



TESIS - PM 147501

***PENGEMBANGAN MODEL MULTI MACHINE-MULTI
PRODUCT EPQ UNTUK OPTIMASI JUMLAH
PRODUKSI SODIUM SILICATE PADA PERUSAHAAN
KIMIA DASAR DENGAN KETERBATASAN KAPASITAS
INVENTORY***

CHUSAIN

NRP. 9114 201 318

Dosen Pembimbing

Nurhadi Siswanto, ST MSIE, PhD

NIP 197005231996011001

PROGRAM STUDI MAGISTER MANAJEMEN TEKNOLOGI
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI
PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



MASTER THESES - PM147501

DEVELOPMENT OF MULTI MACHINE-MULTI
PRODUCT EPQ MODEL FOR OPTIMIZATION
SODIUM SILICATE PRODUCTION WITH INVENTORY
CAPACITY CONSIDERATION; BASE CHEMICAL
MANUFACTURER CASE

CHUSAIN
STUDENT IDENTITY NUMBER 9114 2013 18

SUPERVISOR
Nurhadi Siswanto, ST., MSIE., Ph.D

MAGISTER MANAGEMENT OF TECHNOLOGY
INDUSTRIAL MANAGEMENT
POSTGRADUATE PROGRAM
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

CHUSAIN
NRP. 9114201318

Tanggal Ujian : 15 Juni 2016
Periode Wisuda : September 2016

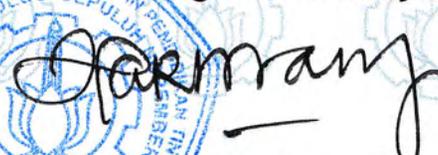
Disetujui oleh :


1. Nurhadi Siswanto, ST., MSIE., PhD. (Pembimbing)
NIP : 19700523 199601 1 001


2. Nani Kurniati, ST., MT., PhD. (Penguji)
NIP : 19750408 199802 2 001


3. Dr. M. Yusak Anshori, MM., CSEP. (Penguji)
NIDN : 0713106704

Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, MSc., Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001

TESIS – PM 147501

PENGEMBANGAN MODEL MULTI MACHINE-MULTI PRODUCT EPQ UNTUK OPTIMASI JUMLAH PRODUKSI SODIUM SILICATE PADA PERUSAHAAN KIMIA DASAR DENGAN KETERBATASAN KAPASITAS INVENTORY

Nama Mahasiswa : Chusain
NRP : 9114 2013 18
Pembimbing : Nurhadi Siswanto, ST, MSIE, PhD

ABSTRAK

Perusahaan yang menjadi obyek penelitian merupakan perusahaan yang bergerak dibidang kimia dasar yang mempunyai visi untuk menjadi perusahaan manufaktur kimia yang terdepan, yang mana dalam mencapai visinya perusahaan tersebut juga dituntut untuk memiliki sebuah *competitive advantage* dalam menghadapi persaingan global tersebut.

Perusahaan tersebut telah melakukan ekspansi pabrik untuk produk *sodium silicate solid* dan *sodium silicate liquid*. yang mulai berjalan pada tahun 2015 bulan januari, namun perusahaan memiliki *challenge* dalam manajemen produksi khususnya pada penentuan *quantity* produksi optimal. Pada saat ini perusahaan menentukan kuantitas produksi berdasarkan kapasitas produksi maksimal dengan asumsi bahwa produksi maksimal merupakan produksi yang paling efisien, disisi lain kuantitas produksi maksimal tidak diimbangi dengan kuantitas penjualan berdampak pada terjadinya penumpukan bahan jadi yang melebihi kapasitas gudang, yang mana hal tersebut berdampak pada meningkatnya biaya *inventory* perusahaan, yang berujung pada peningkatan *COGM (Cost Of Goods Manufacturing)*, yang merupakan ukuran sebuah *competitiveness* perusahaan oleh karena itu hal tersebut menjadi fokus utama dalam penelitian ini untuk memberikan rekomendasi yaitu, berapa kuantitas produksi sodium silikat yang optimal agar tercapai *COGM* yang lebih baik. Untuk mencapai tujuan tersebut, kemudian dikembangkan model *multi machine – multi product EPQ* dengan mempertimbangkan keterbatasan pada kapasitas *inventory* dengan pendekatan *derivative methode*.

Dari hasil penelitian ini dihasilkan pengembangan model *multi machine-multi product EPQ* serta perhitungan dengan model tersebut yang menghasilkan kuantitas produksi optimal tahunan untuk sodium silicate solid adalah 7.817.472 Kg. sedangkan untuk produk sodium silicate liquid untuk total semua jenis produk adalah sebesar 1.470.500 Kg/siklus produksi dengan jumlah siklus produksi optimal sebanyak 6 siklus.

Kata Kunci : *base chemical manufacturer, sodium silicate production, multi machine-multi product EPQ.*

TESIS – PM 147501

DEVELOPMENT OF MULTI MACHINE-MULTI PRODUCT EPQ MODEL FOR OPTIMIZATION SODIUM SILICATE PRODUCTION WITH INVENTORY CAPACITY CONSIDERATION; BASE CHEMICAL MANUFACTURER CASE

By : Chusain
NRP : 9114 2013 18
Supervisor : Nurhadi Siswanto, ST, MSIE, PhD

ABSTRACT

The Company that become object of research is a company engaged in basic chemical which has a vision to become the best chemical manufacturing company, which is in achieving its vision of the company also required have a competitive advantage in the face of global competition.

The company has expanded the factory to production sodium silicate solid and sodium silicate liquid. which started running in 2015 in January, but the company has a challenge in production management, especially on the determination of the optimal production quantity. At present and existing the company determine the quantity of production based on maximum production capacity with the assumption that the maximum production is the most efficient, on the other hand the quantity of maximum production which is not more than the sales volume, give impact on the accumulation of material so that exceed the capacity of the warehouse, where that condition is impact on the increase inventory cost of the manufacturing, which resulted in an increase COGM (cost of Goods Manufacturing), which is the size of a competitiveness of companies therefore it is become main focus in this study to provide a recommendation how the quantity of production of sodium silicate which is optimal in order to achieve COGM more good. To achieve these objectives, then develop models of multi machine - multi product EPQ taking into account the limitations on the capacity inventory with derivative approach method.

From the results of this study generated the development of a model multi product multi machines- EPQ and calculations with the model that produces optimal annual production quantity for sodium silicate solid is 7,817,472 kg. while for the sodium silicate liquid product for a total seumua types of products amounted to 1.4705 million Kg / production cycle with the optimal amount of the production cycle for 6 cycles.

