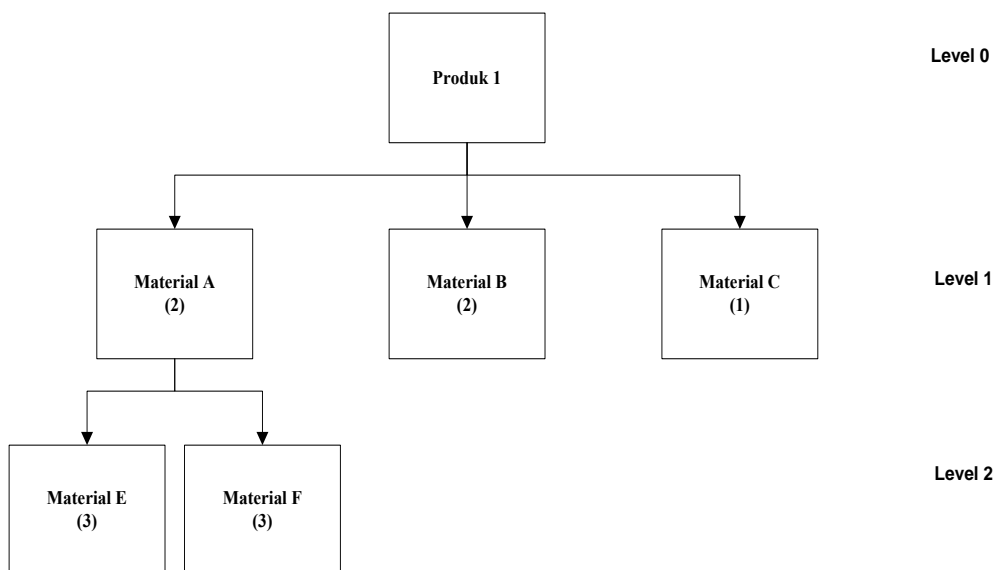
4.2.2.1 Material Requirements Planning (MRP)

Dalam sub-bab ini akan dilakukan penyelesaian PPC game menggunakan metode MRP. Sebelum dilakukan proses MRP, perlu disiapkan dahulu komponen penyusun MRP. MRP membutuhkan tiga *input* komponen utama yaitu:

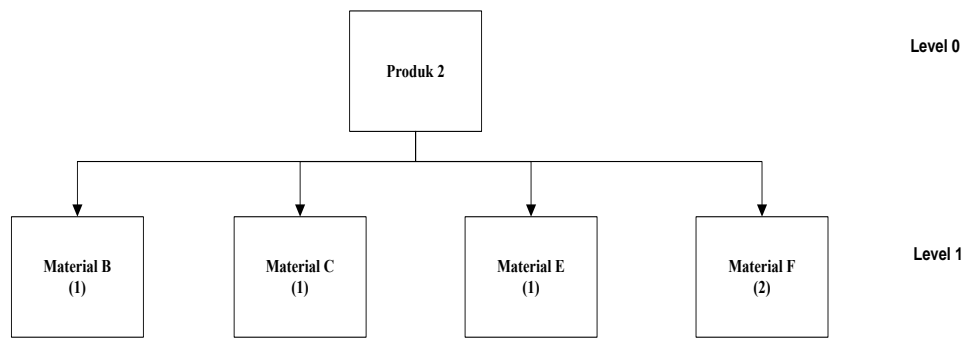
1. *Bill of material*
2. *Master production schedule*
3. Catatan inventori

4.2.2.1.1 Bill of Material

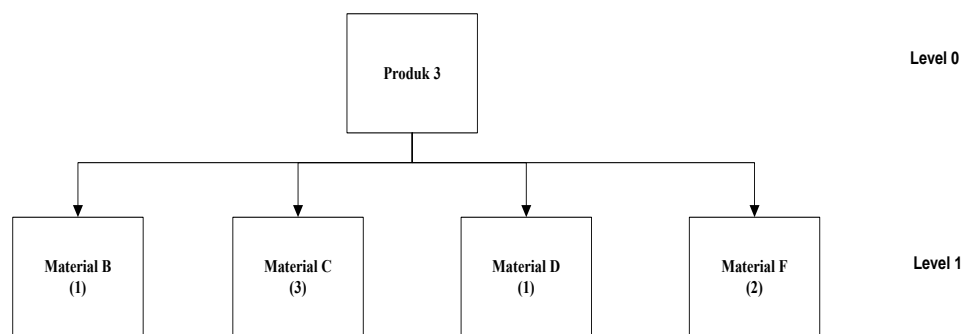
Di dalam instruksi PPC game tersedia informasi mengenai material yang dibutuhkan untuk penyusunan produk. Dari sini bisa diketahui *bill of material* untuk setiap produknya. Meski demikian *bill of material* ini selanjutnya akan dikembangkan lagi untuk disesuaikan dengan kondisi yang ideal menurut konsep MRP. Pada awalnya *bill of material* untuk ketiga produk tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7.



Gambar 4.5 *Bill of Material* Produk 1

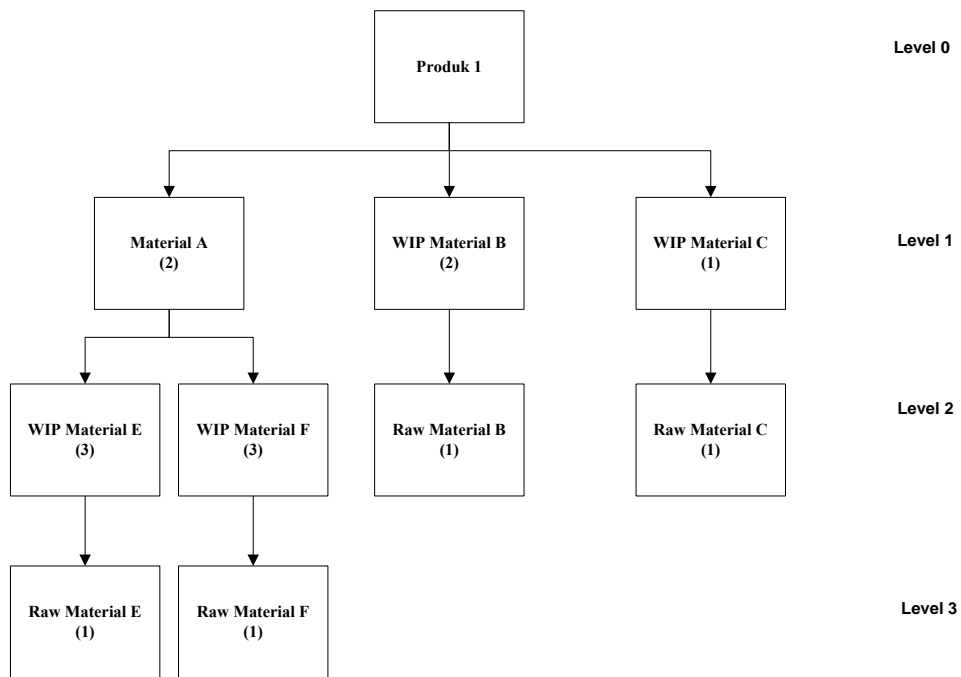


Gambar 4.6 *Bill of Material* Produk 2

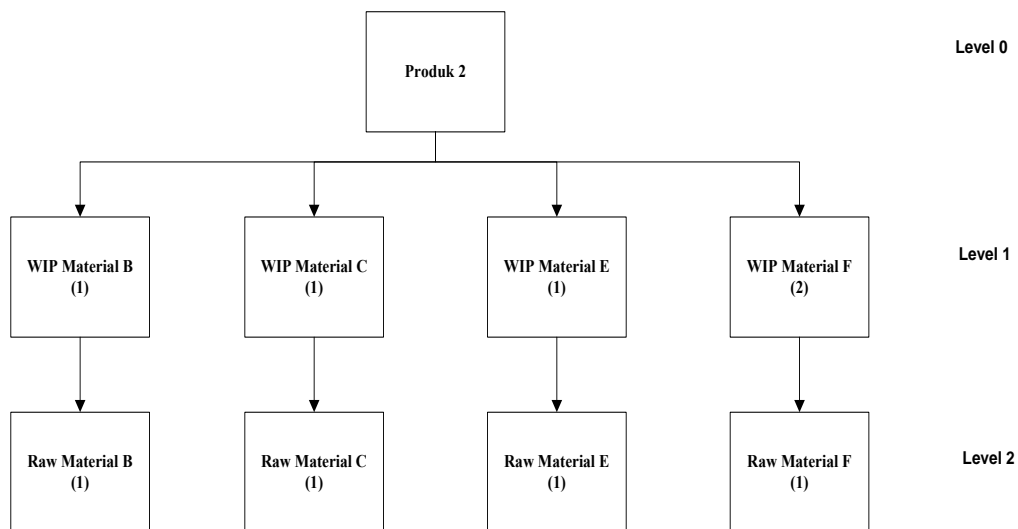


Gambar 4.7 *Bill of Material* Produk 3

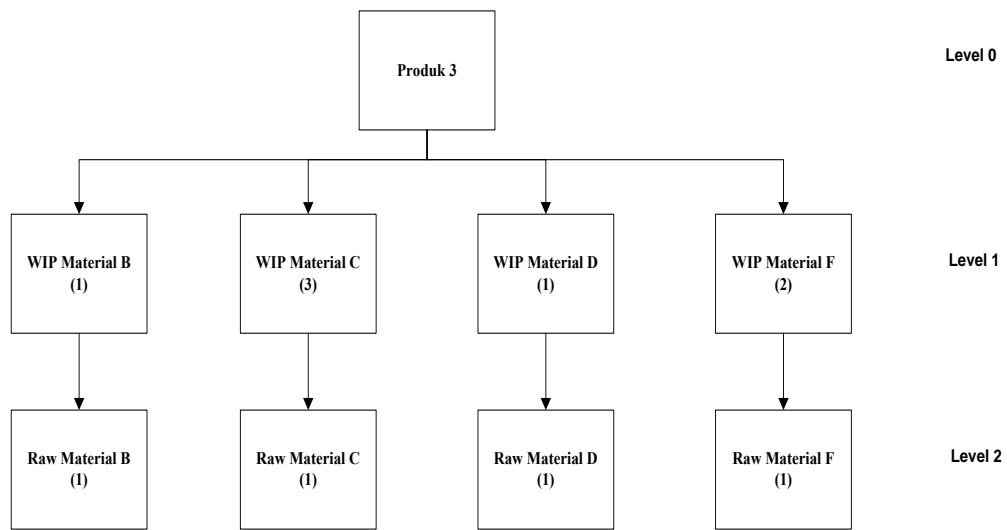
Bill of material tersebut kemudian dikembangkan lagi dikarenakan di dalam PPC *game* terdapat proses tambahan dalam penyusunan material B, C, D, E, dan F. Sehingga material tersebut terbagi lagi menjadi *work-in-process* (WIP) *material* dan bahan baku (*raw material*). Selain itu juga terdapat gudang yang terpisah untuk *raw material* yaitu di gudang G1 dan *work in process material* di gudang G2. Pengembangan ini dilakukan dengan menambahkan komponen *raw material* sebagai penyusun *work-in-process material* B, C, D, E, dan F. Oleh karena itu *bill of material* itu kemudian menjadi seperti pada Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10.



Gambar 4.8 Pengembangan *Bill of Material* Produk 1

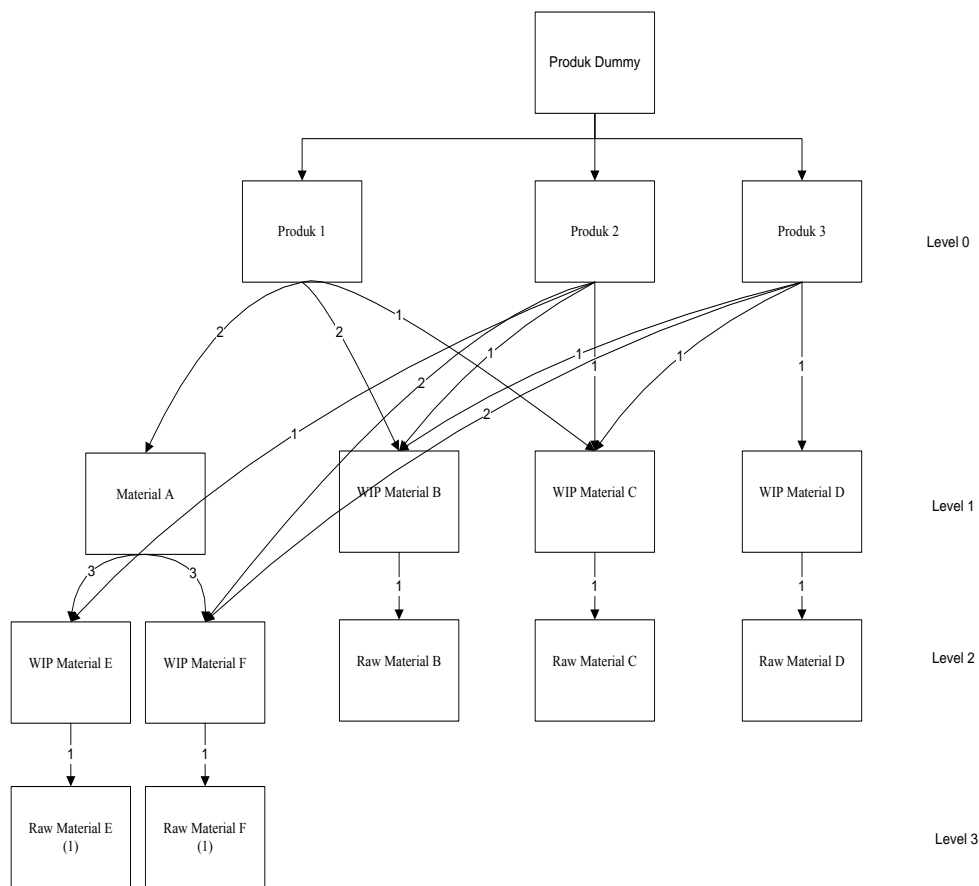


Gambar 4.9 Pengembangan *Bill of Material* Produk 2



Gambar 4.10 Pengembangan *Bill of Material* Produk 3

Dalam *bill of material* ketiga produk tersebut ternyata terdapat material yang muncul di beberapa level sekaligus. Material tersebut adalah material *work-in-process* E dan material *work-in-process* F yang muncul di level 1 dan level 2 juga *raw material* E dan *raw material* F yang muncul di level 2 dan 3. Sementara itu *low-level-code* merupakan level terendah material yang ditemukan dalam produk. Dengan menggunakan grafik Gozinto, material yang muncul di beberapa level ini bisa dihilangkan. Grafik Gozinto seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 menggabungkan ketiga produk tersebut.



Gambar 4.11 Grafik Gozinto *Bill of Material*

4.2.2.1.2 Master Production Schedule (MPS)

Master production schedule merupakan definisi dari jumlah, jenis, dan waktu sebuah *end item* atau produk yang harus diproduksi. Dalam penelitian ini, *master production schedule* bisa diketahui melalui data order selama sebulan dalam PPC *game*. Data ini ditampilkan secara keseluruhan yang terbagi menjadi 26 hari. Data *order* ini bisa dilihat pada tampilan game sejak periode nol. Gambar 4.12 menunjukkan tampilan data *order* selama sebulan pada PPC *game*. Data *order* tersebut kemudian disusun menjadi periode yang berurutan dari periode 1 sampai ke periode 26. Hari libur yang ada tidak dimasukkan ke dalam periode MPS.