Key Words :base chemical manufacturer, sodium silicate production, multi machine-multi product EPQ.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	vvi
AKRONIM DAN NOTASI	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	5
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	5
1.4 MANFAAT PENELITIAN.....	5
1.5 BATASAN MASALAH	6
1.6 ASUMSI PENELITIAN	6
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 COGM (COST OF GOODS MANUFACTURING).....	9
2.2 KONSEP <i>ECONOMIC PRODUCTION QUANTITY</i>	11
2.3 PENELITIAN TERDAHULU	14
2.3.1 ECONOMIC PRODUCTION QUANTITY 1 MACHINE MULTI PRODUCT.....	14
2.3.2 AN EPQ MODEL WITH IMPERFECT PRODUCTION SYSTEM WITH REWORK OF REGULAR PRODUCTION AND SALES RETUR	15
2.3.3 SIMPLIFIED APPROACH TO THE MULTI ITEM PRODUCT QUANTITY MODEL WITH SCRAP, REWORK, AND MULTI -DELIVERY	18
2.3.4 PRODUCTION LOT SIZING WITH QUALITY SCREENING AND REWORK.....	21
2.3.5 ECONOMIC PRODUCTION QUANTITY IN BATCH MANUFACTURING WITH IMPERFECT QUALITY , IMPERFECT INSPECTION,AND DESTRUCTIVE AND NON DESTRUCTIVE ACCEPTANCE SAMPLING IN A TWO – TIER MARKET	24
2.3.6 A MULTI MACHINE MULTI PRODUCT EPQ PROBLEM FOR AN IMPERFECT MANUFACTURING SYSTEM CONSIDERING UTILIZATION AND ALLOCATION DECISION.....	26
2.4 POSISI PENELITIAN	30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 KERANGKA PENELITIAN	35
3.2 STUDI PENDAHULUAN	38
3.3 IDENTIFIKASI DAN PERUMUSAN MASALAH	38
3.4 PENETAPAN TUJUAN.....	38
3.5 PENGUMPULAN DATA	38
3.6 PENGOLAHAN DATA	39
3.7 ANALISIS DAN INTREPRETASI HASIL	40
3.8 KESIMPULAN.....	40
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	41
4.1 PENGUMPULAN DATA.....	41
4.1.1 FLOWCHART PROSES PRODUKSI SODIUM SILICATE.....	41
4.1.2 KAPASITAS PRODUKSI DAN KAPASITAS <i>INVENTORY</i>	43
4.1.3 <i>DEMAND SODIUM SILICATE</i> PERIODE 2016.....	44
4.1.4 KOMPONEN DAN BESAR BIAYA TIAP KOMPONEN DALAM COGM (<i>COST OF GOODS MANUFACTURED</i>).....	44
4.2 PENGOLAHAN DATA.....	49
4.2.1 PENGEMBANGAN MODEL <i>SINGLE MACHINE –SINGLE PRODUCT</i> EPQ DENGAN PENDEKATAN <i>DERIVATIVE METHOD</i>	50
4.2.2 PENGEMBANGAN MODEL <i>MULTI MACHINE –MULTI PRODUCT</i> EPQ DENGAN PENDEKATAN <i>DERIVATIVE METHOD</i>	52
4.2.3 UJI KONVEKSITAS MODEL.....	53
4.2.4 PENENTUAN JUMLAH PRODUKSI SODIUM SILICATE OPTIMAL.....	54
4.3 PERBANDINGAN KUANTITAS PRODUKSI OPTIMAL DENGAN KONDISI PRODUKSI <i>EXISTING</i>	64
BAB V ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL.....	69
5.1 ANALISIS DAN INTERPRETASI SOLUSI OPTIMAL.....	69
BAB VI PENUTUP.....	77
6.1 KESIMPULAN.....	77
6.2 SARAN.....	81
DAFTAR PUSTAKA.....	83

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel posisi penelitian.....	30
Tabel 4.1 Tabel <i>demand</i> sodium silicate 2016.....	44
Tabel 4.2 Tabel hasil perhitungan jumlah produksi optimal untuk sodium silicate solid (culllet) beserta nilai COGM untuk kuantitas produksi optimal.....	55
Tabel 4.3 Tabel hasil perhitungan jumlah produksi optimal untuk sodium silicate liquid beserta nilai COGM untuk kuantitas produksi optimal.....	60
Tabel 4.4 Tabel produksi optimal dan level persediaan tiap periode.....	60
Tabel 4.5 Tabel perbandingan kuantitas produksi optimal dan kuantitas produksi existing produk sodium silicate solid.....	67
Tabel 4.6 Tabel perbandingan kuantitas produksi optimal dan kuantitas produksi existing produk sodium silicate liquid.....	67
Tabel 5.1 Tabel hasil perhitungan COGM dan stock sodium silicate solid untuk kapasitas maksimal dengan siklus produksi optimal untuk sodium silicate solid.....	70
Tabel 5.2 Tabel nilai COGM dan stock sodium silicate solid untuk kapasitas produksi yang sama dengan jumlah <i>demand</i> sodium silicate solid.....	71
Tabel 5.3 Tabel hubungan antara kuantitas produksi 1 tahun dan nilai average COGM serta average stock.....	72
Tabel 5.4 Tabel <i>numerical analysis</i>	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Gambar <i>trend</i> COGM produk sodium silicate periode 2015.....	2
Gambar 2.1 Gambar fluktuasi tingkat persediaan.....	12
Gambar 2.2 Gambar fluktuasi model persediaan EPQ dengan adanya <i>Scrap imperfect quality dan Rework</i>	17
Gambar 2.3 Gambar model persediaan multi item dengan kondisi <i>Perfect Quality</i>	19
Gambar 2.4 Gambar model persediaan multi item dengan kondisi <i>Imperfect Quality (Scrap dan rework)</i> serta <i>multidelivery</i>	20
Gambar 2.5 Gambar model persediaan multi item dengan kondisi <i>rework</i> pada <i>defective items</i>	22
Gambar 2.6 Gambar aliran proses bisnis dari produksi sampai dengan penjualan.....	25
Gambar 2.7 Gambar model persediaan pada <i>multi machine-multi item</i> EPQ Model.....	27
Gambar 2.8 Gambar diagram hubungan antar penelitian.....	33
Gambar 3.1 Gambar <i>Flowchart</i> kerangka penelitian.....	35
Gambar 4.1 Gambar <i>Flowchart</i> proses produksi <i>sodium silicate</i>	41
Gambar 4.2 Gambar struktur dan komponen COGM untuk produk sodium silicate solid.....	45
Gambar 4.3 Gambar struktur dan komponen COGM untuk produk sodium silicate liquid.....	46
Gambar 4.4 Gambar pola persediaan untuk hasil optimal jumlah produksi sodium silicate solid.....	58
Gambar 4.5 Gambar pola persediaan untuk hasil optimal jumlah produksi sodium silicate liquid.....	64
Gambar 4.6 Gambar grafik perbandingan persediaan akhir periode pada kondisi optimal dan kondisi existing.....	65
Gambar 4.7 Gambar grafik perbandingan COGM pada kondisi optimal dan COGM existing.....	66
Gambar 4.8 Gambar grafik perbandingan COGM pada kondisi optimal dan COGM existing produk sodium silicate liquid.....	68
Gambar 5.1 Gambar grafik nilai rata-rata COGM terhadap kuantitas produksi sodium Silicate tahunan.....	73

Gambar 5.2 Gambar grafik nilai rata-rata COGM terhadap siklus produksi sodium silicate liquid.....	75
Gambar 5.3 Gambar grafik nilai rata-rata level persediaan terhadap siklus produksi sodium silicate liquid.....	76

AKRONIM DAN NOTASI

$COGM$: <i>Cost of Goods Manufacturing</i> (Rp)
Q	:Kuantitas produksi ekonomis (unit)
tp	:Tingkat produksi (unit/tahun)
t	:Lead time (hari)
IH	: <i>Inventory level</i> (Kg atau unit)
D	:Laju permintaan (Kg/hari atau Kg/Tahun atau unit/hari atau unit/tahun)
P	:Laju Produksi (Kg/hari atau Kg/Tahun atau unit/hari atau unit/tahun)
TC	:Total Cost (USD)
t_0	:lama <i>waktu</i> siklus (hari)
D_n	:Tingkat konsumsi produk/komponen n (unit/tahun)
Ch_n	:Biaya penyimpanan produk/komponen n (USD/unit/tahun)
C_{S_n}	:Biaya <i>set-up</i> produk/komponen n (USD/Tahun)
C_n	:Biaya produksi produk/komponen (USD/unit)
θ	:Proporsi <i>scrap</i> (%)
x	:Proporsi cacat dari produksi regular (%)
y	:Proporsi cacat dari <i>reject customer</i> (%)
T	:Waktu siklus produksi yang optimal
Kl_i	:Biaya pengiriman tetap per <i>shipment</i> untuk produk i
EO_i	:Biaya ekspektasi untuk item <i>rework</i>
Q_j	:Lot size produksi pada item j pada setiap siklus (unit)
D_j	:Tingkat permintaan pada item j (unit/tahun)
T_j	:Lama siklus dari mesin untuk pengerjaan item j (tahun)
θ_{ij}	:Proporsi dari produk <i>scrap</i> untuk item j pada mesin I (%)
T_i	:Lama siklus dari mesin i (hari)
Tp_{ij}	:Uptime dari item j yang dikerjakan di mesin i (hari)
Td_{ij}	:Downtime dari item j yang dikerjakan di mesin i (hari)

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bagian ini dijelaskan mengenai latar belakang yang menunjukkan pentingnya dilakukan penelitian serta perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian.

1.1 Latar Belakang

Dewasa kini persaingan bisnis yang semakin ketat serta kondisi perekonomian global yang tidak menentu, menjadikan keharusan bagi sebuah industri untuk memiliki *competitive advantage*, agar industri tersebut mampu *survive* dalam persaingan tersebut.

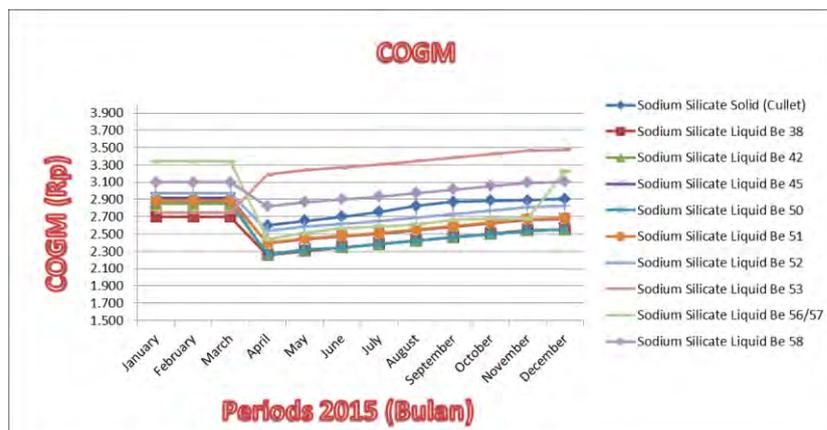
Perusahaan yang menjadi obyek pada penelitian ini merupakan perusahaan yang bergerak dibidang manufaktur kimia dan mempunyai visi untuk menjadi perusahaan manufaktur kimia yang terdepan, yang mana dalam mencapai visinya perusahaan tersebut juga dituntut untuk memiliki sebuah *competitive advantage* dalam menghadapi persaingan global tersebut.

Manajemen produksi merupakan salah satu aspek terpenting dalam perusahaan manufaktur, yang mana dengan manajemen produksi yang baik , perusahaan akan mampu meminimalkan 7 waste (*transportation ,inventory, motion,waiting,over production, over proccesing* dalam proses produksi dan hal tersebut akan berimplikasi pada *COGM (Cost Of Goods Manufactured)* perusahaan, yang mana *COGM* merupakan representasi dari total biaya dalam membuat per satu satuan produk . Adapun komponen *COGM* dari perusahaan kimia dasar yang menjadi obyek penelitian ini adalah biaya produksi (*fixed cost* dan *variable cost*), biaya *inventory*, serta biaya overhead (*repair and maintenance*, dan depresiasi). Oleh karena itu dengan *COGM* yang efisien tersebut akan menjadikan perusahaan memiliki keunggulan bersaing melalui strategi *low cost/ cost leadership*.

Sebagai industri kimia dasar yang memproduksi produk utama asam sulfat dan aluminium sulfat, perusahaan tersebut telah melakukan ekspansi pabrik untuk produk *sodium silicate solid* dan *sodium silicate liquid*. Pabrik untuk memproduksi produk tersebut mulai berjalan pada tahun 2015 bulan januari, dalam berjalannya pabrik tersebut, perusahaan memiliki *challenge* dalam manajemen produksi khususnya pada penentuan *quantity* produksi yang optimal , yang mana pada saat ini perusahaan menentukan *quantity* produksi berdasarkan kapasitas produksi maksimal dengan asumsi bahwa produksi maksimal merupakan produksi yang paling efisien , namun disisi lain kuantitas produksi maksimal tersebut yang tidak berimbang dengan kuantitas penjualan. Membawa dampak pada terjadinya penumpukan bahan jadi yang melebihi kapasitas gudang. Dampak negatif lain dari hal tersebut adalah kinerja dari *inventory* menjadi tidak efisien (nilai *Inventory turn over rate* relatif kecil). artinya perusahaan harus mengeluarkan modal yang lebih besar lagi untuk keperluan *inventory* , selain itu potensi terjadi barang rusak (packaging rusak) semakin besar akibat penempatan barang di area yang tidak semestinya (di tepi-tepi jalan area plant).

Dari kasus tersebut diatas berujung pada dampak yang besar pada *COGM* (*Cost Of Goods Manufactured*) , dan hal tersebut menjadi *concern* utama dalam penelitian ini untuk memberikan rekomendasi berupa saran jumlah produksi sodium silikat yang optimal agar tercapai *COGM* yang lebih baik.

Berikut merupakan grafik dari *trend COGM* untuk produk *sodium silicate* dalam periode Januari 2015:



Gambar 1.1 Grafik *trend COGM* produk *sodium silicate* periode 2015

Dalam penyelesaian kasus diatas, telah dilakukan peninjauan terhadap beberapa literatur dan penelitian terdahulu sebagai pendekatan, yakni penelitian oleh tersine (1982), mengenai penentuan kuantitas produksi yang ekonomis untuk kasus *single machine – multi product*, namun pendekatan ini asumsi yang digunakan adalah mengabaikan keterbatasan *inventory* dan *self life expiry date* serta fungsi tujuan yang dicapai berbeda dengan fungsi tujuan kasus diatas, yang mana pada penelitian tersine (1982) fungsi tujuan diformulasikan sebagai total cost dari biaya simpan dan biaya set-up, sedangkan total cost dari kasus diatas merupakan representasi dari *COGM*, dan kondisi yang ada pada obyek penelitian adalah menggunakan *multi machine* .

Dari penelitian lain yang coba digunakan sebagai pendekatan adalah penelitian oleh C Khrisnamoorti dan S Panayappan (2012), mengenai penentuan kuantitas produksi yang ekonomis untuk kasus *single machine-single product*, namun pendekatan ini asumsi yang digunakan adalah mengabaikan keterbatasan *inventory* dan *self life expiry date* serta fungsi tujuan yang dicapai berbeda dengan fungsi tujuan kasus diatas, yang mana pada penelitian C Khrisnamoorti dan S Panayappan (2012) fungsi tujuan yang diformulasikan merupakan total cost dari biaya simpan, biaya set-up, biaya *scrap*, dan *rework* , sedangkan total cost dari kasus diatas merupakan representasi dari *COGM*, dan kondisi yang ada pada obyek penelitian adalah *multi machine-multi product* .