Tanggal	p1	p2	p3	Date	p1	p2	p3
2010-07-01	1	1	1	2010-07-19	-	3	-
2010-07-02	3	3	3	2010-07-20	3	-	-
2010-07-03	-	-	3	2010-07-21	-	-	-
2010-07-05	-	-	3	2010-07-22	-	-	-
2010-07-06	-	-	5	2010-07-23	3	5	3
2010-07-07	1	1	1	2010-07-24	5	1	1
2010-07-08	-	-	-	2010-07-26	1	1	1
2010-07-09	-	5	-	2010-07-27	1	1	1
2010-07-10	-	3	-	2010-07-28	-	-	-
2010-07-12	-	3	-	2010-07-29	2	2	2
2010-07-13	2	2	2	2010-07-30	3	3	3
2010-07-14	2	2	2				
2010-07-15	3	-	-				
2010-07-16	-	3	-				
2010-07-17	-	-	3				
Total Order :26							

Gambar 4.12 Data Order Selama Sebulan

Dalam penyusunan MPS diketahui bahwa dalam game tidak terdapat inventori untuk menyimpan produk jadi atau *end item*. Oleh karena itu MPS untuk setiap produk menjadi sama dengan data order dalam sebulan. Data MPS tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data MPS dalam sebulan

Produk	Periode																									
	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
P1	1	3	3			1					2	2	3			3				3	5	1	1		2	3
P2	1	3				1		5	3	3	2	2		3		3				5	1	1	1		2	3
P3	1	3	3	3	5	1					2	2			3					3	1	1	1		2	3

4.2.2.1.3 Catatan Inventori

Komponen catatan inventori yang bisa diketahui dari game ini adalah jumlah inventori awal dan *lead time* untuk masing-masing material. Jumlah inventori awal ditentukan oleh pemain. Kondisi inventori akan diatur pada permulaan permainan. Dalam game ini jumlah maksimal inventori awal untuk gudang G1 adalah 120 dan untuk gudang G2 adalah 100. Penentuan inventori ini

akan berpengaruh pada proses pemenuhan pesanan. Namun demikian untuk sementara jumlah inventori awal diasumsikan kosong. Jumlah inventori awal akan ditentukan seiring dengan pengerjaan proses *material requirements planning* nantinya.

Untuk mengetahui berapa *lead time* untuk setiap material perlu terlebih dahulu untuk memahami algoritma PPC *game* ini. Algoritma PPC *game* ini ditunjukkan oleh Gambar 4.4. Dengan melihat pada alur permainan maka *lead time* untuk setiap material bisa diketahui. Produk P1, P2, dan P3 memiliki *lead time* nol. Hal ini ditunjukkan dalam algoritma PPC *game* yang dapat langsung memproduksi ketiga produk tersebut pada periode yang sama dengan munculnya *order* selama material penyusun ketiga produk tersebut tersedia. Selanjutnya *lead time* untuk material A adalah satu hari dikarenakan lama proses untuk meng-*assembly* mulai dari input keputusan sampai dengan material A tersusun adalah selama sehari. Begitu juga dengan semua material WIP dan material mentah. Tabel 4.2 menunjukkan catatan inventori untuk setiap material yang ada pada PPC *game*.

Tabel 4.2 Catatan Inventori

Material	Lead Time	Inventori Awal
A	1	0
WIP B	1	0
WIP C	1	0
WIP D	1	0
WIP E	1	0
WIP F	1	0
Raw B	1	0
Raw C	1	0
Raw D	1	0
Raw E	1	0
Raw F	1	0

4.2.2.2 Proses *Material Requirements Planning*

Setelah komponen penyusun MRP dapat diketahui maka dapat dilakukan proses MRP. Proses MRP ini dimulai secara berurutan dari penentuan kebutuhan kotor untuk *item* dengan *low-level-code* 0, *netting*, *lotting*, *offsetting*, dan *exploding*.

4.2.2.2.1 Penentuan Kebutuhan Kotor (*Gross Requirement*)

Kebutuhan kotor untuk setiap material perlu diketahui sebelum melakukan *netting* dan *exploding*. Penentuan kebutuhan kotor dimulai dari *low-level-code* nol. Dalam PPC *game* ini produk P1, P2, dan P3 memiliki *low-level-code* nol yang seluruhnya merupakan *end item* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.11. Kebutuhan kotor dari *end item* didapatkan langsung dari *master production schedule*. Selanjutnya kebutuhan kotor material dengan *low-level-code* lebih besar bisa didapatkan dengan melakukan proses *exploding*.

4.2.2.2.2 Perhitungan Kebutuhan Bersih (*Netting*)

Pada tahapan ini dilakukan *netting* yaitu proses perhitungan kebutuhan bersih untuk setiap periode. Kebutuhan bersih akan bergantung pada jumlah kebutuhan kotor dan *projected on hand* periode sebelumnya. Pada PPC *game*, jumlah inventori awal ditentukan sendiri oleh pemain. Sesuai dengan catatan inventori pada Tabel 4.2, jumlah inventori awal untuk semua material diasumsikan kosong. Kebutuhan bersih setiap periode selanjutnya dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$\text{Kebutuhan bersih material X (t) = kebutuhan kotor material X (t) - projected on hand material X (t-1)} \\ \dots\dots\dots (4.1)$$

4.2.2.2.3 Penentuan Ukuran Pesanan (*Lotting*)

Pemesanan material pada PPC *game* terdapat tiga macam. Yang pertama adalah pemesanan bahan baku (*raw material*), pemesanan material *work-in-process*, dan pemesanan material A. Ketiga jenis pemesanan ini ditentukan oleh pemain. Ukuran pemesanan bahan baku adalah bebas. Sedangkan ukuran pemesanan material *work-in-process* mengikuti utilitas dari mesin yang bersangkutan. Utilitas mesin M1 yang memproduksi material WIP B, D, dan F adalah sebesar 70% sampai dengan 90% dengan kapasitas produksi untuk material WIP B sebesar 20, material WIP D sebesar 18, dan material WIP F sebesar 20. Sedangkan utilitas mesin M2 yang memproduksi material WIP C, E, dan F adalah

sebesar 60% sampai dengan 80% dengan kapasitas produksi untuk material WIP C sebesar 20, material WIP E sebesar 21, dan material WIP F sebesar 20. Ukuran pemesanan material A di mesin M3 adalah bebas namun terdapat batas maksimal sesuai dengan material yang tersedia. Utilitas mesin M3 adalah 100% dengan kapasitas produksi sebesar 20.

Pada penelitian ini, ukuran pemesanan untuk mesin M1 dan M2 diasumsikan mengikuti utilitas mesin yang terendah yang merupakan skenario terburuk. Oleh karena itu ukuran lot untuk mesin M1 adalah 70% dikalikan kapasitas masing-masing material. Untuk material WIP B ukuran pemesanannya adalah 14, material WIP D sebesar 13, dan Material WIP F (di mesin M1) adalah sebesar 13. Ukuran lot untuk mesin M2 adalah 60% dikalikan dengan kapasitas masing-masing material. Sehingga ukuran lot Material WIP C sebesar 12, material WIP E sebesar 13, dan material WIP F (di mesin M2) sebesar 12. Ukuran pemesanan material WIP F untuk sementara diasumsikan akan diproses di mesin M2 sehingga menggunakan ukuran pemesanan sebesar 12. Ukuran pemesanan untuk bahan baku B, C, D, E, dan F menggunakan ukuran pemesanan *lot-for-lot* yaitu sama dengan jumlah kebutuhan bersih.

Ukuran pemesanan yang menjadi *planned order releases* ini nantinya juga mempengaruhi *projected on hand* yaitu proyeksi inventori pada periode yang bersangkutan. Rumusan *projected on hand* ditunjukkan oleh persamaan :

$$\begin{aligned}
 \textit{Projected on hand periode } t &= \textit{projected on hand periode } t-1 + \textit{planned order} \\
 &\quad \textit{releases periode } t - \textit{kebutuhan kotor periode } t \\
 &\quad \dots\dots\dots (4.2)
 \end{aligned}$$

4.2.2.2.4 *Offsetting*

Tahapan *offsetting* bertujuan agar material tersedia pada waktu yang tepat dengan memasukkan *lead time* pada *planned order receipts* sehingga menjadi *planned order releases*. *Lead time* untuk material A, semua bahan baku, dan semua material WIP adalah satu hari.

4.2.2.2.5 Exploding

Tahapan ini merupakan perhitungan kebutuhan kotor (*gross requirements*) untuk tiap komponen / material di level yang lebih bawah. Kebutuhan kotor suatu material dapat diketahui dengan mengalikan jumlah material yang dibutuhkan untuk menyusun sebuah material di level tepat di atasnya sesuai dengan struktur *bill of material*.

4.2.2.2.6 Proses *Material Requirements Planning* Setiap Level

Proses MRP ini harus dilakukan secara berurutan mulai dari *item* dengan *low-level-code* 0 yang kemudian dilanjutkan hingga material dengan *low-level-code* paling besar.

***Low-level-code* 0**

Item pada PPC *game* yang memiliki *low-level-code* 0 adalah produk P1, P2, dan P3. Kebutuhan kotor dari *item* dengan *low-level-code* 0 dalam kasus ini didapatkan langsung dari *master production schedule*. Tidak adanya inventori pada produk P1, P2, dan P3 menyebabkan kebutuhan bersih juga sama dengan kebutuhan kotor. Selain itu *lead time* untuk memproduksi produk dengan *low-level-code* 0 pada PPC *game* ini adalah nol. Hal ini menjadikan *planned order releases* dikeluarkan pada periode yang sama dengan *planned order receipts*. *Planned order releases* pada *item* dengan *low-level-code* 0 ini kemudian di-*explode* untuk material di level yang lebih bawah. Tabel 4.3 menunjukkan matriks MRP untuk *item* dengan *low-level-code* 0.

Tabel 4.3 Matriks MRP Item *Low-Level-Code* 0

<i>Low-level-code</i> 0		Periode																										
		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	
P1	Gross requirements	1	3				1					2	2	3				3			3	5	1	1		2	3	
	Projected on hand																											
	Net requirements	1	3				1					2	2	3				3			3	5	1	1		2	3	
	Planned order receipts	1	3				1					2	2	3				3			3	5	1	1		2	3	
	Planned order releases	1	3				1					2	2	3				3			3	5	1	1		2	3	
P2	Gross requirements	1	3				1		5	3	3	2	2		3		3				5	1	1	1		2	3	
	Projected on hand																											
	Net requirements	1	3				1		5	3	3	2	2		3		3				5	1	1	1		2	3	
	Planned order receipts	1	3				1		5	3	3	2	2		3		3				5	1	1	1		2	3	
	Planned order releases	1	3				1		5	3	3	2	2		3		3				5	1	1	1		2	3	
P3	Gross requirements	1	3	3	3	5	1					2	2			3					3	1	1	1		2	3	
	Projected on hand																											
	Net requirements	1	3	3	3	5	1					2	2			3					3	1	1	1		2	3	
	Planned order receipts	1	3	3	3	5	1					2	2			3					3	1	1	1		2	3	
	Planned order releases	1	3	3	3	5	1					2	2			3					3	1	1	1		2	3	

***Low-level-code* 1**

Material yang memiliki *low-level-code* 1 adalah material A, material WIP B, material WIP C, dan material WIP D. Dengan mengacu pada struktur *bill of material*, jumlah kebutuhan kotor untuk material-material ini bisa diketahui melalui proses *exploding*. Berikut ini merupakan persamaan untuk proses *exploding* material *low-level-code* 1:

Kebutuhan kotor material A periode t = 2 * *planned order release* produk P1 periode t

Kebutuhan kotor material WIP B periode t = 2 * *planned order release* produk P1 periode t + 1 * *planned order release* produk P2 periode t + 1 * *planned order release* produk P3 periode t

Kebutuhan kotor material WIP C periode t = 1 * *planned order release* produk P1 periode t + 1 * *planned order release* produk P2 periode t + 3 * *planned order release* produk P3 periode t

Kebutuhan kotor material WIP D periode t = 1 x *planned order release* produk P3 periode t

..... (4.3)

Setelah mengetahui kebutuhan kotor untuk setiap periode maka dapat dilakukan proses *netting*, *lotting*, dan *offsetting*. Pada perhitungan MRP untuk material dengan *low-level-code* 1 ini terjadi kekurangan material yang terjadi pada

material WIP C pada periode 26 (*cell* berwarna merah muda). Kekurangan material ini diteruskan ke periode berikutnya yang menunjukkan adanya *backorder*. Untuk sementara ini kondisi ini dibiarkan saja karena akan dilakukan penyesuaian pada tahap selanjutnya. Data matriks MRP untuk material low-level-code ini ditunjukkan oleh Tabel 4.4

Tabel 4.4 Matriks MRP Material *Low-Level-Code* 1

Low-level-code 1		Periode																											
		0	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	
Material A	Gross requirements		2	6				2					4	4	6				6			6	10	2	2		4	6	
	Projected on hand	2	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
	Net requirements			6				2					4	4	6				6			6	10	2	2		4	6	
	Planned order releases		6				2						4	4	6				6			6	10	2	2		4	6	
WIP B	Gross requirements		4	12	3	3	5	4		5	3	3	8	8	6	3	3	3	6			14	12	4	4		8	12	
	Projected on hand		10	12	9	6	1	11	11	6	3	0	6	12	6	3	0	11	5	5	5	5	7	3	13	13	5	7	
	Net requirements		4	2				3					8	2				3				9	7		1			7	
	Planned order releases		14	14				14					14	14				14				14	14		14			14	
WIP C	Gross requirements		5	15	9	9	15	5		5	3	3	10	10	3	3	9	3	3			17	9	5	5		10	15	
	Projected on hand		7	4	7	10	7	2	2	9	6	3	5	7	4	1	4	1	10	10	10	5	8	3	10	10	0	-3	
	Net requirements		5	8	5	2	5			3			7	5			8	2				7	4		2			15	
	Planned order releases		12	12	12	12	12			12			12	12			12	12				12	12		12			12	
WIP D	Gross requirements		1	3	3	3	5	1					2	2			3					3	1	1	1	1		2	3
	Projected on hand		12	9	6	3	11	10	10	10	10	10	8	6	6	6	3	3	3	3	3	0	12	11	10	10	8	5	
	Net requirements		1				2																1						
	Planned order releases		13				13																13						

Low-level-code 2

Material yang memiliki *low-level-code* 2 adalah material WIP E, material WIP F, *raw* material B, *raw* material C, dan *raw* material D. Kebutuhan kotor untuk material dengan *low-level-code* 2 ini dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Kebutuhan kotor material WIP E periode $t = 1 * \text{planned order release}$ produk P2 periode $t + 3 * \text{planned order release}$ material A periode t

Kebutuhan kotor material WIP F periode $t = 2 * \text{planned order release}$ produk P2 periode $t + 2 * \text{planned order release}$ produk P3 periode $t + 3 * \text{planned order release}$ material A periode t

Kebutuhan kotor *raw* material B periode $t = 1 * \text{planned order release}$ material WIP B periode t

Kebutuhan kotor *raw material C* periode $t = 1 \times \text{planned order release}$
 material *WIP C* periode t

Kebutuhan kotor *raw material D* periode $t = 1 \times \text{planned order release}$
 material *WIP D* periode t

..... (4.4)

Setelah melakukan proses *netting*, *lotting*, dan *offsetting* dapat disusun matriks MRP untuk material dengan *low-level-code 2* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5. Di sini juga terjadi kekurangan material pada banyak periode.