Dari penelitian lain yang coba digunakan sebagai pendekatan adalah penelitian oleh Chiu (2014), mengenai penentuan lama waktu siklus untuk kasus *single machine-multi product*, namun pendekatan ini asumsi yang digunakan adalah mengabaikan keterbatasan *inventory* dan *self life expiry date* serta fungsi tujuan yang dicapai berbeda dengan fungsi tujuan kasus diatas, yang mana pada penelitian Chiu (2014) fungsi tujuan yang diformulasikan merupakan total cost dari biaya simpan, biaya set-up, biaya *scrap*, dan *rework* serta biaya untuk melakukan *multi delivery* produk, sedangkan total cost dari kasus diatas merupakan representasi dari *COGM*, dan kondisi yang ada pada obyek penelitian adalah *multi machine-multi product* .

Dari penelitian lain yang coba digunakan sebagai pendekatan adalah penelitian oleh Lama Mussawi Haidar (2015), mengenai penentuan kuantitas

produksi ekonomis untuk kasus *single machine-single product*, namun pendekatan ini asumsi yang digunakan adalah mengabaikan keterbatasan *inventory* dan *self life expiry date* serta fungsi tujuan yang dicapai berbeda dengan fungsi tujuan kasus diatas, yang mana pada penelitian Lama Mussawi Haidar (2015) fungsi tujuan yang diformulasikan merupakan total cost dari biaya simpan, biaya set-up, biaya *rework* dan *screening*, sedangkan total cost dari kasus diatas merupakan representasi dari *COGM*, dan kondisi yang ada pada obyek penelitian adalah *multi machine-multi product*.

Dari penelitian lain yang coba digunakan sebagai pendekatan adalah penelitian oleh Muhammad al salamah (2015), mengenai penentuan kuantitas produksi ekonomis untuk kasus *single machine-single product*, namun pendekatan ini asumsi yang digunakan adalah mengabaikan keterbatasan *inventory* dan *self life expiry date* serta fungsi tujuan yang dicapai berbeda dengan fungsi tujuan kasus diatas, yang mana pada penelitian Muhammad al salamah (2015) fungsi tujuan yang diformulasikan merupakan total cost dari biaya simpan, biaya set-up, biaya *scrap* serta biaya dari adanya *imperfect inspection*, sedangkan total cost dari kasus diatas merupakan representasi dari *COGM*, dan kondisi yang ada pada obyek penelitian adalah *multi machine-multi product*.

Dari penelitian lain yang coba digunakan sebagai pendekatan adalah penelitian oleh Amir hossein nobil (2016), mengenai penentuan kuantitas produksi ekonomis untuk kasus *multi machine-multi product*, namun pendekatan ini asumsi yang digunakan adalah mengabaikan keterbatasan *inventory* barang jadi, *inventory* yang diasumsikan ialah *floor space* dan asumsi yang ada mengabaikan *Self life expiry date* dari fungsi tujuan yang dicapai terdapat perbedaan dengan fungsi tujuan kasus diatas, yang mana pada penelitian Amir hossein nobil (2016) fungsi tujuan yang diformulasikan merupakan total cost dari biaya simpan, biaya set-up, sedangkan total cost dari kasus diatas merupakan representasi dari *COGM*.

Dari beberapa penelitian yang dikaji diatas secara umum belum terdapat pendekatan model yang cocok dengan kasus yang menjadi obyek penelitian, sehingga diperlukan adanya sebuah pengembangan model untuk menyelesaikan permasalahan optimasi diatas.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang masalah diatas maka rumusan masalah yang akan dikaji adalah sebagai berikut:

1. Apa saja komponen *COGM* dan bagaimana formulasi dari penentuan nilai *COGM*?
2. Bagaimana membuat model untuk menentukan jumlah produksi optimal berdasarkan fungsi tujuan berupa biaya serta kondisi dan *constrain* dari obyek penelitian?
3. Bagaimana menentukan jumlah produksi *sodium silicate* yang optimal?
4. Apa saja evaluasi dan analisis dari perbedaan *COGM* antara kondisi optimal dengan kondisi *existing*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi komponen *COGM* beserta formulasinya
2. Membuat model perhitungan terkait dengan penentuan *economic production quantity* berdasarkan fungsi tujuan berupa biaya serta kondisi dan *constrain* dari obyek penelitian.
3. Menentukan jumlah produksi *sodium silicate* yang optimal.
4. Mengevaluasi serta menganalisis *COGM* untuk jumlah produksi *sodium silicate* yang optimal (kondisi optimal) dengan *COGM* untuk jumlah produksi *sodium silicate* yang sedang berjalan diperusahaan (kondisi *existing*).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan rekomendasi kepada perusahaan dalam melakukan pendekatan manajemen produksi terkait dengan penentuan jumlah produksi *sodium silicate* yang optimal.
2. Menurunkan *COGM* produk *sodium silicate* melalui penentuan jumlah produksi *sodium silicate* yang optimal dengan adanya keterbatasan *inventory*.

3. Meningkatkan daya saing perusahaan di pasar global melalui penurunan *COGM* produk *sodium silicate* sehingga perusahaan *survive* dan *sustainable* dalam persaingan global.
4. Memberikan kontribusi dalam dunia akademis berupa pengembangan keilmuan dalam bidang optimasi penentuan kuantitas produksi ekonomis.

1.5 Batasan Masalah

Adapun hal –hal yang menjadi batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Obyek penelitian dilakukan pada departemen produksi *sodium silicate* di perusahaan kimia dasar .
2. Perhitungan jumlah produksi *sodium silicate* yang optimal hanya untuk periode *demand forecasting* 2016.

1.6 Asumsi Penelitian

Adapun asumsi dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Akurasi *demand forecasting* 2016 memiliki akurasi yang cukup tinggi dan terjaga sebagaimana *demand forecsting tahun* 2015.
2. Jumlah kapasitas produksi tidak mengalami perubahan.
3. Komponen dan besaran biaya produksi tidak mengalami perubahan

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini ditulis berdasarkan kaidah penulisan ilmiah dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Pada bab ini berisikan tentang deskripsi pendahuluan kegiatan penelitian, mengenai hal-hal yang melatar belakangi permasalahan, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian, ruang lingkup dan asumsi-asumsi yang digunakan serta sistematika penulisan.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Pada bab ini diuraikan tentang teori-teori pendukung yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan. Teori tersebut didapat dari referensi beberapa buku teks, jurnal atau artikel ilmiah serta hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan masalah penelitian. Pada bab ini juga menyampaikan penelitian terdahulu yang menjadi acuan dan penunjang dalam menyelesaikan masalah.

BAB 3 Metodologi Penelitian

Pada bagian ini menjelaskan mengenai langkah-langkah dalam melakukan penelitian, mulai dari perumusan masalah, studi pustaka dan lapangan, hingga analisis dan interpretasi hasil penelitian. Pada bab ini juga dijelaskan langkah-langkah dalam melakukan pengumpulan data.

BAB 4 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada bagian ini dijelaskan langkah-langkah pengumpulan data dan pengolahannya.

BAB 5 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan dilakukan terhadap hasil pengolahan data. Hasil pengolahan data ini akan dianalisis dan dibahas berkaitan dengan kesesuaiannya terhadap kerangka teoritis penelitian.

BAB 6 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan hasil penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian. Sedangkan saran diberikan kepada pihak-pihak yang terkait dengan obyek penelitian dan bagi peneliti berikutnya yang mengangkat topik serupa.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan dasar-dasar teori yang akan digunakan dalam memecahkan masalah. Dasar teori yang relevan dan literatur pendukung yang sesuai dengan permasalahan yang ada dapat menjabarkan permasalahan tersebut dengan jelas serta mendapatkan hasil analisis yang akurat

2.1 *COGM (Cost Of Goods Manufactured)*

COGM (Cost of Goods Manufactured) atau yang kemudian disebut sebagai harga pokok produksi adalah jumlah biaya produksi yang melekat pada persediaan barang jadi sebelum barang tersebut laku dijual. Sedangkan menurut Hadibroto (1990) Pengertian harga pokok produksi ini adalah Biaya-biaya yang dikorbankan untuk memproses bahan-bahan (termasuk bahan bakunya) atau barang setengah jadi, sampai menjadi akhir untuk siap dijual.

Sedangkan definisi lain menurut Winardi (1990) menjelaskan bahwa Harga pokok adalah suatu produksi jumlah pengorbanan-pengorbanan, dapat diduga, dan kuantitatif dapat diukur berhubungan dengan proses produksi, yang dilakukan pada saat pertukaran dan dalam kebanyakan hal harus didasarkan atas nilai pengganti kesatuan-kesatuan nilai yang telah dikorbankan.

Menurut Hansen dan Mowen (2009), harga pokok produksi mewakili jumlah biaya barang yang diselesaikan pada periode tertentu. Menurut Bustami dan Nurlela (2006), harga pokok produksi adalah kumpulan biaya yang terdiri dari bahan baku langsung, tenaga kerja langsung dan biaya overhead pabrik ditambah persediaan produk dalam proses awal dan dikurangi persediaan produk dalam proses akhir.

Dari pengertian tersebut di atas dapat diketahui bahwa didalam harga pokok produksi adalah jumlah dari pada produksi yang melekat pada produksi yang dihasilkan yaitu meliputi biaya-biaya yang dikeluarkan mulai pada saat pengadaan bahan baku tersebut sampai dengan proses akhir produk, yang siap untuk digunakan atau dijual. Biaya-biaya yang dimaksud ini, biaya bahan baku langsung, biaya tenaga kerja langsung dan biaya overhead. Selain itu dari definisi

tersebut adalah dapat diketahui bahwa harga pokok produksi adalah nilai dari pengorbanan yang dilakukan dalam hubungannya dengan proses produksi berdasarkan nilai ganti pada saat pertukaran.

Adapun komponen dari *COGM* adalah diantaranya Biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung dan biaya overhead pabrik. Dari penjelasan tersebut biaya bahan baku disebut juga biaya utama sedangkan biaya tenaga kerja dan biaya overhead pabrik disebut juga biaya konversi.

Detail dari pada keterangan komponen biaya-biaya tersebut adalah sebagai berikut:

a. Biaya bahan baku

Terjadi karena adanya pemakaian bahan baku. Biaya bahan baku merupakan harga pokok bahan baku yang dipakai dalam produksi untuk membuat barang atau produk, biasanya 100% bahan baku merupakan masuk dalam produk yang telah jadi.

b. Biaya tenaga kerja langsung

Biaya ini timbul ketika pemakaian biaya berupa tenaga kerja yang dilakukan untuk mengolah bahan menjadi barang jadi, biaya tenaga kerja langsung merupakan gaji dan upah yang diberikan kepada tenaga kerja yang langsung terlibat dalam pengolahan bahan menjadi produk.

c. Biaya overhead pabrik

Dan biaya overhead pabrik timbul akibat pemakaian fasilitas-fasilitas yang digunakan untuk mengolah bahan seperti mesin, alat-alat, tempat kerja dan sebagainya. Dan yang lebih jelas lagi adalah biaya overhead pabrik terdiri dari biaya diluar dari biaya bahan baku.

Sehingga formulasi dari *COGM* dan *COGM* perunit secara umum dapat diformulasikan sebagai berikut:

Cost of Goods Manufactured (*COGM*) = Total Factory Cost + Opening Work in Process Inventory – Ending Work in Process Inventory

Per unit cost of goods manufactured = Cost of goods manufactured / Units manufactured.

2.2 Konsep *Economic Production Quantity*

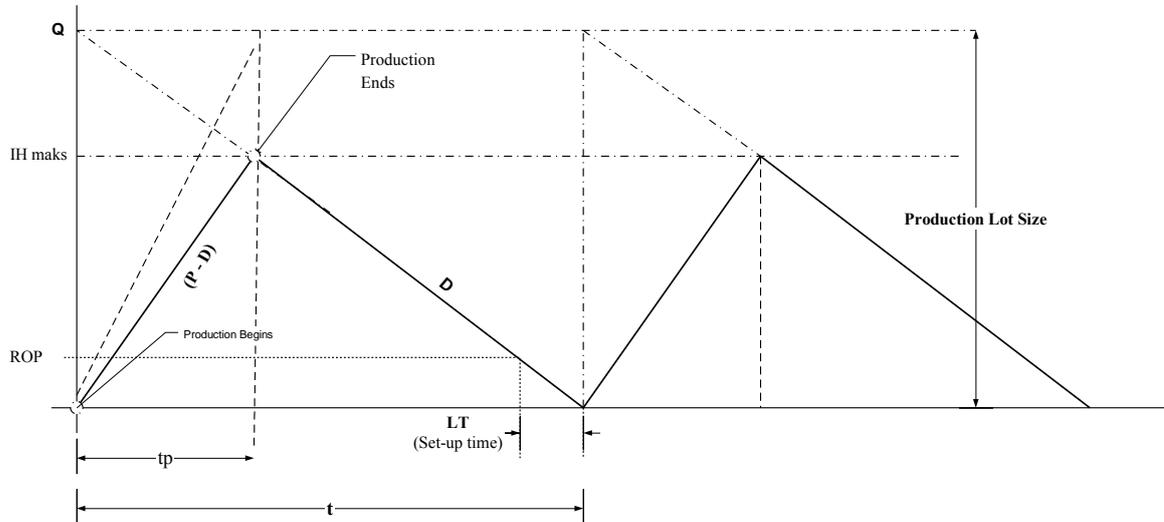
Economic production quantity merupakan sebuah konsep pengembangan model persediaan dari EOQ yang pertama kali dikenalkan oleh Ford Whitman Harris (1913), EPQ merupakan sebuah model persediaan yang mana bahan baku atau komponennya dibuat sendiri oleh perusahaan, karena dibuat sendiri maka *instantaneously* sebagaimana pada model EOQ sebelumnya tidak berlaku.

Dalam hal ini, tingkat produksi (*production rate*) perusahaan untuk membuat komponen memiliki asumsi lebih besar daripada pemakaian atau penjualannya (*demand*) atau dituliskan sebagai $P > D$. Karena tingkat produksi (P) bersifat tetap dan konstan, maka model EPQ juga disebut model dengan jumlah produksi tetap (*Fixed production quantity/ FPQ*). Tujuan dari model EPQ tersebut adalah menentukan berapa jumlah komponen yang harus diproduksi, sehingga meminimasi total biaya yang terdiri atas biaya *set-up* produksi dan juga biaya penyimpanan.