Tabel 4.5 Matriks MRP Material *Low-Level-Code 2*

Low-level-code 2		Periode																											
		0	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	
WIP E	Gross requirements		19	3			6	1			5	3	15	14	20		3		21			18	35	7	7	1	12	20	3
	Projected on hand		-6	4	4	4	11	10	10	5	2	0	-1	-8	5	2	2	-6	7	7	2	-20	-14	-8	4	5	-2	8	
	Net requirements		19	9			2						13	14	21	8			19	6		11	33	27	21	9	8	15	5
	Planned order receipts		13	13			13						13	13	13	13				13	13		13	13	13	13	13	13	13
	Planned order releases	13	13			13						13	13	13	13			13	13		13	13	13	13	13	13	13	13	13
WIP F	Gross requirements		22	12	6	6	16	4		10	6	18	20	26		6	6	24			18	46	10	10	4	12	26	12	
	Projected on hand		-10	-10	-4	2	-2	6	6	8	2	-4	-12	-26	-14	-8	-2	-14	-2	10	4	-30	-28	-26	-18	-18	-32	-32	
	Net requirements		22	22	16	10	14	6		4		16	24	38	26	20	14	26	14	2	8	42	40	38	30	30	44	44	
	Planned order receipts		12	12	12	12	12	12		12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Planned order releases	12	12	12	12	12	12		12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Raw B	Gross requirements		14				14					14	14				14				14	14		14	14		14		
	Projected on hand		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
	Net requirements		14				14					14	14				14				14	14		14	14		14		
	Planned order receipts		14				14					14	14				14				14	14		14	14		14		
	Planned order releases	14				14					14	14				14				14	14		14	14		14		14	
Raw C	Gross requirements		12	12	12	12			12			12	12				12			12	12		12	12		12		12	
	Projected on hand		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
	Net requirements		12	12	12	12			12			12	12				12			12	12		12	12		12		12	
	Planned order receipts		12	12	12	12			12			12	12				12			12	12		12	12		12		12	
	Planned order releases	12	12	12	12			12			12	12				12			12	12		12	12		12		12		
Raw D	Gross requirements					13																							
	Projected on hand		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	
	Net requirements					13																							
	Planned order receipts					13																							
	Planned order releases				13																								

Low-level-code 3

Material dengan *low-level-code 3* ini merupakan level yang terakhir. Material dengan *low-level-code 3* adalah *raw material E* dan *raw material F*. Persamaan untuk menghitung kebutuhan kotor dari material dengan *low-level-code 3* adalah sebagai berikut:

Kebutuhan kotor material mentah *E* periode $t = 1 \times \text{planned order release}$
 material *WIP C* periode t

$$\text{Kebutuhan kotor material mentah F periode } t = 1 \times \text{planned order release material WIP D periode } t \dots\dots\dots (4.5)$$

Setelah melalui proses *netting*, *lotting*, dan *offsetting* dapat disusun matriks MRP untuk material dengan *low-level-code* 3 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Matriks MRP Material *Low-Level-Code* 3

<i>Low-level-code</i> 3		Periode																											
		0	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	
Raw E	Gross requirements		13			13					13	13	13	13			13	13		13	13	13	13	13	13	13	13		
	Projected on hand		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
	Net requirements		13			13					13	13	13	13			13	13		13	13	13	13	13	13	13	13	13	
	Planned order receipts		13			13					13	13	13	13			13	13		13	13	13	13	13	13	13	13	13	
	Planned order releases	13			13					13	13	13	13			13	13		13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
Raw F	Gross requirements		12	12	12	12	12		12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	Projected on hand		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	
	Net requirements		12	12	12	12	12		12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	Planned order receipts		12	12	12	12	12		12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	Planned order releases	12	12	12	12	12	12		12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	

Dengan selesainya perhitungan MRP untuk material dengan *low-level-code* 3 maka berakhirilah proses MRP ini. Hasil yang didapatkan berupa matriks MRP untuk setiap *low-level-code* yang ditunjukkan dengan Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6. Meski demikian pengerjaan MRP ini masih belum sempurna sehingga pada tahapan selanjutnya akan dilakukan penyempurnaan dengan pendekatan heuristik.

4.2.2.3 Pendekatan Heuristik Pada *Material Requirements Planning*

Hasil dari pengerjaan MRP pada tahapan sebelumnya masih belum sempurna karena dua penyebab. Penyebab pertama adalah masih terjadi kekurangan material pada beberapa periode. Penyebab kedua adalah pengerjaan MRP tersebut tidak seluruhnya disesuaikan dengan kondisi *PPC game*. Ada kondisi-kondisi tertentu dalam *PPC game* yang tidak terakomodasi dalam pengerjaan MRP tersebut. Oleh karena itu pada bagian ini akan dilakukan pendekatan secara heuristik terhadap proses MRP yang telah dikerjakan pada tahapan sebelumnya. Pendekatan heuristik ini dilakukan dengan tujuan utama memberikan solusi yang efektif dan efisien. Hal ini dikarenakan persoalan dalam

PPC *game* yang kompleks. Penyebab dari kompleksnya permasalahan pada PPC *game* adalah banyaknya kemungkinan atau alternatif keputusan yang bisa dicoba oleh pemain. Jumlah kemungkinan yang bisa dicoba adalah permutasi dari kejadian untuk setiap elemen. Berikut ini adalah perhitungan permutasi untuk setiap kemungkinan keputusan pada PPC *game*.

Gudang G1 hari ke-0

$$\left(\frac{24!}{(24-1)!}\right)^5 = 7962624 \text{ kemungkinan}$$

Gudang G2 hari ke-0

$$\left(\frac{20!}{(20-1)!}\right)^5 = 3200000 \text{ kemungkinan}$$

Pembelian bahan baku untuk semua periode

$$\left(\left(\frac{30!}{(30-1)!}\right)^5\right)^{30} = 3,69988485035126 \times 10^{221} \text{ kemungkinan}$$

Pemrosesan material di mesin M1 dan M2 semua periode

$$\left(\left(\frac{2!}{(2-1)!}\right)^6\right)^{30} = 1920 \text{ kemungkinan}$$

Assembly material A semua periode

$$\left(\frac{20!}{(20-1)!}\right)^{30} = 1,073741824 \times 10^{39} \text{ kemungkinan}$$

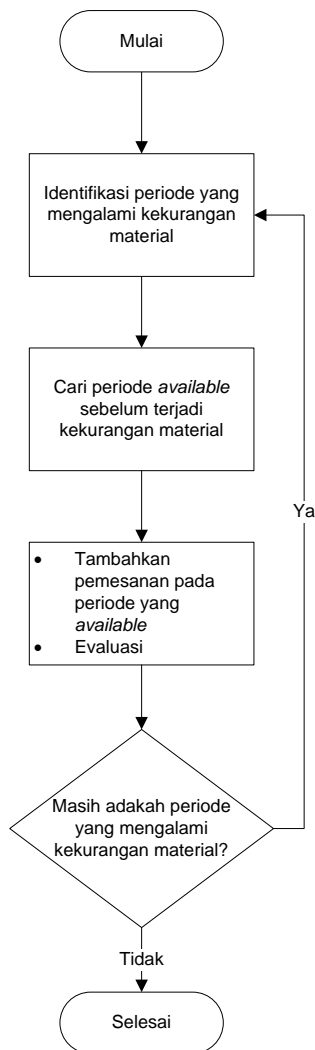
Sementara itu kapasitas komputasi untuk komputer normal yang digunakan adalah rata-rata sebesar 50 *trial* setiap detik. Dengan kemungkinan sebesar itu maka waktu yang digunakan untuk mencoba semua alternatif keputusan tersebut adalah sebesar $3,89 \times 10^{275}$ detik yang merupakan waktu yang cukup lama.

4.2.2.3.1 Pengatasan Kekurangan Material

Kekurangan material terjadi pada pengerjaan MRP untuk material dengan *low-level-code* 1 dan 2 (ditunjukkan dengan *cell* berwarna merah pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5). Lebih spesifiknya terjadi pada pemesanan material WIP C, WIP E, dan WIP F. Untuk mengatasi kekurangan material ini maka dilakukan penyesuaian pesanan dengan pendekatan heuristik.

Pada awalnya jumlah inventori awal yang semula diasumsikan kosong diisi dengan *planned order releases* pada periode nol. Sehingga untuk beberapa material, *planned order releases* menjadi hilang dikarenakan adanya inventori yang mencukupi kebutuhan pada periode 1. Untuk *planned order releases* pada periode 0 yang masih tetap muncul dikarenakan inventori masih belum cukup untuk memenuhi *order* pada periode 1 maka *planned order releases* tersebut ditambahkan kembali ke inventori sampai *planned order releases* di periode 0 habis. Dengan demikian inventori pada periode 0 untuk semua material dapat diketahui. Tabel 4.7 menunjukkan *planned order releases* untuk setiap material yang sudah dirubah menjadi inventori awal.

Algoritma dari pendekatan heuristik yang dilakukan untuk mengatasi kekurangan material ditunjukkan oleh Gambar 4.13. Untuk mengatasi kekurangan material maka perlu dilakukan pemesanan tambahan tepat pada periode *available* sebelumnya yaitu pada periode yang masih kosong tanpa ada pemesanan. Apabila masih terdapat kekurangan material maka pemesanan ditambahkan kembali pada periode *available* sebelumnya. Hal ini berlangsung terus-menerus hingga tidak terjadi lagi kekurangan material. Tabel 4.7 menunjukkan semua periode sudah tercukupi kebutuhan materialnya. Pada Tabel 4.7 penambahan pemesanan ditunjukkan dengan *cell* berwarna biru. Dengan demikian maka tahapan untuk mengatasi kekurangan material sudah selesai.



Gambar 4.13 *Flowchart* Algoritma Eliminasi Kekurangan Material

Dari pengolahan data MRP yang sudah dilakukan maka dapat diambil keputusan pemesanan material. Tabel 4.8 menunjukkan jumlah dan jenis bahan baku yang harus dibeli untuk setiap periode yang merupakan *planned order releases* dari *raw material* B, C, D, E, dan F. Tabel 4.9 menunjukkan material WIP yang akan diproses di mesin M1 yang merupakan *planned order releases* dari material WIP B dan D. Tabel 4.10 menunjukkan material WIP yang akan diproses di mesin M2 yang merupakan *planned order releases* dari material WIP C, E, dan F. Tabel 4.11 menunjukkan material A yang akan di-assembly di mesin M3 yang merupakan *planned order releases* dari material A. Matrik MRP ini akan menghasilkan penalti 0 karena semua order bisa terpenuhi.

Tabel 4.7 Matriks MRP dengan Penambahan Pemesanan

MRP		Periode																											
		0	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	
Material A	Gross requirements		2	6			2						4	4	6				6			6	10	2	2		4	6	
	Projected on hand	2	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
	Net requirements			6			2						4	4	6				6			6	10	2	2		4	6	
	Planned order receipts			6			2						4	4	6				6			6	10	2	2		4	6	
	Planned order releases		6				2					4	4	6				6			6	10	2	2		4	6		
WIP B	Gross requirements		4	12	3	3	5	4		5	3	3	8	8	6	3	3	3	6			14	12	4	4		8	12	
	Projected on hand	14	10	12	9	6	1	11	11	6	3	0	6	12	6	3	0	11	5	5	5	5	7	3	13	13	5	7	
	Net requirements			2				3					8	2				3				9	7		1			7	
	Planned order receipts			14				14					14	14				14				14	14		14			14	
	Planned order releases		14				14					14	14				14				14	14		14				14	
WIP C	Gross requirements		5	15	9	9	15	5		5	3	3	10	10	3	3	9	3	3			17	9	5	5		10	15	
	Projected on hand	12	7	4	7	10	7	2	2	9	6	3	5	7	4	1	4	1	10	10	10	5	8	3	10	10	12	9	
	Net requirements			8	5	2	5			3			7	5			8		2			7	4		2			3	
	Planned order receipts			12	12	12	12			12			12	12			12	12				12	12		12			12	
	Planned order releases		12	12	12	12			12				12	12			12					12	12		12			12	
WIP D	Gross requirements		1	3	3	3	5	1					2	2			3					3	1	1	1		2	3	
	Projected on hand	13	12	9	6	3	11	10	10	10	10	10	8	6	6	6	3	3	3	3	3	0	12	11	10	10	8	5	
	Net requirements						2																1						
	Planned order receipts						13																13						
	Planned order releases					13																	13						
WIP E	Gross requirements		19	3			6	1		5	3	15	14	20		3		21			18	35	7	7	1	12	20	3	
	Projected on hand	26	7	4	4	4	11	10	10	5	15	13	12	5	18	15	15	7	20	33	28	6	12	18	30	31	24	34	
	Net requirements						2						1	8			6				7	1							
	Planned order receipts						13					13	13	13	13	13		13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
	Planned order releases					13						13	13	13	13	13		13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
WIP F	Gross requirements		22	12	6	6	16	4		10	6	18	20	26		6	6	24			18	46	10	10	4	12	26	12	
	Projected on hand	24	2	2	8	14	10	18	30	32	38	32	24	10	22	28	34	22	34	46	40	6	8	10	18	18	4	4	
	Net requirements			10	4		2						2									6	4	2				8	8
	Planned order receipts			12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	Planned order releases		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Raw B	Gross requirements		14				14					14	14				14				14	14		14			14		
	Projected on hand	14	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	
	Net requirements						14					14	14				14				14	14		14			14		
	Planned order receipts						14					14	14				14				14	14		14			14		
	Planned order releases					14						14	14				14				14	14		14			14		
Raw C	Gross requirements		12	12	12	12			12			12	12			12					12	12		12			12	12	
	Projected on hand	12	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	
	Net requirements			12	12	12			12			12	12			12					12	12		12			12	12	
	Planned order receipts			12	12	12			12			12	12			12					12	12		12			12	12	
	Planned order releases		12	12	12			12				12	12			12					12	12		12			12	12	
Raw D	Gross requirements						13															13							
	Projected on hand		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	
	Net requirements						13															13							
	Planned order receipts						13															13							
	Planned order releases					13																13							
Raw E	Gross requirements					13				13	13	13	13	13			13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
	Projected on hand		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	
	Net requirements					13					13	13	13	13	13			13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
	Planned order receipts					13					13	13	13	13	13			13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
	Planned order releases					13					13	13	13	13	13			13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
Raw F	Gross requirements		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	Projected on hand	12	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	
	Net requirements			12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	Planned order receipts			12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	Planned order releases		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	

Tabel 4.8 Proses Pembelian Bahan Baku

Bahan Baku	Periode																												
	0	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		
B					14					14		14			14					14	14				14	14			
C		12	12	12			12			12	12			12		12				12	12		12		12	12			
D				13																	13								
E				13				13	13	13	13	13			13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13			
F		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		

Tabel 4.9 Pemrosesan Material WIP di M1

Material WIP	Periode																											
	0	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	
B			14			14					14		14			14					14	14				14	14	
D				13																	13							

Tabel 4.10 Pemrosesan Material WIP di M2

Material WIP	Periode																										
	0	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
C		12	12	12	12			12			12	12			12		12			12	12		12		12	12	
E				13					13	13	13	13	13			13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
F		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Tabel 4.11 Pemrosesan Material A di M3

Material	Periode																										
	0	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
A		6				2					4	4	6				6			6	10	2	2		4	6	

Tahapan ini masih perlu disempurnakan karena terdapat kondisi pada PPC *game* yang masih dilanggar. Oleh karena itu pada bagian selanjutnya akan dilakukan penyesuaian pengerjaan MRP dengan kondisi PPC *game* agar MRP yang dihasilkan bisa diterapkan pada PPC *game*.

4.2.2.3.2 Penyesuaian MRP dengan PPC Game

Pada bagian ini akan dilakukan penyesuaian pengerjaan MRP yang telah dilakukan pada bagian sebelumnya dengan kondisi PPC *game* yang sebenarnya. Terdapat ketentuan atau kondisi dalam PPC *game* yang tidak memungkinkan hasil dari proses MRP untuk diaplikasikan. Berikut ini adalah kondisi dalam PPC *game* yang perlu disesuaikan dengan hasil dari pengerjaan MRP pada bagian sebelumnya:

1. Kondisi inventori gudang G3 untuk material A pada hari ke-0 adalah kosong. Di dalam PPC *game*, gudang G3 tidak diperkenankan memiliki inventori material A pada hari ke-0. Hal ini akan menyebabkan pada periode pertama *order* untuk produk P1 yang membutuhkan material A tidak akan bisa terpenuhi.
2. Jenis material bahan baku yang dibeli setiap periodenya harus satu jenis.
3. Jenis WIP material yang diproses di mesin M1 dan mesin M2 untuk setiap periodenya masing-masing harus sebanyak satu jenis.
4. Khusus untuk material WIP F bisa diproses di mesin M1 dan M2
5. Tidak ada *backorder* untuk *order* yang gagal dipenuhi. PPC *game* ini tidak mengizinkan adanya *backorder*. Apabila ada *order* yang tidak terpenuhi berarti perusahaan kehilangan penjualan.
6. PPC *game* menghitung penalti gagal *order* secara keseluruhan. Jadi apabila suatu produk memiliki jumlah *order* lebih dari satu dan *order* yang bisa dipenuhi hanya sebagian, maka dianggap semua *order* untuk produk tersebut tidak terpenuhi. Apabila *order* untuk suatu produk lebih dari satu dan hanya bisa terpenuhi sebagian maka PPC *game* akan menganggap *order* untuk produk itu gagal seluruhnya. Misalnya terdapat *order* untuk produk P1 sebesar 5 sedangkan material yang ada hanya bisa menyusun 3 produk P1, maka dianggap *order* untuk P1 gagal terpenuhi seluruhnya.