Semua asumsi tentang model EOQ, berlaku juga pada model ini kecuali asumsi *non instantaneous* dalam pengadaannya, adapun berikut asumsi-asumsi pada model EPQ:

- Tingkat permintaan diketahui konstan dan kontinyu
- Lead Time diketahui dan konstan
- Tingkat produksi diketahui, dan konstan
- Biaya Produksi per-unit konstan
- Biaya penyimpanan dan biaya set-up diketahui dan konstan
- Tidak boleh terjadi kekurangan
- Item yang akan dianalisa adalah *single product*
- Tidak terdapat batasan pada luas tempat persediaan, kapasitas, finansial.
- Tingkat Produksi lebih besar dari tingkat permintaan

Berikut gambar fluktuasi tingkat persediaan model EPQ.



Gambar 2.1 Gambar fluktuasi tingkat persediaan

Dalam model tersebut, jumlah produksi setiap subsiklus harus dapat memenuhi kebutuhan selama t , atau dapat dinotasikan:

$$Q = D \cdot t$$

Jika diasumsikan bahwa waktu yang diperlukan untuk memproduksi sejumlah Q unit pada tingkat produksi P adalah t_p , bisa didapatkan persamaan:

$$Q = P \cdot t_p$$

Terlihat bahwa setiap siklus persediaan terdiri atas dua tahap:

1. Tahap produksi : Pada tahap ini perusahaan memproduksi komponen dengan tingkat produksi P dan sekaligus menggunakan secara langsung untuk membuat produk jadi selama subsiklus produksi (t_p). Tahap produksi tersebut berhenti pada tingkat persediaan mencapai IH_{maks} , dimana: $IH_{maks} = (P - D) \cdot t_p$
2. Tahap persediaan : Pada tahap ini perusahaan akan melaksanakan proses produksi dengan menggunakan persediaan komponen produksi (IH_{maks}) yang telah diproduksi pada tahap produksi selama selang waktu $t - t_p$, sedangkan untuk proses produksi untuk komponen tersebut juga akan berhenti pada selang waktu yang sama, adapun jika persediaan telah mencapai titik ROP , maka harus dilakukan *set-up* produksi yang lamanya bergantung kepada *lead time* (LT). sehingga

LT dalam model tersebut menyatakan waktu yang diperlukan untuk *set-up* produksi.

Oleh karena itu tujuan dari model tersebut adalah meminimasi *total cost* (TC) yang terdiri atas *set-up cost* dan biaya simpan, atau:

$$TC = \text{set-up cost} + \text{biaya simpan}$$

Untuk meminimasi TC tersebut, komponen-komponen biaya tersebut harus dinyatakan dalam variable keputusan Q. Komponen –komponen biaya pada persamaan diatas diperoleh dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\text{Biaya Set up per periode} = C_s \cdot D/Q$$

Untuk mencari *holding cost*, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

Persediaan rata-rata (*IH*) = (IH Maks + IH Min) /2, dimana IH min =0

Karena IH maks = (P-D) tp dan Q = P.tp, maka diperoleh:

IH Maks = (P-D) Q/P = (1-D/P)Q, maka holding cost per periode adalah : Ch (1-D/P) Q/2.

Dari keterangan diatas, didapatkan persamaan:

$$TC = C_s \cdot D/Q + C_h (1-D/P) Q/2$$

Dengan mendiferensialkan persamaan diatas terhadap Q, maka diperoleh jumlah produksi yang meminimasi *set-up cost* dan holding cost. Jumlah produksi ekonomis tersebut biasa disebut sebagai EPQ yang akan dinotasikan sebagai Q.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_s \cdot D}{C_h \cdot (1-D/P)}}$$

Dimana waktu antara *set-up* ke *set-up* berikutnya dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$t_0 = Q^*/D.$$

Model ini akan dijadikan sebagai dasar dalam pengembangan model *single machine- single product* untuk produk *sodium silicate solid* hal ini dikarenakan dalam beberapa asumsi pada model tersebut berlaku pada sistem model produksi dan *inventory* untuk produk *sodium silicate solid* tersebut.

2.3 Penelitian Terdahulu

Adapun beberapa penelitian terdahulu terkait dengan *economic production quantity* yang dijadikan sebagai rujukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.3.1 *Economic Production Quantity Single Machine-Muti Product*

Sistem produksi yang intermittent (*Batch production*) pada umumnya memproduksi sejumlah produk yang diproduksi oleh mesin yang sama atau lintasan produksi yang sama. Produk-produk tersebut seringkali dibuat dalam siklus produksi yang teratur (konstan) dengan ukuran produksi (*batch*) yang telah ditentukan sebelumnya. Waktu keseluruhan siklus produksi tersebut merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi satu urutan lengkap produk-produk tersebut.

Waktu siklus produksi yang optimal pada *case* yang umum harus dihitung secara kelompok produk, dan bukan berdasarkan penentuan untuk masing-masing produk.

Dengan demikian perlu terdapat model perhitungan untuk menghitung terlebih dahulu berapa frekuensi optimal selama periode produksi untuk keseluruhan kelompok produk yang dihasilkan.

Dalam literature buku yang berjudul *principles of inventory and materials management* yang ditulis oleh Richard J Tersine (1982) menjelaskan langkah-langkah untuk menyelesaikan EPQ multi item sebagaimana *case* yang telah dijelaskan diatas. Adapun berikut langkah-langkah untuk penyelesaian *case* EPQ multi item, sebagaimana disunting dari bukut tersebut:

1. Hitung apakah waktu penyelesaian dari semua permintaan tahunan tidak melebihi waktu yang tersedia, misalkan N adalah jumlah hari kerja 1 tahun (misal $N = 250$) maka $\sum D_n/P_n \leq 250$, hal tersebut berarti jika $N \leq \sum D_n/P_n$, berarti kapasitas produksi tidak dapat memenuhi seluruh permintaan, sehingga perlu dilakukan *overtime*, ekspansi kapasitas mesin atau subkontrak. Bila sayarat tersebut terpenuhi, lanjut ke langkah 2.
2. Hitung frekuensi optimal terpadu dengan formulasi sebagai beirkut:

$$f = \sqrt{[(\sum D_n C_{h_n}) (1-D_n/P_n)] / (2 \sum C_{s_n})}$$

Dimana :

D_n = tingkat konsumsi produk/komponen n(unit/tahun)

Ch_n =Biaya penyimpanan produk/komponen n(USD/unit/tahun)

Cs_n = Biaya *set-up* produk/komponen n (USD/*set-up*)

P_n =tingkat produksi produk/ komponen n (unit/tahun)

C_n =Biaya produksi produk/komponen (USD/unit)

Asumsi lain pada model tersebut adalah bahwa waktu *set-up* diabaikan sehingga terdapat cukup waktu longgar untuk setiap siklus produksi yang baru. Secara matematis asumsi tersebut dinyatakan sebagai:

$$N/f \geq \sum Q_n/P_n$$

3. Hitung Q_n^* (ukuran produksi optimal untuk produk/komponen ke i), dimana :

$$Q_n^* = D_n/f$$

4. Hitung TC, dimana:

$$TC = \sum D_n C_n + 2f \sum Cs_n$$

Pada model diatas relevansi terkait dengan pengembangan model pada obyek penelitian adalah pada aspek *multi product* yang mana pada obyek penelitian untuk produk *sodium silicate liquid* juga merupakan produk dengan variasi produk lebih dari satu (Sembilan varian produk) sehingga model diatas menjadikan suatu gambaran serta referensi dalam rangka pengembangan model penentuan kuantitas produksi ekonomis dengan obyek penelitian untuk permasalahan *multi product*, namun peninjauan terhadap referensi lain masih diperlukan dikarenakan pada obyek penelitian permasalahan yang ada merupakan permasalahan *multi machine*, sedangkan model diatas adalah model untuk *single machine*.

2.3.2 An EPQ Model With Imperfect Production System With Rework of Regular Production and Sales Return

Dalam perkembangannya penelitian terkait model EPQ telah dikembangkan dalam bentuk model yang lebih merepresentasikan kondisi real praktik di manufaktur/ bisnis.

Adapun perkembangan penelitian terkait EPQ model dalam tinjauan pustaka untuk penelitian ini diambil dari referensi jurnal *American Journal of*

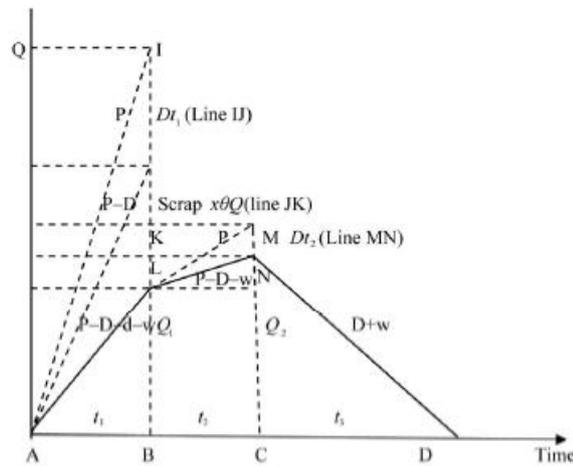
Operation Research, dalam penelitian yang dibuat oleh C Khrisnamoorthi dan S. Panayappan (2012) ini, melakukan *review* terhadap model EPQ klasik yang menggunakan asumsi pada model perhitungan bahwa produk selalu mempunyai kualitas yang baik/sempurna, artinya tidak terdapat *scrap/defective/non conforming* serta asumsi lain dari model EPQ klasik. Yang menjadi *concern* dari *review* pada penelitian ini ialah model mengasumsikan tidak terjadi kekurangan barang/ kejadian kekurangan barang (*Shortage*) diabaikan, padahal dalam kondisi nyata, sangat dimungkinkan dalam aktivitas produksi ditemukan *scrap/defective*, serta terjadi *shortage*, sehingga dengan adanya *scrap/defective* tersebut akan terjadi *rework process* agar barang *scrap/defective* tersebut menjadi *finished goods* sesuai dengan *requirement* dari *customer* namun dari aktifitas *rework* tersebut terdapat biaya yang harus dikeluarkan yang merupakan bagian dari *cost of quality*. Oleh karena hal tersebut dari penelitian ini memiliki tujuan untuk mengembangkan model EPQ yang mempertimbangkan ketidaksesuaian kualitas dan proporsi *defect* untuk mendapatkan nilai produksi optimal, dengan demikian untuk mencapai tujuan tersebut maka model matematis akan dikembangkan melalui differensial dari total cost untuk meminimalkan total cost. Untuk mengilustrasikan aplikasi dari pemodelan matematis dalam penelitian ini akan dilakukan verifikasi numerik, sedangkan validasi dari model yang dihasilkan dilakukan dengan menggunakan *coding* di microsoft visual basic 6.0

Berikut asumsi dalam penelitian ini:

1. Model berlaku untuk 1 jenis produk yang dikerjakan dalam 1 stage sistem produksi.
2. Tingkat produksi konstan serta lebih besar dari pada tingkat permintaan.
3. Proporsi *defect* konstan dan hanya terdapat 1 jenis *defect* didalam setiap siklus produksi.
4. Item cacat hasil produksi (bukan *scrap*) dapat di kerjakan kembali (*reworkable*).
5. Semua *demand* dapat dipenuhi, tidak diizinkan terjadinya *shortage*, namun *backlogging* diizinkan.
6. Proporsi *scrap* kurang dari proporsi *defect*.

7. *Inspection cost* diabaikan
8. *Set-up time* untuk proses *rework* = 0
9. Asumsi lain mengikuti asumsi pada model EPQ klasik.

Adapun untuk mendapatkan model matematis dalam penelitian ini dilakukan penggambaran terhadap pola persediaan dengan kondisi adanya *scrap/imperfect quality* dan berikut adalah gambar fluktuasi tingkat persediaan dengan adanya *scrap* dan *imperfect quality*



Gambar 2.2 Gambar fluktuasi model persediaan EPQ dengan adanya *Scrap/imperfect quality* dan *Rework*

Dari gambar tersebut adapun pemodelan matematis yang didapat oleh peneliti untuk memberikan solusi dalam penentuan kuantitas produksi ekonomis dengan mempertimbangkan *scrap* dan *defective item* ialah sebagai berikut:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2PDC_0}{C_h [P(1-x\theta)^2 - D(1+y)(1+x - 2x\theta + x^2(1-\theta)^2]}}$$

Dimana:

P= tingkat produksi (unit/ tahun)

D=tingkat permintaan (unit/tahun)

θ = proporsi *scrap* (%)

x= proporsi cacat dari produksi regular (%)

y=proporsi cacat dari *reject customer* (%)

Pada model diatas relevansi terkait dengan obyek penelitian adalah pada aspek metode untuk menemukan model penentuan kuantitas produksi ekonomis dengan menggunakan *derivative method* yang mana dalam penelitian diatas fungsi tujuan yang menjadi dasar untuk melakukan *pen-differensial* merupakan fungsi biaya dengan biaya –biaya tambahan lain selain *set-up cost* dan *holding cost* yang dalam hal ini adalah biaya-biaya terkait dengan kualitas (*rework, customer reject, dll*). Dalam penelitian yang akan dilakukan juga memiliki fungsi tujuan yang khusus yakni *COGM* yang mana dalam fungsi biaya tersebut juga teradapat biaya-biaya diluar biaya *set-up* dan biaya simpan, yang dalam hal ini biaya tersebut adalah biaya material (raw material dan gas) serta biaya tenaga kerja, dan biaya tersebut merupakan komponen biaya yang membentuk produk yang merupakan produk kimia dasar dan memiliki karakteristik produk tertentu, yang mana bila produk tersebut tidak memiliki biaya tersebut maka produk tersebut tidak akan menjadi produk yang sesuai dengan spesifikasi produk serta sesuai dengan keinginan pelanggan. Oleh karena itu peninjauan terhadap teknis penurunan formulasi perlu dilakukan sebagai bagian dari *knowledge* untuk melakukan pengoahan data. Namun dalam *literature review* tersebut kajian yang dibahas adalah untuk permasalahan *single machine* dan *single product* sehingga kajian kembali serta proses *discover* terhadap teknis *derivative method* untuk *literature* yang lain yang lebih mendekati dengan permasalahan perlu dilakukan lebih lanjut.

2.3.3 *Simplified Approach to The Multi-Item Product Quantity Model With Scrap, Rework, and Multi –Delivery*

Tinjauan pustaka ini diambil di *jurnal of applied research and technology* Pada tinjauan pustaka ini, peneliti Chiu (2014) menggunakan model matematika dan perhitungan differensial untuk menentukan siklus produksi pada kondisi normal yang dapat meminimalkan total biaya produksi, persediaan, dan pengiriman dengan menggunakan model EPQ multi – item yang mempertimbangkan scrap, rework, serta *multi delivery*.