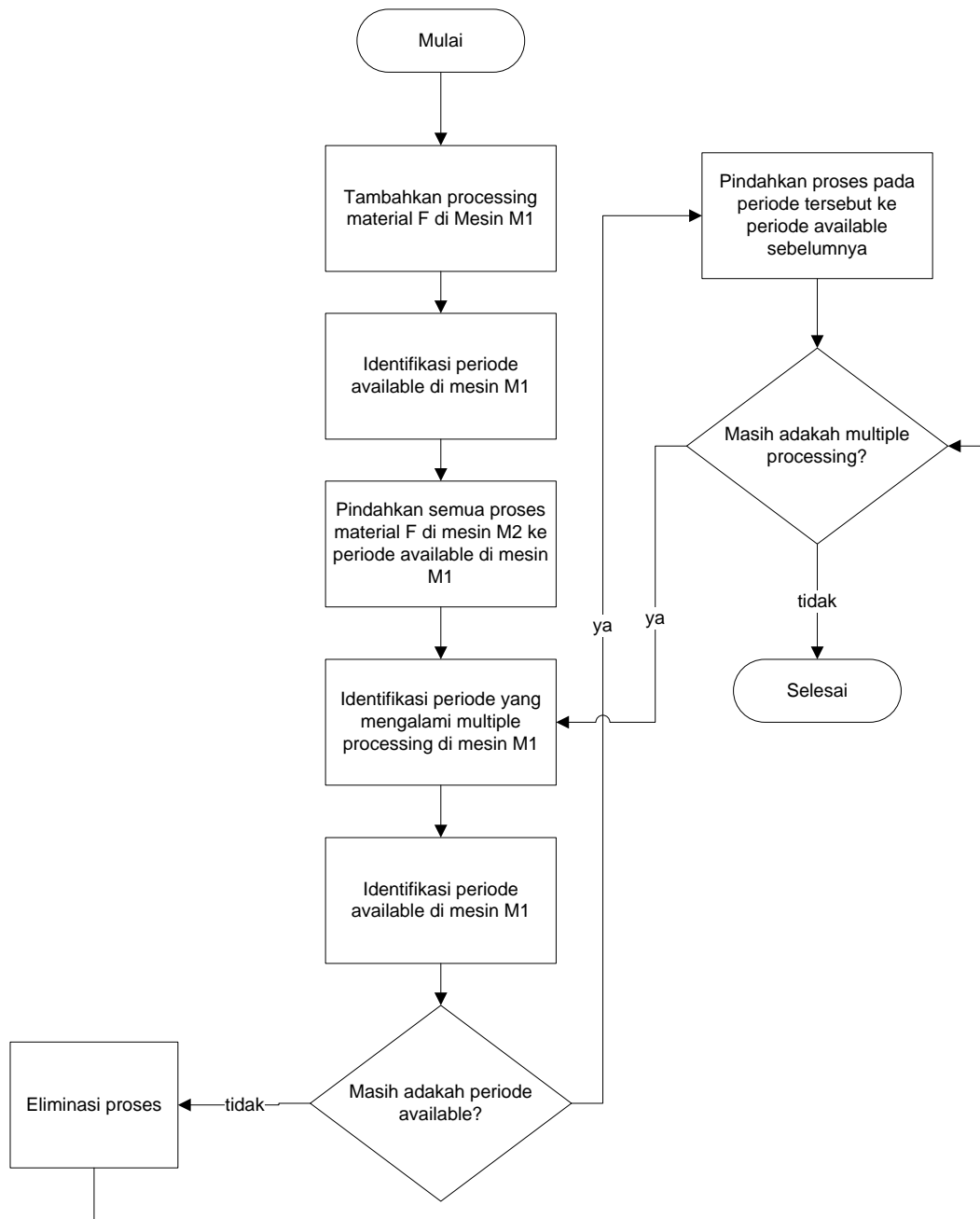
Penyesuaian terhadap kondisi PPC *game* ini dibagi menjadi dua langkah pengerjaan yaitu penyesuaian proses pada mesin M1 dan mesin M2 serta pembatasan pembelian pada bahan baku.

4.2.2.3.3 Penyesuaian Proses pada Mesin M1 dan Mesin M2

Pada pengerjaan MRP sebelumnya (kolom dengan label berwarna biru pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10) terdapat proses penyusunan material WIP lebih dari satu jenis (*multiple processing*) pada satu mesin pada periode tertentu. Agar setiap mesin hanya memroses satu jenis material WIP maka perlu dilakukan penyesuaian. Penyesuaian ini dilakukan dengan cara melakukan pemindahan

proses tersebut pada periode yang *available* yaitu periode tanpa adanya pemrosesan material. Jika masih terdapat periode dengan *multiple processing* maka dilakukan eliminasi proses tersebut dengan kompensasi penalti.

Algoritma dalam penyesuaian proses di mesin M1 ditunjukkan oleh Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Flowchart Algoritma Penyesuaian Proses di Mesin M1

Mesin M1 pada pengerjaan MRP sebelumnya diasumsikan tidak memroses material WIP F. Pada tahapan ini mesin M1 akan ikut melakukan pemrosesan material WIP F. Kapasitas mesin M1 untuk material WIP F adalah sebesar 14. Sedangkan kapasitas mesin M2 untuk material WIP F adalah sebesar 12. Oleh karena itu untuk setiap periode yang *available* pada mesin M1 akan ditambahkan pemrosesan material WIP F dari mesin M2 karena utilitas mesin M1 untuk material WIP F lebih besar. Komponen *planned order receipts* dan *planned order releases* pada matriks MRP untuk material WIP F nantinya juga akan dibagi dua yaitu untuk mesin M1 dan mesin M2.

Pada mesin M1 terdapat *multiple processing* pada periode 20. Untuk itu dilakukan pemindahan proses material WIP D dari periode 20 ke periode *available* sebelumnya yaitu periode 18. Kemudian pada pemrosesan material WIP F pada mesin M2 dipindah ke setiap periode *available* pada mesin M1 sesuai dengan periode yang bersangkutan. Tabel 4.12 menunjukkan proses pemindahan pemrosesan material pada mesin M1. Pada mesin M1 ini tidak terjadi eliminasi proses karena periode *available* yang mencukupi.

Tabel 4.12 Pemindahan Pemrosesan Material WIP di Mesin M1

Mesin	Material WIP	Periode																										
		0	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
M1	B			14			14						14		14						14						14	14
	D					13														13								
	F		14		14			14	14	14	14		14		14	14		14	14				14	14	14			
M2	C		12	12	12	12			12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	E					13					13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	F			12		12	12					12		12				12				12	12	12				12

Dengan demikian pada mesin M1 terdapat tepat satu pemrosesan material WIP untuk setiap periodenya. Matriks MRP untuk material WIP D dan material WIP F setelah proses ini akan berubah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Perubahan Matriks MRP Material WIP D dan Material WIP F

Material	Komponen MRP	Periode																										
		0	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
WIP D	Gross requirements		1	3	3	3	5	1					2	2			3					3	1	1	1		2	3
	Projected on hand	13	12	9	6	3	11	10	10	10	10	10	8	6	6	6	3	3	3	3	16	13	12	11	10	10	8	5
	Net requirements						2																					
	Planned order releases					13															13							
WIP F	Gross requirements		22	12	6	6	16	4		10	6	18	20	26		6	6	24			18	46	10	10	4	12	26	12
	Projected on hand	24	2	4	10	18	14	22	36	40	48	44	36	24	36	44	52	40	54	68	50	16	18	22	32	34	20	20
	Net requirements			10	2																							
	Planned order receipts M1			14		14			14	14	14	14		14	14		14	14		14	14				14	14	14	
	Planned order releases M1		14		14			14	14	14	14		14	14	14		14	14					14	14	14			
	Planned order receipts M2				12		12	12					12	12			12					12	12				12	12
Planned order releases M2			12		12	12					12	12			12					12	12					12	12	

Setelah penyesuaian proses pada mesin M1 selesai maka dilakukan penyesuaian proses pada mesin M2. Mesin M2 memiliki periode *available* yang tersisa di periode 6 dan 13. Sementara itu *multiple processing* terjadi pada periode 4, 10, 11, 12, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 24, dan 25. Karena periode *available* lebih sedikit dari periode dengan *multiple processing* maka proses eliminasi proses harus dilakukan. Proses eliminasi ini akan mengakibatkan munculnya penalti. Oleh karena itu sebelum proses eliminasi dilakukan maka perlu diketahui proses perhitungan penalti pada PPC *game*. Adapun algoritma proses penyesuaian di mesin M2 dijabarkan sebagai berikut:

1. Persiapkan proses perhitungan penalti
2. Pengidentifikasian periode yang mengalami *multiple processing* pada mesin M2
3. Dimulai dari periode terkecil, eliminasi proses pada periode tersebut hingga menyisakan satu proses. Coba semua alternatif
4. Catat proses mana yang menghasilkan penalti terkecil
5. Jika penalti yang dihasilkan sama, untuk sementara dilewati
6. Lakukan lagi eliminasi untuk periode berikutnya, juga langkah 4 dan langkah 5.
7. Setelah semua periode yang mengalami *multiple processing* dieliminasi maka kembali lagi ke periode yang dilewati.
8. Lakukan lagi langkah 3, 4, dan 5.
9. Apabila semua periode sudah habis maka proses eliminasi sudah selesai.

Dalam proses perhitungan penalti perlu diketahui jumlah kebutuhan material untuk setiap produknya dibandingkan dengan jumlah inventori yang tersedia. Material yang dibandingkan adalah material yang mengalami proses eliminasi di mesin M2 yaitu material WIP C, material WIP E, dan material WIP F. Material A juga perlu dibandingkan karena mengandung komponen material WIP E dan material WIP F. Tabel 4.14 menunjukkan kebutuhan material untuk setiap produk yang berhubungan dengan mesin M2. Terdapat urutan prioritas dalam penggunaan material untuk pemenuhan *order*. Prioritas pertama terletak pada proses *assembly* material A di mesin M3 (jika terdapat *order* untuk *assembly* material A). Prioritas kedua adalah proses *assembly* produk P1. Prioritas ketiga adalah proses *assembly* produk P2. Prioritas terakhir adalah proses *assembly* produk P3. Setiap urutan prioritas akan mengurangi inventori material jika memang inventori yang ada mencukupi jumlah material yang dibutuhkan. Jika jumlah material tidak mencukupi maka tidak ada pengurangan material yang selanjutnya bisa diartikan bahwa *order* pada urutan prioritas tersebut gagal dipenuhi.

Tabel 4.14 Kebutuhan Material Setiap Produk yang Berhubungan dengan Mesin M2

Produk	Material WIP	Periode																									
		0	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
P1	A		2	6				2					4	4	6			6			6	10	2	2		4	6
	C		1	3			1					2	2	3			3				3	5	1	1		2	3
P2	C		1	3			1		5	3	3	2	2		3		3				5	1	1	1		2	3
	E		1	3			1		5	3	3	2	2		3		3				5	1	1	1		2	3
	F		2	6			2		10	6	6	4	4		6		6				10	2	2	2		4	6
P3	C		3	9	9	9	15	3					6	6			9				9	3	3	3		6	9
	F		2	6	6	6	10	2					4	4			6				6	2	2	2		4	6

Untuk mengetahui jumlah inventori yang tersedia maka pada tahapan ini ditambahkan komponen *inventory on hand* pada matriks MRP. Komponen *inventory on hand* adalah jumlah inventori awal sebelum mengalami pengurangan material. Untuk mempermudah perhitungan pada langkah selanjutnya, komponen *gross requirements*, *net requirements*, dan *projected on hand* dihilangkan. Persamaan untuk menghitung komponen *inventory on hand* pada matriks MRP adalah sebagai berikut:

$$\text{Inventory on hand material } X(t) = \text{Inventory on hand material } X(t-1) \text{ pada} \\ \text{prioritas paling akhir} + \text{planned order} \\ \text{receipts material } X(t) \\ \dots\dots\dots(4.6)$$

Tabel 4.15 menunjukkan matriks MRP dengan komponen *inventory on hand*. Cell berwarna merah muda menunjukkan *multiple processing* pada mesin M2. Pada Tabel 4.16 inventori untuk material A pada periode ke-0 sudah dihilangkan. Komponen *inventory on hand* pada periode ke-0 merupakan *projected on hand* periode ke-0 yang sudah dihilangkan.

Tabel 4.15 Matriks MRP Dengan Komponen *Inventory On Hand*

MRP		Periode																											
		0	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	
A	Inventory on hand			6				2					4	4	6				6			6	10	2	2		4	6	
	Planned order receipts			6				2					4	4	6				6			6	10	2	2		4	6	
	Planned order releases		6				2						4	4	6				6			6	10	2	2		4	6	
WIP F	Inventory on hand	24	24	16	16	24	30	26	36	50	54	62	56	50	36	50	58	64	54	68	80	74	40	44	48	58	58	44	
	Planned order receipts M1			14		14			14	14	14	14		14	14	14	14	14	14	14				14	14	14			
	Planned order releases M1		14		14			14	14	14	14		14	14	14	14	14	14	14	14			14	14	14				
	Planned order receipts M2				12		12	12					12		12				12			12	12	12				12	12
WIP C	Inventory on hand	12	12	20	17	20	23	8	3	15	10	7	16	18	8	5	14	5	14	11	11	23	18	9	16	11	23	25	
	Planned order receipts			12	12	12	12			12			12	12			12		12			12	12		12	12		12	12
	Planned order releases		12	12	12	12			12				12	12			12		12			12	12		12	12		12	12
WIP E	Inventory on hand	26	26	7	4	4	17	11	10	10	18	28	26	25	18	18	15	28	20	33	46	41	19	25	31	43	44	37	
	Planned order receipts						13				13	13	13	13	13	13		13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
	Planned order releases					13					13	13	13	13	13			13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	

Komponen *inventory on hand* ini nantinya akan berkurang di setiap level prioritas jika terdapat pemrosesan material. Proses dengan prioritas 1 akan menghasilkan *inventory on hand* untuk material WIP E' dan WIP F'. Proses dengan prioritas 2 akan menghasilkan *inventory on hand* untuk material A dan WIP C'. Proses dengan prioritas 3 akan menghasilkan *inventory on hand* untuk material WIP C'', WIP E'' dan WIP F''. Proses dengan prioritas 4 akan menghasilkan *inventory on hand* untuk material WIP C''' dan WIP F'''. Persamaan untuk menghitung *inventory on hand* untuk setiap level prioritas pada "MS Excel" adalah sebagai berikut:

Prioritas 1

Inventory on hand E'(t) = If (cek assembly A = 1, inventory on hand E(t) – 3
planned order release A (t), inventory on hand E(t))*

Inventory on hand F'(t) = If (cek assembly A = 1, inventory on hand F(t) – 3
planned order release A (t), inventory on hand F(t))*

Prioritas 2

*Inventory on hand A'(t) = If (cek assembly P1 = 1, inventory on hand A(t) –
requirements A for P1 (t), inventory on hand A(t))*

*Inventory on hand C'(t) = If (cek assembly P1 = 1, inventory on hand C(t) –
requirements C for P1 (t), inventory on hand C(t))*

Prioritas 3

*Inventory on hand C''(t) = If (cek assembly P2 = 1, inventory on hand C'(t) –
requirements C for P1 (t), inventory on hand C'(t))*

*Inventory on hand E''(t) = If (cek assembly P2 = 1, inventory on hand E'(t) –
requirements E for P1 (t), inventory on hand E'(t))*

*Inventory on hand F''(t) = If (cek assembly P2 = 1, inventory on hand F'(t) –
requirements F for P1 (t), inventory on hand F'(t))*

Prioritas 4

*Inventory on hand C'''(t) = If (cek assembly P3 = 1, inventory on hand C''(t) –
requirements C for P3 (t), inventory on hand C''(t))*

*Inventory on hand F'''(t) = If (cek assembly P3 = 1, inventory on hand F''(t) –
requirements F for P3 (t), inventory on hand
F''(t))*

.....(4.7)

Selanjutnya pada tabel 4.16 ditunjukkan jumlah *inventory on hand* untuk setiap level prioritas.

Tabel 4.16 Kondisi *Inventory On Hand* pada Setiap Level Prioritas

Prioritas	Proses	Material	Periode																									
			0	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
1	Assembly A	E'	8	7	4	4	11	11	10	10	18	16	14	7	18	18	15	10	20	33	28	11	13	19	31	31	26	37
		F'	6	16	16	24	24	26	36	50	54	50	44	32	36	50	58	46	54	68	62	44	34	38	48	46	40	44
2	Assembly P1	A'	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
		C'	12	17	17	20	23	7	3	15	10	7	14	16	5	5	14	5	11	11	11	20	13	8	15	11	21	22
3	Assembly P2	C''	11	14	17	20	23	6	3	10	7	4	12	14	5	2	14	2	11	11	11	15	12	7	14	11	19	19
		E''	7	4	4	4	11	10	10	5	15	13	12	5	18	15	15	7	20	33	28	6	12	18	30	31	24	34
4	Assembly P3	F''	4	10	16	24	24	24	36	40	48	44	40	28	36	44	58	40	54	68	62	34	32	36	46	46	36	38
		C'''	8	5	8	11	8	3	3	10	7	4	6	8	5	2	5	2	11	11	11	6	9	4	11	11	13	10
		F'''	2	4	10	18	14	22	36	40	48	44	36	24	36	44	52	40	54	68	62	28	30	34	44	46	32	32

Pada persamaan *inventory on hand* untuk setiap prioritas terdapat pengecekan *assembly*. Pengecekan *assembly* ini menunjukkan apakah material yang dibutuhkan tersedia untuk dilakukan proses *assembly*. Dengan menggunakan bantuan program “MS Excel” proses pengecekan ini akan menghasilkan nilai 1 jika bisa dilakukan proses *assembly* dan bernilai 0 jika tidak bisa dilakukan proses *assembly*. Proses ini bisa diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

Cek *assembly* material A (t) : If (And (Inventory on hand material WIP E (t) >= 3 * planned order release material A (t), Inventory on hand material WIP F (t) >= 3 * planned order release material A (t)), 1, 0)

Cek *assembly* produk P1 (t) : If (And (Inventory on hand material A (t) >= requirements P1 for material A (t), Inventory on hand material C (t) >= requirements P1 for material C (t)), 1, 0)

Cek *assembly* produk P2 (t) : If (And (Inventory on hand material C' (t) >= requirements P2 for material C (t), Inventory on hand material E' (t) >= requirements P2 for material E (t)), Inventory on hand material F' (t) >= requirements P2 for material F' (t), 1, 0)

Cek *assembly* produk P3 (t) : If (And (Inventory on hand material C'' (t) >= requirements P3 for material C (t), Inventory on hand material F'' (t) >= requirements P3 for material F (t)), 1, 0)

.....(4.8)

Proses pengecekan *assembly* ini ditunjukkan oleh Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Pengecekan Keberhasilan Proses *Assembly*

Proses Assembly	Periode																										
	0	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
Material A		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Produk P1		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Produk P2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Produk P3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Untuk setiap jumlah produk yang gagal memenuhi *order* akan mendapatkan penalti sebesar 20. Dengan mengalikan data jumlah *order* dengan 20 maka dapat diketahui penalti yang didapatkan jika *order* produk pada periode t gagal terpenuhi. Tabel penalti ditunjukkan oleh Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Tabel Penalti untuk *Order*

Produk	Periode																											
	0	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	
P1		20	60				20					40	40	60				60				60	100	20	20		40	60
P2		20	60				20		100	60	60	40	40		60						100	20	20	20			40	60
P3		20	60	60	60	100	20					40	40			60						60	20	20	20		40	60

Setelah tahapan persiapan selesai, maka dapat dilakukan proses eliminasi terhadap *multiple processing* di mesin M2 dan juga penambahan proses pada periode yang *available*. Proses ini dilakukan dengan pendekatan metode heuristik *trial and error*. Apabila terdapat periode dengan *multiple processing* maka dilakukan penghapusan proses yang kemudian dicatat penaltinya. Begitu juga apabila ada periode yang *available* maka dicatat berapa penaltinya jika ditambahkan proses *assembly*. Berikut ini adalah uraian penyesuaian proses *assembly* yang terjadi pada pengerjaan MRP sebelumnya:

1. Periode ke-1

Pada periode ke-1 tidak terdapat *multiple process*, namun PPC *game* tidak menyediakan inventori untuk material A. Oleh karena itu terdapat penalti karena gagal memenuhi *order* produk P1. Selanjutnya *order* untuk P1 pada periode dihapus. Penalti yang didapatkan adalah sebesar 20.

2. Periode ke-2

Pada periode ke-2 terdapat proses material WIP C dan WIP F. Dengan menggunakan pengecekan penalti, jika melakukan penghapusan proses material WIP C akan menghasilkan penalti 140. Jika proses material WIP F yang dihapus maka penaltinya adalah 80. Oleh karena itu proses yang dihapus adalah proses untuk material WIP F.

3. Periode ke-4

Material yang diproses di periode ke-4 adalah material WIP C, WIP E, dan WIP F. Jika material yang diproses hanya material WIP C (menghapus proses material WIP E dan WIP F) maka penaltinya adalah 200. Jika material yang diproses hanya WIP E (menghapus proses material WIP C dan WIP F) maka menghasilkan penalti 180. Jika material yang diproses hanya material WIP F (menghapus proses material WIP C dan WIP E) maka penaltinya adalah 200. Oleh karena itu material yang diproses di periode ke-4 adalah material WIP E.

4. Periode ke-6

Periode ke-6 merupakan periode yang *available*. Apabila diletakkan proses material WIP C maka menghasilkan penalti 200. Demikian pula jika diletakkan proses material WIP E atau WIP F juga menghasilkan penalti 200. Karena penalti yang dihasilkan sama, untuk sementara periode *available* ini dikosongkan.

5. Periode ke-10

Material yang diproses di periode ke-10 adalah material WIP C, WIP E, dan WIP F. Proses eliminasi yang menghasilkan penalti terkecil adalah eliminasi proses material WIP C dan material WIP F yang menghasilkan penalti 180. Sehingga untuk periode ke-10 material yang diproses adalah material WIP E.

6. Periode ke-11

Material yang diproses di periode ke-11 adalah material WIP C dan WIP E. Pada periode ini, penalti terkecil didapatkan jika melakukan eliminasi proses WIP E. Penalti yang didapatkan sebesar 240. Oleh karena itu material yang diproses di periode ke-11 adalah material WIP C.

7. Periode ke-12

Material yang diproses di periode ke-12 adalah material WIP E dan WIP F. Penalti terkecil yaitu sebesar 240 didapatkan jika mengeliminasi proses WIP F. Dengan demikian material yang diproses di periode ke-12 adalah material WIP E.

8. Periode ke-13

Periode ke-13 merupakan periode yang *available*. Jika dilakukan penambahan proses material ternyata penalti yang dihasilkan sama. Oleh karena itu untuk sementara periode ini dilewati.

9. Periode ke-15

Material yang diproses di periode ke-15 adalah material WIP E dan WIP F. Penalti terkecil sebesar 240 didapatkan dengan mengeliminasi material WIP F.

10. Periode ke-16

Material yang diproses di periode ke-16 adalah material WIP C dan WIP E. Penalti terkecil didapatkan jika mengeliminasi material WIP C yaitu sebesar 300.

11. Periode ke-18

Material yang diproses di periode ke-18 adalah material WIP E dan WIP F. Proses eliminasi menghasilkan penalti yang sama. Oleh karena itu periode ini dilewati.

12. Periode ke-19

Material yang diproses di periode ke-19 adalah material WIP C, WIP E, dan WIP F. Penalti terkecil yaitu sebesar 340 didapatkan jika mengeliminasi material WIP E dan WIP F.

13. Periode ke-20

Material yang diproses di periode ke-20 adalah material WIP C, WIP E, dan WIP F. Penalti terkecil diperoleh jika material yang dieliminasi adalah material WIP E dan WIP F. Penalti yang didapatkan adalah sebesar 400.

14. Periode ke-22

Material yang diproses di periode ke-22 adalah material WIP C dan WIP E. Dengan mengeliminasi material WIP E maka didapatkan penalti terkecil yaitu sebesar 400.

15. Periode ke-24

Material yang diproses di periode ke-24 adalah material WIP C, WIP E, dan WIP F. Karena proses eliminasi menghasilkan penalti yang sama maka periode ini dilewati.

16. Periode ke-25

Material yang diproses di periode ke-25 adalah material WIP C, WIP E, dan WIP F. Penalti terkecil yaitu sebesar 460 didapatkan jika mengeliminasi material WIP C dan WIP E. Karena periode ini merupakan periode terakhir maka penyesuaian proses *assembly* ini dilakukan lagi pada periode sebelumnya yang dilewati.

17. Periode ke-6

Material yang diproses di periode ke-6 untuk menghasilkan penalti terkecil adalah material WIP E. Penalti yang dihasilkan adalah sebesar 400.

18. Periode ke-13

Material yang diproses di periode ke-13 untuk menghasilkan penalti terkecil adalah material WIP C. Penalti yang dihasilkan adalah sebesar 360.

19. Periode ke-18

Penalti terkecil yaitu sebesar 360 didapatkan jika material yang dieliminasi di periode ke-18 adalah material WIP E.

20. Periode ke-24

Proses eliminasi untuk periode ke-24 masih menghasilkan penalti yang sama yaitu sebesar 420. Karena periode ini merupakan periode terakhir yang perlu disesuaikan sehingga tidak bisa dilewati. Material yang dipilih untuk diproses di periode ke-24 adalah material WIP F karena material WIP F paling sedikit mengalami pemrosesan di mesin M2.

Dengan demikian proses penyesuaian untuk mesin M2 sudah selesai. Langkah selanjutnya adalah merekap penyesuaian ini pada matriks MRP. Proses penyesuaian ini mengubah data *order* sebelumnya karena terdapat penghapusan

order yang tidak terpenuhi. Tabel 4.19 menunjukkan data *order* yang telah berubah karena adanya penghapusan *order*.

Tabel 4.19 Perubahan Data *Order*

Produk	Periode																											
	0	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	
P1			3				1					2	2	3				3				3						
P2		1	3				1		5	3	3	2	2		3							5	1	1	1		2	3
P3		1	3		3		1					2	2				3					3		1	1		2	3

Matriks MRP juga mengalami perubahan. Karena data *order* yang berubah maka kebutuhan kotor material juga ikut berubah. Hanya saja komponen *planned order releases* dan *planned order receipts* untuk material A dan material WIP mengikuti pengerjaan pada tahapan dengan pendekatan heuristik. Tabel 4.20 menunjukkan matriks MRP setelah mengalami perubahan. Dalam tabel ini sudah tidak ditemukan komponen *projected on hand* yang bernilai negatif. Oleh karena itu tahap penyesuaian untuk mesin M1 dan M2 sudah selesai.

Tabel 4.20 Perubahan Matriks MRP

Mesin	MRP		Periode																												
	Material	Komponen MRP	0	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		
M3	Material A	Gross requirements			6				2					4	4	6				6			6		2	2		4			
		Projected on hand	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	
		Net requirements			6					2					4	4	6				6			6		2	2		4		
		Planned order receipts			6					2					4	4	6				6			6		2	2		4		
		Planned order releases			6				2					4	4	6				6			6		2	2		4			
M1	WIP B	Gross requirements	2	12		3		4		5	3	3	8	8	6	3	3		6			14	1	4	4		8	6			
		Projected on hand	14	12	0	14	11	11	21	21	16	13	10	16	8	16	13	10	24	18	18	18	18	31	27	23	23	29	37		
		Net requirements																													
		Planned order receipts				14								14		14								14	14				14	14	
	Planned order releases				14			14					14		14				14			14	14				14	14			
	WIP D	Gross requirements		1	3		3		1					2	2				3					3		1	1		2	3	
		Projected on hand	13	12	9	9	6	19	18	18	18	18	18	16	14	14	14	11	11	11	11	24	21	21	20	19	19	17	14		
		Net requirements																													
Planned order receipts								13															13								
Planned order releases							13															13									
M1 dan M2	WIP F	Gross requirements		22	12		6	6	4		10	6	18	20	26		6	6	18			18	16	8	10	4	12	8	12		
		Projected on hand	24	2	4	4	12	6	14	28	32	40	36	16	4	4	12	20	2	16	30	24	8	0	4	14	16	20	20		
		Net requirements			10		2								10		2									10					
		Planned order receipts M1			14		14				14	14	14	14		14		14	14		14	14				14	14	14			
		Planned order releases M1			14		14			14	14	14	14		14		14	14		14	14					14	14	14			
		Planned order receipts M2							12															12						12	12
Planned order releases M2							12															12						12	12		
M2	WIP C	Gross requirements		4	15		9		5		5	3	3	10	10	3	3	9		3		17	1	5	5		10	12			
		Projected on hand	12	8	5	17	20	20	15	15	22	19	16	6	8	5	14	17	17	14	14	14	9	20	15	22	22	12	0		
		Net requirements			7											4								3							
		Planned order receipts				12	12					12				12	12	12						12	12	12					
	Planned order releases				12	12				12				12	12	12							12	12	12						
	WIP E	Gross requirements		19	3			6	1		5	3	15	14	20		3		18			18	5	7	7	1	12	2	3		
		Projected on hand	26	7	4	4	4	11	10	23	18	28	26	25	5	18	15	15	10	23	36	18	13	6	12	11	12	10	7		
		Net requirements							2										3						1		1				
Planned order receipts								13		13		13	13	13		13			13	13	13			13	13						
Planned order releases							13		13		13	13	13		13			13	13	13			13	13							
-	Raw B	Gross requirements			14			14					14		14			14				14	14				14	14			
		Projected on hand	14	14	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	
		Net requirements							14					14		14			14				14	14				14	14		
		Planned order releases						14					14		14			14			14	14					14	14			
	Raw C	Gross requirements		12	12	12				12				12		12	12						12	12		12					
		Projected on hand	12	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	
		Net requirements			12	12				12				12		12	12						12	12		12					
		Planned order releases			12	12				12				12		12	12						12	12		12					
	Raw D	Gross requirements					13																13								
		Projected on hand		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	
		Net requirements					13																	13							
		Planned order releases					13																	13							
	Raw E	Gross requirements					13		13		13	13	13		13			13	13	13				13	13			13	13		
		Projected on hand		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	
		Net requirements					13		13		13	13	13		13			13	13	13				13	13			13	13		
		Planned order releases					13		13		13	13	13		13			13	13	13				13	13			13	13		
	Raw F	Gross requirements		14		14		12	14	14	14	14		14		14	14		14	14	12			14	14	14	12	12			
		Projected on hand	14	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	
		Net requirements				14		12	14	14	14	14		14		14	14		14	14	12			14	14	14	12	12			
		Planned order releases				14		12	14	14	14	14		14		14	14		14	14	12			14	14	14	12	12			

4.2.2.3.4 Pembatasan Pembelian Pada Bahan Baku

Kondisi PPC *game* yang masih belum sesuai dengan pengerjaan MRP adalah jenis pembelian bahan baku (*planned order releases* dari bahan baku) setiap periode maksimal sebanyak satu jenis material. Pada Tabel 4.21 ditunjukkan bahwa terdapat lebih dari satu jenis pembelian bahan baku (*multiple purchasing*) di beberapa periode.

Tabel 4.21 Pembelian Bahan Baku

Bahan Baku	Periode																										
	0	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
B					14					14	14				14				14	14	14				14		
C		12	12				12				12		12	12					12	12		12					
D				13														13									
E				13		13		13	13	13		13			13	13	13				13		13				
F			14		12	14	14	14	14		14		14	14		14	14	12			14	14	14	12	12		

Jumlah pembelian bahan baku adalah bebas. Oleh karena itu penyesuaian dapat dilakukan dengan menggabungkan pembelian bahan baku untuk material yang sama. Selain itu jumlah inventori awal untuk bahan baku di gudang G1 yang berkapasitas maksimal 120 juga bisa digunakan untuk mengatasi terjadinya *multiple purchasing*. Algoritma dalam proses pembatasan pembelian bahan baku adalah sebagai berikut:

1. Pemberian prioritas pada masing-masing bahan baku
2. Identifikasi periode yang mengalami *multiple purchasing*.
3. Hapus bahan baku dengan prioritas tertinggi dan pindahkan ke inventori awal hingga menyisakan satu jenis bahan baku
4. Lakukan untuk semua periode yang mengalami *multiple purchasing* dan akhiri ketika inventori awal hampir atau sudah mencapai kapasitas maksimalnya.
5. Lakukan penggabungan pembelian bahan baku untuk periode yang masih terdapat *multiple purchasing*
6. Ulangi penggabungan sampai periode *multiple purchasing* paling akhir

Langkah awal dalam melakukan pembatasan pembelian bahan baku adalah mengidentifikasi periode yang mengalami *multiple purchasing*. Periode yang mengalami *multiple purchasing* ditunjukkan pada Tabel 4.21 dengan label kolom berwarna biru. Selanjutnya dilakukan identifikasi terhadap bahan baku pada periode tersebut. Bahan baku tersebut akan dihapus dan ditambahkan ke inventori awal gudang G1 hingga hanya menyisakan pembelian satu jenis bahan baku. Prioritas dalam penghapusan bahan baku berdasarkan dari berapa kali bahan baku tersebut dibeli dalam seluruh periode. Prioritas pertama adalah bahan baku F yang dibeli sebanyak 17 kali. Prioritas kedua adalah bahan baku E yang dibeli sebanyak

11 kali. Prioritas ketiga adalah bahan baku C yang dibeli sebanyak 9 kali. Prioritas keempat adalah bahan baku B yang dibeli sebanyak 8 kali. Prioritas terakhir adalah bahan baku D yang dibeli sebanyak 2 kali. Dimulai dari periode terkecil terjadinya *multiple purchasing* dilakukan penghapusan dan penambahan inventori bahan baku. Jika gudang G1 sudah mencapai kapasitas maksimalnya maka dilakukan penggabungan pembelian bahan baku. Tabel menunjukkan proses penambahan inventori sampai kapasitas gudang G1 hampir mencapai maksimal yaitu sebesar 107. Proses ini terhenti pada periode ke-6.

Setelah proses penambahan inventori dilakukan dan gudang G1 sudah hampir mencapai maksimal, maka dilakukan proses penggabungan pembelian bahan baku. Proses penggabungan pembelian bahan baku adalah maksimal sebanyak dua periode digabungkan menjadi satu periode. Penggabungan pembelian bahan baku ini dilakukan dengan prioritas utama pada material dengan jumlah yang kecil. Hal ini dilakukan agar inventori di gudang G1 selalu minimum. Pada periode yang mengalami *multiple purchasing*, pembelian bahan baku akan digabungkan dengan periode paling awal terjadinya pembelian dari material yang bersangkutan. Tabel 4.22 menunjukkan proses penggabungan pembelian bahan baku.

Tabel 4.22 Matriks MRP Bahan Baku dengan Penambahan Inventori

MRP		Periode																											
Material	Komponen MRP	0	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	
Raw B	Gross requirements		14				14						14	14				14				14	14		14			14	
	Projected on hand	14	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
	Net requirements						14						14	14				14				14	14		14			14	
	Planned order receipts						14						14	14				14				14	14		14			14	
	Planned order releases					14						14	14					14				14	14		14			14	
Raw C	Gross requirements		12	12	12				12				12			12	12					12	12		12				
	Projected on hand	12	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
	Net requirements			12	12				12				12			12	12					12	12		12			12	
	Planned order receipts			12	12				12				12			12	12					12	12		12			12	
	Planned order releases		12	12				12					12			12	12					12	12		12			12	
Raw D	Gross requirements					13																13							
	Projected on hand		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
	Net requirements					13																13							
	Planned order receipts					13																13							
	Planned order releases					13																13							
Raw E	Gross requirements					13		13		13	13	13	13				13	13	13				13		13				
	Projected on hand	13	13	13	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Net requirements							13		13	13	13	13				13	13	13				13		13			13	
	Planned order receipts							13		13	13	13	13				13	13	13				13		13			13	
	Planned order releases						13		13	13	13	13				13	13	13				13		13			13		
Raw F	Gross requirements		14		14		12	14	14	14	14	14		14		14	14		14	14	12			14	14	14	12	12	
	Projected on hand	68	54	54	40	40	28	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Net requirements									14	14		14		14	14		14	14	12			14	14	14	12	12		
	Planned order receipts									14	14		14		14	14		14	14	12			14	14	14	12	12		
	Planned order releases								14	14		14		14	14		14	14	12			14	14	14	12	12			

Tabel 4.23 Matriks MRP Bahan Baku dengan Penggabungan Pembelian

MRP		Periode																										
Material	Komponen MRP	0	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
Raw B	Gross requirements		14				14					14	14				14				14	14		14			14	
	Projected on hand	14	0	0	0	0	14	14	14	14	14	28	14	14	14	14	28	28	28	28	14	14	14	0	0	0	0	0
	Net requirements						14																				14	
	Planned order receipts						28					28						28						14				14
	Planned order releases					28					28						28						14					14
Raw C	Gross requirements		12	12	12				12				12	12	12							12	12		12			
	Projected on hand	12	0	12	24	24	24	24	36	36	36	36	24	24	12	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0
	Net requirements			12																		12		12				
	Planned order receipts			24	24				24														24		12			
	Planned order releases		24	24				24														24		12				
Raw D	Gross requirements					13																13						
	Projected on hand		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
	Net requirements					13																13						
	Planned order receipts					13																13						
	Planned order releases					13																13						
Raw E	Gross requirements					13		13		13	13	13		13			13	13	13				13		13			
	Projected on hand	13	13	13	13	0	0	13	13	0	13	0	0	13	13	13	0	13	0	0	0	0	13	13	0	0	0	0
	Net requirements							13			13			13			13						13					
	Planned order receipts							26			26			26			26						26		26			
	Planned order releases						26			26			26				26						26					
Raw F	Gross requirements		14		14		12	14	14	14	14		14		14	14		14	14	12			14	14	14	12	12	
	Projected on hand	68	54	54	40	40	28	14	0	14	0	0	14	14	26	40	40	26	40	28	28	28	14	0	12	12	0	
	Net requirements									14					14											14		
	Planned order receipts									28			28		26	28			28							26	12	
	Planned order releases							28			28		26	28			28								26	12		

Setelah tahapan ini selesai maka penyesuaian PPC *game* dengan pengerjaan MRP berakhir. Semua kondisi dalam PPC *game* sudah terakomodasi dalam pengerjaan MRP. Penalti yang didapatkan dari proses penyesuaian ini adalah sebesar 420. Hasil akhir dari penyesuaian ini nantinya merupakan *input* pemain dalam PPC *game*. Tabel 4.24 adalah matriks MRP akhir setelah dilakukan penyesuaian. Sedangkan keputusan pemain setiap periode ditunjukkan oleh Tabel 4.25. Keputusan pembelian bahan baku, pemilihan material yang diproses di mesin M1 dan mesin M2, serta jumlah material A yang di-assembly didapatkan dari komponen *planned order releases* material yang bersangkutan pada tabel matriks MRP akhir.

Tabel 4.24 Matriks MRP Akhir

Mesin	MRP		Periode																											
	Material	Komponen MRP	0	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	
M3	Material A	Gross requirements			6				2					4	4	6				6			6		2	2		4		
		Projected on hand		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
		Net requirements			6					2					4	4	6				6			6		2	2		4	
		Planned order receipts			6					2					4	4	6				6			6		2	2		4	
		Planned order releases			6				2						4	4	6				6			6		2	2		4	
M1	WIP B	Gross requirements	2	12		3		4		5	3	3	8	8	6	3	3		6			14	1	4	4		8	6		
		Projected on hand	14	12	0	14	11	11	21	21	16	13	10	16	8	16	13	10	24	18	18	18	31	27	23	23	29	37		
		Net requirements																												
		Planned order receipts				14								14										14	14				14	14
	Planned order releases				14								14										14	14				14	14	
	WIP D	Gross requirements		1	3		3		1					2	2				3							1	1		2	3
		Projected on hand	13	12	9	9	6	19	18	18	18	18	18	16	14	14	14	11	11	11	11	11	24	21	21	20	19	19	17	14
		Net requirements																												
Planned order receipts								13															13							
M1 dan M2	WIP F	Gross requirements		22	12		6	6	4		10	6	18	20	26		6	6	18			18	16	8	10	4	12	8	12	
		Projected on hand	24	2	4	4	12	6	14	28	32	40	36	16	4	4	12	20	2	16	30	24	8	0	4	14	16	20	20	
		Net requirements			10		2							10		2									10					
		Planned order receipts M1			14		14			14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14			14	14	14	14		
		Planned order releases M1			14		14			14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14			14	14	14	14		
M2	WIP C	Gross requirements		4	15		9		5		5	3	3	10	10	3	3	9		3			17	1	5	5		10	12	
		Projected on hand	12	8	5	17	20	20	15	15	22	19	16	6	8	5	14	17	17	14	14	14	14	9	20	15	22	12	0	
		Net requirements			7									4										3						
		Planned order receipts			12	12	12				12						12	12						12	12		12			
	Planned order releases			12	12	12				12					12	12	12						12	12		12				
	WIP E	Gross requirements		19	3		6	1		5	3	15	14	20		3		18				18	5	7	7	1	12	2	3	
		Projected on hand	26	7	4	4	4	11	10	23	18	28	26	25	5	18	15	15	10	23	36	18	13	6	12	11	12	10	7	
		Net requirements						2											3						1		1			
Planned order receipts							13	13		13	13	13	13	13	13		13	13	13				13	13		13				
-	Raw B	Gross requirements			14			14					14		14			14				14	14			14	14			
		Projected on hand	14	14	0	0	0	14	14	14	14	14	28	28	14	14	14	28	28	28	28	28	14	14	14	14	14	0	0	0
		Net requirements																												14
		Planned order receipts						28					28						28					14					14	
	Planned order releases					28						28						28					14					14		
	Raw C	Gross requirements		12	12	12				12				12		12	12						12	12		12		12		
		Projected on hand	12	0	12	24	24	24	24	36	36	36	36	24	24	12	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0
		Net requirements			12																			12		12		12		
		Planned order receipts			24	24				24														24			12			
	Planned order releases			24	24				24														24			12				
	Raw D	Gross requirements						13															13							
		Projected on hand		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
		Net requirements						13																13						
		Planned order receipts						13																13						
	Planned order releases						13																13							
	Raw E	Gross requirements						13		13	13	13	13	13	13			13	13	13			13	13		13		13		
		Projected on hand	13	13	13	13	0	0	13	13	0	13	0	13	13	13	0	13	13	13	0	13	0	0	0	13	13	0	0	0
		Net requirements							13			13		13				13					13			13		13		
		Planned order receipts						26				26		26				26					26			26		26		
	Planned order releases						26				26		26				26					26			26		26			
Raw F	Gross requirements		14		14		12	14	14	14	14		14		14	14		14	14	12			14	14	14	14	12			
	Projected on hand	68	54	54	40	40	28	14	0	14	0	0	14	14	26	40	40	26	40	28	28	28	14	0	12	12	0	0		
	Net requirements									14			14																	
	Planned order receipts								28			28		26	28				28							26	12			
Planned order releases								28			28		26	28				28							26	12				

Tabel 4.25 Keputusan Pemain

Proses	Material	Periode																											
		0	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	
Pembelian Bahan Baku	Raw Material B					28					28					28					14					14			
	Raw Material C		24	24				24														24			12				
	Raw Material D				13																		13						
	Raw Material E						26				26			26					26						26				
	Raw Material F								28				28		26	28				28						26	12		
Assembly di mesin M1	WIP Material B			14			14						14		14						14			14	14			14	14
	WIP Material D					13																	13						
	WIP Material F		14		14			14	14	14	14		14		14	14			14	14					14	14	14		
Assembly di mesin M2	WIP Material C		12	12	12				12				12		12		12					12	12		12				
	WIP Material E					13		13			13	13	13	13					13	13	13				13		13		
	WIP Material F						12															12						12	12
Assembly di mesin M3	Material A		6				2						4	4	6						6			6		2	2	4	

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA

Pada bab ini akan dilakukan analisa dan interpretasi berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya.

5.1 Analisa Penalti pada Metode MRP

Tujuan MRP pada awalnya adalah menghasilkan keputusan pemesanan material yang tepat untuk memenuhi semua permintaan yang ada. Namun ternyata terdapat batasan pada PPC *game* yang menyebabkan pemesanan tidak bisa dilakukan sesuai dengan hasil dari MRP.

Permasalahan awal adalah adanya kekurangan material pada beberapa periode. Permasalahan ini disebabkan oleh ukuran pemesanan yang digunakan adalah *fixed lot size*. Ketika kebutuhan kotor melebihi *projected on hand* periode sebelumnya maka akan muncul kebutuhan bersih. Kebutuhan bersih ini akan berusaha ditutupi oleh pemesanan. Namun ada kalanya kebutuhan bersih ini lebih besar dari ukuran pemesanan dan inventori yang ada. Hal ini menyebabkan ukuran pemesanan tidak mencukupi kebutuhan bersih tersebut. Permasalahan ini diatasi dengan cara melakukan penambahan pemesanan pada periode sebelumnya sampai kebutuhan bersih tersebut terpenuhi. Dengan cara ini maka pengerjaan MRP sudah dapat dikatakan selesai karena sudah mampu memenuhi semua *order* yang ada.

Permasalahan selanjutnya adalah pengerjaan MRP sebelumnya ternyata tidak bisa diterapkan pada PPC *game* karena adanya batasan. Pada permasalahan ini dilakukan pendekatan heuristik agar pengerjaan MRP sebelumnya bisa memenuhi batasan yang terdapat pada PPC *game*. Pendekatan heuristik ini dilakukan namun dengan tetap memperhitungkan penalti yang akan didapat. Meskipun demikian, konsekuensi dari pengerjaan dengan pendekatan heuristik ini adalah adanya potensi minimasi penalti yang mungkin tidak terakomodasi. Berikut ini adalah potensi yang bisa dimanfaatkan dalam meminimalkan penalti:

1. Jumlah Inventori Awal.

Kondisi inventori awal seharusnya disesuaikan dengan kebutuhan material selama sebulan. Namun dalam pengerjaan MRP sebelumnya, inventori awal diasumsikan mengikuti *planned order releases* dari setiap material. Hal ini tentunya bukan merupakan pendekatan efektif. Jumlah inventori awal untuk gudang G2 adalah 89. Padahal kapasitas maksimal G2 pada periode pertama adalah 100. Dengan memaksimalkan penggunaan inventori awal maka penalti yang didapatkan diharapkan akan lebih kecil.

2. Eliminasi Proses di Mesin M1 dan M2

Pada saat proses eliminasi dilakukan pada mesin M2 dengan menggunakan *trial and error*, terdapat potensi untuk meminimalkan penalti yang terabaikan. Metode yang digunakan sebelumnya adalah mencatat perhitungan penalti yang didapatkan ketika melakukan penghapusan proses secara bertahap. Metode ini tidak mempertimbangkan semua kemungkinan yang ada. Ada kalanya suatu periode yang dihapus prosesnya sebenarnya bisa memberikan penalti yang lebih kecil ketika di periode berikutnya proses tersebut tidak dihapus. Hal ini disebabkan proses penghapusan itu tidak memprediksi potensi penalti yang bisa diminimalkan. Penalti yang ditampilkan adalah penalti yang didapatkan saat tepat dilakukan penghapusan proses tersebut.

5.2 Optimasi dengan Metode *Genetic Algorithm*

Dalam bagian ini akan dilakukan penyelesaian PPC *game* menggunakan optimasi dengan metode *genetic algorithm*. Penyelesaian PPC *game* dengan menggunakan metode ini dimulai dari penyusunan model, penyusunan komponen dalam model, dan *running* optimasi.

5.2.1 Penyusunan Model

Melalui algoritma PPC *game* yang telah diketahui, maka bisa disusun model yang sesuai dengan kondisi PPC *game* yang sebenarnya. Model ini terdiri dari fungsi tujuan, variabel keputusan, dan pembatas sebagai berikut:

1. Fungsi tujuan dari model adalah meminimalkan penalti berupa penalti gudang dan penalti gagal *order*.

- Penalti gagal order didapatkan jika order permintaan pada periode ke-t tidak terpenuhi yaitu jika jumlah material penyusun produk yang tersedia kurang dari jumlah material yang dibutuhkan .
 - Penalti gudang didapatkan jika total inventori material pada gudang melebihi kapasitas maksimum
2. Variabel keputusan
- Jumlah inventori bahan baku di gudang G1 dan material WIP di gudang G2 untuk periode nol
 - Variabel jumlah bahan baku yang dibeli untuk setiap periode
 - Variabel jenis bahan baku yang dibeli untuk setiap periode
 - Variabel pemilihan material yang diproses di M1 dan M2 untuk setiap periode
 - Variabel jumlah material A yang di-*assembly* untuk setiap periode
3. Pembatas
- Jumlah material untuk periode nol di gudang G1 maksimal adalah 120 dan pada gudang G2 maksimal adalah 100
 - Maksimal bahan baku yang dibeli untuk satu periode adalah satu jenis
 - Maksimal material yang diproses di M1 dan M2 masing-masing adalah satu jenis
 - Jumlah maksimal material A yang di-*assembly* tidak boleh melebihi jumlah inventori material E dan F sebagai komponen penyusunnya

5.2.2 Penyusunan Komponen dalam Model

Model yang sudah disusun perlu disesuaikan lagi dengan *tool* yang digunakan untuk menemukan solusi. *Tool* yang digunakan adalah “@Risk”. Agar model tersebut bisa dipahami oleh *tool* yang digunakan maka disusunlah komponen-komponen yang merupakan aktualisasi dari model itu sendiri.

Komponen Data Permintaan (*Order*)

Data permintaan yang tersedia dalam PPC *game* nantinya menjadi pembanding dengan produk yang bisa dihasilkan oleh pemain. Jika pemain bisa

memenuhi permintaan maka tidak dikenakan penalti, sedangkan jika pemain tidak bisa memenuhi permintaan maka akan dikenakan penalti. Komponen permintaan merupakan data *order* produk 1, produk 2, dan produk 3. Data ini kemudian dikembangkan lagi menjadi data kebutuhan material untuk tiap produk. Hal ini dikarenakan PPC *game* membandingkan jumlah material yang dibutuhkan per produk bukan dari total material untuk keseluruhan produk dalam penentuan status keberhasilan *order*. Jumlah kebutuhan material per produk ini didapatkan dari mengalikan jumlah order setiap produk dengan kebutuhan material menurut *bill of material*. Jumlah kebutuhan material setiap produk ditunjukkan oleh Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Jumlah Kebutuhan Material Setiap Produk

Produk	Material	Periode																									
		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
P1	A	2	6	0	0	0	2	0	0	0	0	4	4	6	0	0	0	6	0	0	6	10	2	2	0	4	6
	B	2	6	0	0	0	2	0	0	0	0	4	4	6	0	0	0	6	0	0	6	10	2	2	0	4	6
	C	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	2	2	3	0	0	0	3	0	0	3	5	1	1	0	2	3
P2	B	1	3	0	0	0	1	0	5	3	3	2	2	0	3	0	3	0	0	0	5	1	1	1	0	2	3
	C	1	3	0	0	0	1	0	5	3	3	2	2	0	3	0	3	0	0	0	5	1	1	1	0	2	3
	E	1	3	0	0	0	1	0	5	3	3	2	2	0	3	0	3	0	0	0	5	1	1	1	0	2	3
	F	2	6	0	0	0	2	0	10	6	6	4	4	0	6	0	6	0	0	0	10	2	2	2	0	4	6
P3	B	1	3	3	3	5	1	0	0	0	0	2	2	0	0	3	0	0	0	0	3	1	1	1	0	2	3
	C	3	9	9	9	15	3	0	0	0	0	6	6	0	0	9	0	0	0	0	9	3	3	3	0	6	9
	D	1	3	3	3	5	1	0	0	0	0	2	2	0	0	3	0	0	0	0	3	1	1	1	0	2	3
	F	2	6	6	6	10	2	0	0	0	0	4	4	0	0	6	0	0	0	0	6	2	2	2	0	4	6

Selain itu juga perlu diketahui data penalti yang didapatkan jika *order* tidak terpenuhi. Data penalti ini seperti pada pengerjaan MRP sebelumnya yang ditunjukkan oleh Tabel 4.18.

Komponen Keputusan

Komponen keputusan ini merupakan variabel yang akan dirubah nilainya menggunakan *tool* “@Risk”. Sesuai dengan kondisi PPC *game*, terdapat beberapa variabel yang merupakan komponen keputusan. Variabel tersebut adalah sebagai berikut:

1. Data inventori pada gudang G1 dan G2 hari ke-0 yang ditentukan pada awal permainan.

Pada PPC *game* pemain diminta mengisi jumlah material yang distok di gudang G1 dan G2. Untuk gudang G1 pemain diminta mengisi masing-

masing jumlah *raw* material B, C, D, E, dan F. Sedangkan untuk gudang G2 pemain diminta mengisi masing-masing jumlah WIP material B, C, D, E, dan F. Kapasitas maksimal pada hari ke-0 untuk gudang G1 adalah 120 dan gudang G2 adalah 100. Model untuk data inventori gudang G1 dan G2 ditunjukkan oleh Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Data Inventori Gudang G1 dan G2 pada hari ke-0

Gudang	Material	Jumlah Inventori	Kapasitas Maksimal
G1	Raw material B		120
	Raw material C		
	Raw material D		
	Raw material E		
	Raw material F		
G2	WIP material B		100
	WIP material C		
	WIP material D		
	WIP material E		
	WIP material F		

2. Data pembelian bahan baku

Pembelian bahan baku dimulai dari awal bulan sampai dengan akhir bulan. Setiap hari pemain hanya bisa memilih satu jenis bahan baku yang akan dibeli. Jumlah bahan baku pemain yang akan dibeli oleh pemain tidak memiliki batasan. Data pembelian bahan baku juga tidak boleh kosong. Jadi setiap periodenya pemain harus melakukan pembelian bahan baku. Tabel 5.3 menunjukkan jumlah pembelian bahan baku setiap periode. Tabel ini bisa diisi dengan jumlah yang bebas dan harus berupa *integer*. Pada Tabel ini dicontohkan terdapat pembelian bahan baku B pada periode 1 sebesar 20.

Tabel 5.3 Jumlah Pembelian *Raw Material*

Jenis Material	Periode																										
	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	
Raw material B	20																										
Raw material C																											
Raw material D																											
Raw material E																											
Raw material F																											

Karena terdapat batasan bahwa jenis bahan baku yang boleh dibeli hanya satu jenis untuk setiap periode serta harus terdapat pembelian bahan baku untuk setiap periode maka perlu dibuat komponen untuk membatasi pembelian. Komponen ini menggunakan fungsi logika *if* pada “MS Excel” yaitu apabila terdapat pembelian pada *cell* Tabel pembelian bahan baku maka *cell* yang bersangkutan akan bernilai 1 dan apabila tidak ada maka bernilai 0. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Cek pembelian bahan baku } X(t) = \text{if}(\text{pembelian bahan baku } X(t) > 0, 1, 0) \dots\dots\dots (5.1)$$

Baris jumlah akan menunjukkan berapa bahan baku yang dibeli pada setiap periode. Setiap periodenya baris jumlah ini harus sama dengan 1. Pembatasan pembelian bahan baku ini ditunjukkan oleh Tabel 5.4. Karena pada Tabel 5.3 terdapat pembelian bahan baku B di periode 1. Maka pada Tabel 5.4 bahan baku B pada periode 1 akan bernilai 1.

Tabel 5.4 Batasan Pembelian *Raw Material*

Jenis Material	Periode																										
	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	
Raw material B	1																										
Raw material C	0																										
Raw material D	0																										
Raw material E	0																										
Raw material F	0																										
Jumlah	1																										

3. Data material WIP yang diproses di mesin M1 dan M2

Mesin M1 dan M2 memiliki utilitas yang berbeda. Pada PPC *game* utilitas untuk mesin M1 adalah dari 70% sampai 90%. Sedangkan untuk mesin M2 adalah 60% sampai 80%. Pada proses optimasi ini, utilitas diasumsikan seperti pada pengerjaan MRP sebelumnya yaitu utilitas terendah.

Selanjutnya adalah penentuan material WIP mana yang diproses untuk mesin M1 dan M2. Material yang diproses ini dibatasi sebanyak satu jenis untuk mesin M1 dan satu jenis untuk mesin M2. Apabila material

tersebut diproses maka bernilai 1 jika tidak maka bernilai 0. Pemilihan material WIP yang diproses ini ditampilkan oleh Tabel 4.30. Pada Tabel 5.5 material yang diproses di mesin M1 adalah material WIP B dan material yang diproses di mesin M2 adalah material WIP E.

Tabel 5.5 Pemilihan Material di Mesin M1 dan M2

Mesin	Jenis Material	Periode																									
		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
Mesin M1	Material WIP B	1																									
	Material WIP D																										
	Material WIP F																										
Mesin M2	Material WIP C																										
	Material WIP E	1																									
	Material WIP F																										
Jumlah M1		1																									
Jumlah M2		1																									

Data utilitas kemudian dikalikan dengan kapasitas mesin M1 dan M2 untuk setiap materialnya sehingga menjadi ukuran pemesanan (*lot*). Pada contoh ini utilitas pada periode 1 untuk mesin M1 adalah 0,7 dan untuk mesin M2 adalah 0,6. Melalui Tabel 4.30 diketahui bahwa material yang diproses pada periode 1 di mesin M1 adalah material WIP B dengan kapasitas 20, sedangkan untuk mesin M2 adalah material WIP E dengan kapasitas 21. Sehingga ukuran pemesanan untuk material WIP B pada periode 1 adalah $0,7 \times 20 = 14$. Ukuran pemesanan untuk material WIP E pada periode 1 adalah $0,6 \times 21 = 13$ (dibulatkan). Data ini kemudian ditampilkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Jumlah Material yang diproses di Mesin M1 dan M2

Mesin	Jenis Material	Periode																									
		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
Mesin M1	Material WIP B	12																									
	Material WIP D																										
	Material WIP F																										
Mesin M2	Material WIP C																										
	Material WIP E	14																									
	Material WIP F																										

4. Data material A yang disusun di mesin M3

Material A terdiri disusun oleh material WIP E dan material WIP F. Dalam PPC *game*, jumlah material A yang bisa di-*input*-kan oleh pemain adalah bebas berupa bilangan *integer*. Meski demikian terdapat

jumlah maksimal yang bisa di-assembly oleh mesin M3 yaitu sesuai dengan material WIP E dan material WIP F yang tersedia. Melalui *bill of material* bisa diketahui bahwa untuk menyusun 1 material A dibutuhkan 3 material WIP E dan 3 material WIP F. Namun pada PPC *game* ini terdapat keanehan yaitu meskipun terdapat 3 material WIP E dan 3 material WIP F pada inventori, proses *assembly* material A masih tidak bisa dilakukan. Proses *assembly* satu unit material A baru bisa dilakukan jika tersedia 5 material WIP E dan 5 material WIP F. Algoritma yang digunakan diasumsikan tetap sesuai dengan kondisi *bill of material*. Oleh karena itu persamaan dalam “MS Excel” untuk menghitung jumlah maksimal material A yang bisa di-assembly adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah maksimal material A (t) yang bisa di-assembly} = \text{ROUNDDOWN} (\text{MIN} (\text{Jumlah Inventori WIP E(t), Jumlah Inventori WIP F(t)) / 3 , 0) \dots\dots\dots (5.2)$$

Persamaan tersebut kemudian menjadi batasan untuk jumlah maksimal material A yang bisa diproduksi di mesin M3 untuk seluruh periode. Tabel 5.7 menunjukkan berapa jumlah material A yang di-assembly dan batasannya. Contoh yang ditampilkan adalah 4 material A akan di-assembly di periode 1 dengan batas maksimal jumlah assembly material A adalah 6.

Tabel 5.7 Pemrosesan Material A di Mesin M3

Jenis Material	Periode																										
	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	
Material A	4																										
Jumlah Maksimal	6																										

Komponen Hasil

Komponen hasil ini nantinya akan menampilkan hasil dari komputasi PPC *game* terhadap proses optimasi dan simulasi. PPC *game* memiliki tahapan komputasi yang berurutan. Tahapan-tahapan komputasi dari PPC *game* adalah sebagai berikut:

1. Pencatatan inventori awal untuk setiap periode.

Inventori awal untuk setiap periode ditunjukkan melalui komponen *on hand inventory* seperti pada pengerjaan MRP sebelumnya. *On hand inventory* merupakan inventori awal sebelum mengalami *processing* pada setiap periodenya.

2. Proses pengurangan inventori gudang G1

Pengurangan inventori material di gudang G1 terjadi karena adanya *raw material* (bahan baku) yang diproses di mesin M1 dan M2. PPC *game* ini hanya akan memroses *raw material* ke mesin M1 dan M2 jika inventori *raw material* yang bersangkutan lebih besar atau sama dengan material yang dibutuhkan pada periode tersebut. Material yang dibutuhkan tergantung pada ukuran pemesanan pada periode itu. Apabila jumlah inventori *raw material* tidak mencukupi maka tidak ada material yang diproses di mesin M1 dan M2. Oleh karena itu diperlukan pengecekan apakah *raw material* sudah cukup tersedia di gudang G1. Proses pengecekan ini dilakukan dengan fungsi *if* pada “MS Excel. Apabila jumlah inventori awal *raw material* X pada periode t lebih besar atau sama dengan ukuran pemesanan (*lotsize*) WIP material X pada periode t maka tampilkan ukuran pemesanan, apabila tidak maka kosong.

Pengecekan bahan baku $X(t) = \text{if (on hand inventory } X(t) \geq \text{jumlah assembly WIP } X(t), \text{ jumlah assembly WIP } X(t), 0) \dots\dots\dots(5.3)$

Setelah itu maka jumlah inventori awal untuk *raw material* n pada periode t akan berkurang sebanyak *lotsize* material WIP X pada periode t. *Lotsize* ini merupakan kapasitas material pada mesin yang bersangkutan dengan utilitas minimal.

3. *Assembly* material A

Dalam penggunaan material WIP, material A memiliki prioritas pertama menurut algoritma dari PPC *game*. Material A akan lebih dulu mengurangi

komponen material WIP di gudang G2 daripada produk P1, P2, dan P3 apabila terdapat perintah atau *input* untuk meng-*assembly* material A.

4. *Assembly* produk P1

Produk P1 mempunyai prioritas kedua setelah material A dalam penggunaan material WIP. Produk P2 akan menggunakan sisa pemakaian material WIP setelah digunakan proses *assembly* material A.

5. *Assembly* produk P2

Produk P2 mempunyai prioritas ketiga dalam penggunaan material WIP.

6. *Assembly* produk P3

Produk P2 mempunyai prioritas keempat atau terakhir dalam penggunaan material WIP.

7. Penambahan inventori

Penambahan inventori mencatat semua proses yang meningkatkan inventori

Berdasarkan pada komponen hasil tersebut maka disusunlah beberapa tabel untuk menampilkan hasil optimasi. Tabel pertama adalah tabel *on hand inventory*. Tabel *on hand inventory* ditunjukkan oleh Tabel 5.8.

Tabel 5.8 *On hand inventory*

Gudang	Material	Periode																										
		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	
G3	A																											
G1	Raw B																											
	Raw C																											
	Raw D																											
	Raw E																											
	Raw F																											
G2	WIP B																											
	WIP C																											
	WIP D																											
	WIP E																											
	WIP F																											

Selanjutnya adalah tabel pengecekan, tabel ini berfungsi untuk mengecek apakah terjadi *processing* pada material bahan baku (*raw material*) dan material WIP. Material bahan baku mengalami *processing* menjadi material WIP jika jumlah inventori bahan baku mencukupi jumlah yang dibutuhkan dan bernilai sejumlah yang diproses. Jika tidak mencukupi maka tidak terjadi *processing* dan

bernilai 0. Kemudian pengecekan terhadap material WIP adalah jika material bahan baku berhasil di-assembly maka bernilai sebesar material yang di-assembly dan jika tidak maka bernilai 0. Rumusan untuk pengecekan material WIP adalah sebagai berikut:

$$\text{Pengecekan material WIP } X(t) = \text{if (Pengecekan bahan baku } X(t) > 0, \text{ Pengecekan bahan baku } X(t), 0) \dots\dots\dots (5.4)$$

Tabel untuk menampilkan hasil dari pengecekan ini ditunjukkan oleh Tabel 5.10

Tabel 5.9 Pengecekan Material

Material	Periode																											
	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		
Raw B																												
Raw C																												
Raw D																												
Raw E																												
Raw F																												
WIP B																												
WIP C																												
WIP D																												
WIP E																												
WIP F																												

Tabel selanjutnya adalah untuk menampilkan kondisi *on hand inventory* material WIP yang mengalami perubahan karena adanya pemrosesan material. Tabel ini akan berhubungan dengan tabel pengecekan *assembly* material A, produk P1, produk P2, dan produk P3. Kondisi *on hand inventory* akan mengalami perubahan berdasarkan pada tabel pengecekan *assembly* material WIP. Adapun tabel *inventory on hand* ini akan ditampilkan berdasarkan prioritas pemrosesan material. Tabel *inventory on hand* seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 5.10 ini identik dengan tabel *inventory on hand* pada pengerjaan MRP.

Tabel 5.10 *Inventory on hand* Setiap Level Prioritas

Prioritas	Proses	Material	Periode																										
			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	
1	Assembly A	WIP E'																											
		WIP F'																											
2	Assembly P1	A'																											
		WIP B'																											
		WIP C'																											
3	Assembly P2	WIP B''																											
		WIP C''																											
		WIP E''																											
		WIP F''																											
4	Assembly P3	WIP B'''																											
		WIP C'''																											
		WIP D'''																											
		WIP F'''																											

Proses selanjutnya adalah melakukan pengecekan terhadap kesuksesan *assembly* material A, produk P1, produk P2, dan produk P3. Pengecekan ini dilakukan berdasarkan pada kondisi *on hand inventory* awal dan juga pada setiap level prioritas. Tabel pengecekan ini bernilai 1 apabila sukses melakukan *assembly* dan bernilai 0 jika gagal. Tabel pengecekan *assembly* ini ditunjukkan oleh Tabel 5.11

Tabel 5.11 Pengecekan *Assembly*

Item yang di- <i>assembly</i>	Periode																										
	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	
A																											
P1																											
P2																											
P3																											

Tabel yang terakhir adalah tabel yang mencatat penalti yang didapatkan. Tabel ini akan mengambil data dari tabel pengecekan *assembly*. Apabila suatu *order* gagal dipenuhi maka tabel pengecekan *assembly* akan bernilai 1 sehingga terdapat penalti.

Verifikasi dan Validasi

Verifikasi dilakukan untuk mengetahui apakah model berjalan sesuai dengan yang diharapkan dan bebas dari *error*. Proses verifikasi dilakukan dengan menggunakan menu “Error Checking” pada “MS Excel” yang menghasilkan bahwa tidak terdapat *error* pada model.

Validasi dilakukan untuk memastikan model yang dibuat sudah merepresentasikan kondisi nyata dengan tepat. Validasi dilakukan dengan membandingkan PPC *game* dengan hasil komputasi model di “MS Excel”. Karena ini bukan model simulasi tetapi model optimasi maka hasil dari dua metode ini harus sama. Berikut ini adalah *input* dan kondisi *game* yang akan diuji.

Tabel 5.12 Inventori Awal Gudang

Gudang	Material	Jumlah Inventori
G1	Raw Material B	8
	Raw Material C	30
	Raw Material D	30
	Raw Material E	27
	Raw Material F	25
G2	WIP Material B	14
	WIP Material C	30
	WIP Material D	30
	WIP Material E	21
	WIP Material F	5

Tabel 5.13 *Input* pada PPC *Game*

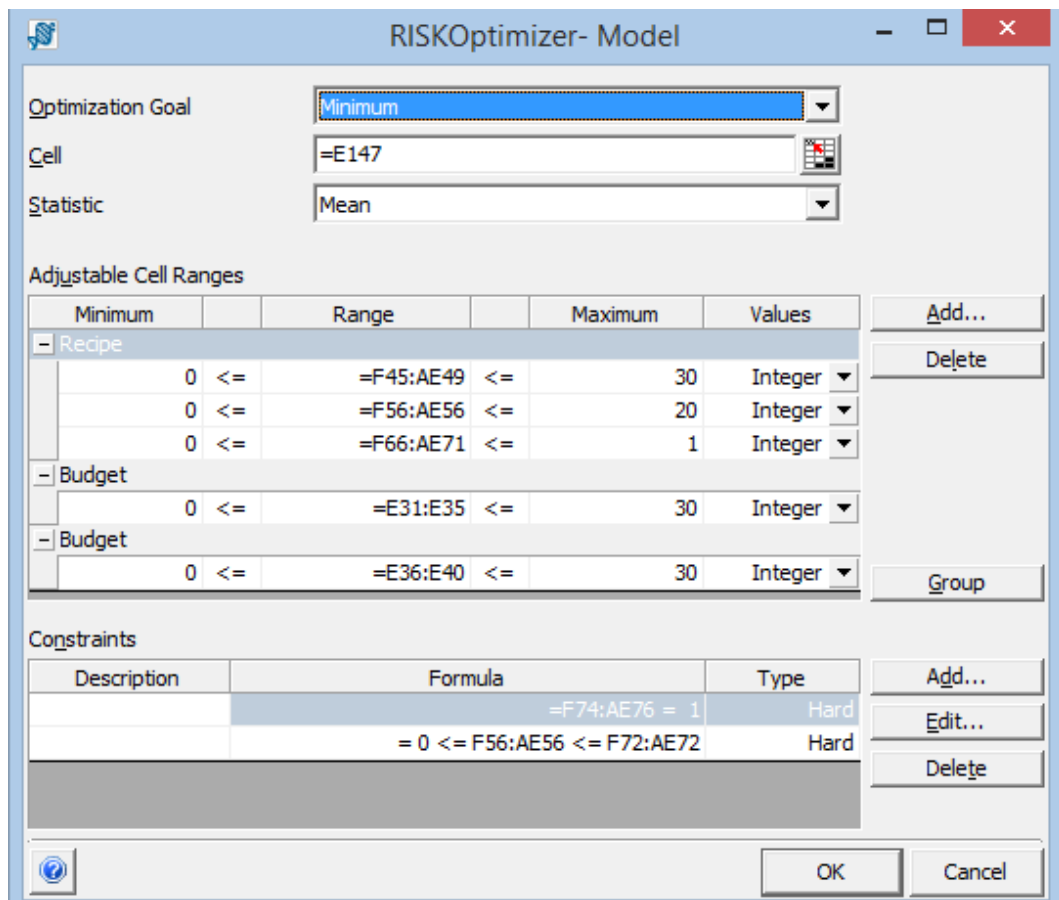
Proses	Material	Periode				
		1	2	3	4	5
Pembelian Raw material	Raw B					30
	Raw C					
	Raw D					
	Raw E		30	30		
	Raw F	30			30	
Assembly di mesin M1	WIP B					14
	WIP D	13	13			
	WIP F			14	14	
Assembly di mesin M2	WIP C	12	12			
	WIP E					13
	WIP F			12	12	
Assembly A di Mesin M3	A					

Hasil penalti dengan menggunakan “MS Excel” adalah sebesar 260. Sedangkan jika menggunakan PPC *game* juga sebesar 260. Oleh karena itu model pada “MS Excel bisa dikatakan valid.

5.2.3 Running Optimasi

Setelah model dipersiapkan, maka dilakukan *running* optimasi. Proses ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *tool* “@Risk” dengan modul “Risk Optimizer”. Model yang sudah ada dimasukkan ke dalam “Risk Optimizer” seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1. Keterangan dari Gambar 5.1 adalah sebagai berikut:

- *Optimization Goal* merupakan fungsi tujuan yaitu meminimalkan total penalti yang pada model ini ditunjukkan pada *cell* 147.
- *Adjustable Cell Range* merupakan komponen masukan yang akan dirubah nilainya. Baris pertama menunjukkan jumlah bahan baku yang dibeli. Baris kedua menunjukkan jumlah material A yang di-*assembly*. Baris ketiga adalah keputusan jenis pembelian bahan baku dan jenis material WIP yang diproses di mesin M1 dan M2. Baris keempat adalah jumlah inventori pada periode ke-0 untuk gudang G1. Baris kelima adalah jumlah inventori pada periode ke-0 untuk gudang G2.
- *Constrains* adalah batasan yang digunakan. Baris pertama menunjukkan bahwa semua material bahan baku serta material WIP yang diproses di mesin M1 dan M2 pada setiap periodenya masing-masing harus tepat satu jenis. Baris kedua adalah batasan material A yang bisa di-*assembly* sesuai dengan material WIP E dan WIP F yang tersedia.



Gambar 5.1 Optimasi “@Risk”

Metode *genetic algorithm* ini menggunakan nilai *default* dari “@Risk” dalam pengendalian solusi atau kromosom yang dihasilkan. Komponen-komponen tersebut adalah populasi sebesar 50 *entity*, *crossover rate* sebesar 50%, dan *mutation* sebesar 10%. Proses *running* ini berjalan selama 5 jam 45 menit untuk menghasilkan kondisi yang memenuhi semua batasan dengan penalti yang didapatkan sebesar 2050. Setelah itu proses *running* tetap dilanjutkan dan dalam waktu 48 jam mendapatkan hasil penalti sebesar 1320. Proses *running* setelah 48 jam ini ternyata tidak menghasilkan penalti yang lebih baik. Oleh karena itu proses *running* ini diberhentikan pada penalti sebesar 1320.

5.3 Analisa Penalti pada Metode *Genetic Algorithm*

Penalti yang didapatkan dari metode *genetic algorithm* adalah sebesar 1320. Penalti pada metode *genetic algorithm* pada awalnya diharapkan bernilai

lebih kecil dari metode MRP dan heuristik. Hal ini dikarenakan metoda *genetic algorithm* ini mengakomodasi semua elemen yang ada pada PPC *game* untuk mendapatkan penalti yang minimal. Namun ternyata penalti yang didapatkan dengan metode ini masih lebih besar dari penalti dengan metode MRP dan heuristik. Analisa pertama terhadap penalti yang lebih besar ini adalah kurangnya waktu dalam melakukan *running* optimasi. Metode *genetic algorithm* ini pada dasarnya melakukan percobaan terhadap semua kandidat yang mungkin untuk digunakan dan sepertinya waktu yang digunakan masih kurang. Analisa kedua yaitu ketika pengamatan dilakukan terhadap proses berjalannya optimasi, ternyata “@Risk” tidak mendahulukan pembatas untuk dipenuhi. Proses yang ada adalah mencoba semua kemungkinan baru dilakukan pengecekan apakah memenuhi batasa. Seharusnya agar proses yang ada berjalan secara efisien maka kemungkinan yang dicoba sudah berada dalam batasan. Hal ini menyebabkan proses optimasi yang berjalan sangat lama.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dilakukan penarikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dalam bab-bab sebelumnya. Selain itu pada bab ini juga ditampilkan saran untuk penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Penggunaan metode *genetic algorithm* dalam pemecahan masalah di PPC *game* menghasilkan penalti yang lebih besar daripada penggunaan metode heuristik. Penalti yang didapatkan melalui pengerjaan MRP dan heuristik adalah sebesar 420. Sedangkan ketika menggunakan metode *genetic algorithm* dengan *software* “@Risk” menghasilkan penalti sebesar 1320. Dalam *timeframe* yang sama, penggunaan metode heuristik cukup bisa diandalkan untuk mendapatkan solusi yang baik meskipun belum tentu optimal.

6.2 Saran

1. Dalam tugas akhir ini masih banyak digunakan asumsi. Sebaiknya penggunaan asumsi ini bisa dikurangi.
2. Masih terdapat *bug* pada PPC *game*. Perlu dilakukan perbaikan terutama pada algoritma PPC *game*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, J. R. T., Chapman, S. N. & Clive, L. M. 2008. *Introduction to Material Management*, Ohio, Pearson Prentice Hall.
- Balasubramanian, N. & Wilson, B. G. Games and simulations. Society for Information Technology and teacher Education International Conference, 2006.
- Biegel, J. E. 1999. *Pengendalian Produksi Suatu Pendekatan Kuantitatif*, Jakarta, Akademika Presindo.
- Chang, Y.-C., Chen, W.-C., Yang, Y.-N. & Chao, H.-C. 2009. A flexible web-based simulation game for production and logistics management courses. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 17, 1241-1253.
- Kusuma, H. 2009. *Manajemen Produksi*, Yogyakarta, Andi.
- Pasin, F. & Giroux, H. 2011. The impact of a simulation game on operations management education. *Computers & Education*, 57, 1240-1254.
- Perrotta, C., Featherstone, G., Aston, H. & Houghton, E. 2013. *Game-based learning: latest evidence and future directions*, NFER Slough.
- Prensky, M. 2001. *Fun, Play and Games: What Makes Games Engaging*.
- Samur, Y. 2012. *Measuring Engagement Effects of Educational Games and Virtual Manipulatives on Mathematics*. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Seng, W. Y. & Yatim, M. H. M. 2014. Computer Game as Learning and Teaching Tool for Object Oriented Programming in Higher Education Institution. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 123, 215-224.
- Simkova, M. 2014. Using of Computer Games in Supporting Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 141, 1224-1227.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Afif Burhanuddin ini dilahirkan di Malang pada tanggal 23 Desember 1990, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis yang hobi berselancar di dunia maya ini telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Chandra Kirana Probolinggo (1994-1996), SD Negeri Wonoasih 1 Probolinggo (1996-2002), SMP Negeri 5 Probolinggo (2002-2005), dan SMA Darul Ulum 2 Jombang (2005-2008). Setelah lulus SMA pada tahun 2008, penulis diterima di jurusan Teknik Industri ITS dengan beasiswa Departemen Agama, terdaftar dengan NRP 2508100705. Email penulis yang dapat dihubungi adalah hans.afif@gmail.com