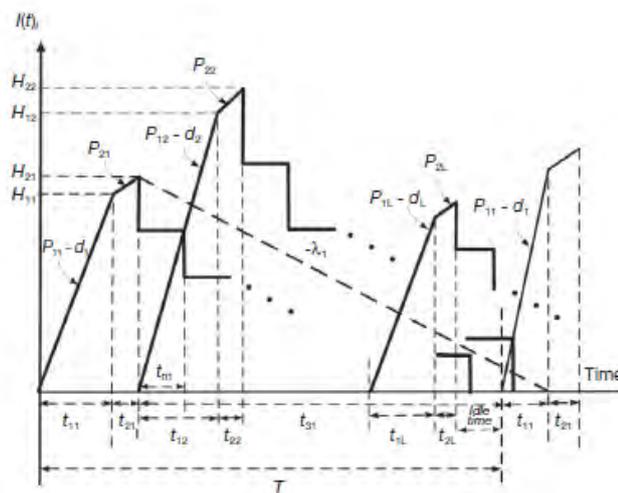
Dalam perkembangannya, pengembangan model multi item EPQ dikembangkan dengan pendekatan *algebraic* yang mensubstitusi penggunaan

differensial pada fungsi biaya untuk menentukan waktu siklus yang optimal, dalam penelitian ini akan digunakan pendekatan yang sederhana yang memungkinkan para praktisi dalam menyelesaikan permasalahan riil di perusahaan dengan menggunakan model *multi item EPQ* yang lebih efektif.

Adapun dalam penelitian ini asumsi yang digunakan dalam pengembangan simple model multi item EPQ dengan mempertimbangkan *scrap*, *rework* dan *multi delivery* adalah sebagai berikut:

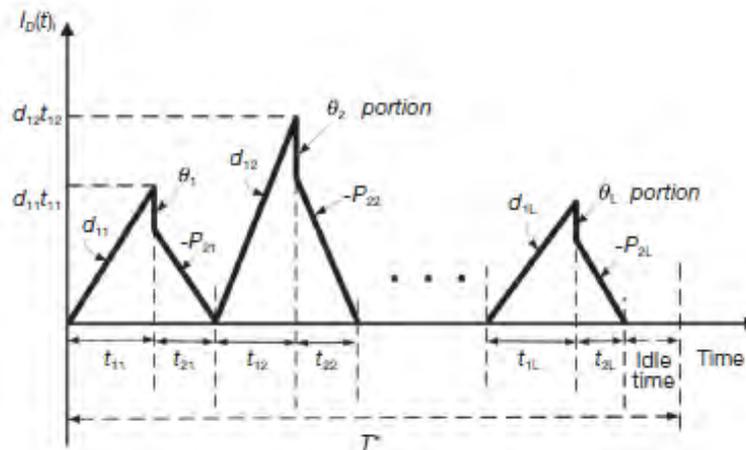
1. Produksi muti item produk tersebut dilakukan pada *single machine*.
2. Tidak diizinkan terjadi *shortage*
3. Setiap jenis barang jadi dapat dikirim ke *customer* ketika jumlah keseluruhan lot produksi sampai dengan pada akhir proses *rework* memenuhi kualitas .
4. Asumsi lain mengikuti asumsi pada model EPQ klasik.

Berikut merupakan gambar dari tingkat persediaan untuk kondisi multi item dengan *perfect quality*.



Gambar 2.3 Gambar model persediaan multi item dengan kondisi *Perfect Quality*

Adapun dari model diatas peneliti mengembangkan model multi item diatas untuk kondisi terdapat *scrap*, *rework*, dan *multi delivery* dengan ilustrasi penggambaran model persediaan sebagai berikut:



Gambar 2.4 Gambar model persediaan multi item dengan kondisi *Imperfect Quality (Scrap dan rework)* serta *multi delivery*

Dari model diatas peneliti dapat mengembangkan model EPQ multi item tersebut dengan pendekatan *algebraic derivation* yang menghasilkan model penentuan waktu siklus produksi yang optimal dengan model sebagai berikut:

$$T^* = \frac{2 \sum_{i=1}^L (K_i + nK_{1i})}{\sum_{i=1}^L \left\{ h_i \lambda_i^2 \left[\frac{1}{\lambda_i} - \frac{1}{\lambda_i n} + \frac{E_{0i}}{P_i n} + \frac{\theta_i E_{0i} E_{1i}}{P_i} \right] + \frac{(1-\theta_i) E_{0i} E_{1i} [1-E[x_i]]}{P_{2i}} + \frac{(1-\theta_i) E_{1i}}{P_{2i} n} \right\} + \frac{h_i \lambda_i^2 (1-\theta_i)^2 E_{1i}^2}{P_{2i}}}$$

Dimana:

T = waktu siklus produksi yang optimal

K_i = biaya *set-up*

K_{1i} = biaya pengiriman tetap per *shipment* untuk produk i

P_{2i} = tingkat produksi

E_{0i} = Biaya ekspektasi untuk item *rework*

Pada model sebelumnya relevansi antara *literature review* dengan penelitian adalah terletak pada aspek teknis penurunan formulasi namun permasalahan yang dikaji masih belum dapat *mengcover* jawaban untuk

pengembangan model *multi machine multi product* dari penelitian ini, sehingga pada *literature review* selanjutnya ini dilakukan untuk melihat langkah-langkah secara teknis dan sederhana untuk *derivative method* pada kasus *multi product* dengan fungsi tujuan yang memiliki urgensi dengan obyek penelitian. Dalam hal ini pengetahuan terkait dengan teknis *derivative method* pada pengembangan model penentuan kuantitas produksi optimal untuk permasalahan *multi machine* dan fungsi tujuan yang khusus sudah didapat namun masih terdapat aspek dari obyek penelitian yang belum ter-cover yaitu aspek *multi machine*, sehingga peninjauan dan pencarian terhadap literature terkait masih perlu dilakukan.

2.3.4 *Production Lot Sizing With Quality Screening and Rework*

Dalam kebanyakan sistem produksi *imperfect quality* merupakan hal yang tidak bisa dihindarkan, mengingat variabilitas yang mempengaruhi dari berjalannya sistem produksi juga tidak dapat dihindarkan. Hal yang dapat dilakukan ialah bagaimana mengendalikan variabilitas tersebut sehingga tidak memberikan pengaruh besar dalam pemicu timbulnya *imperfect product* dalam sistem produksi. Dalam hal ini pengendalian kualitas merupakan hal yang memiliki kaitan erat dengan sistem produksi yaitu berkaitan dengan pengendalian variabilitas tersebut.

Imperfect quality tersebut membawa dampak pula terhadap total biaya produksi yang mana semakin banyak *imperfect quality* maka semakin besar pula *cost of quality* yang dikeluarkan dan tentunya akan berdampak besar terhadap total biaya produksi dan hal tersebut berdampak pula pada keputusan terkait dengan penentuan jumlah produksi.

Dalam tinjauan pustaka yang diambil dari jurnal *applied mathematical modeling* dan ditulis oleh lama mussawi haidar (2015) ini melihat bahwa dalam model penentuan kuantitas produksi yang optimal juga dipengaruhi oleh jumlah *defective item* atau *imperfect quality* yang dihasilkan oleh sistem produksi tersebut. Dalam penelitian ini pula melihat bahwa dibanyak penelitian terkait dengan model EPQ dengan *imperfect quality*, *defect* atau *scrap*, untuk memudahkan analisis serta menyederhanakan perhitungan rata-rata persediaan, produk diasumsikan menjadi 2 kategori yaitu produk baik dan *rework product*.

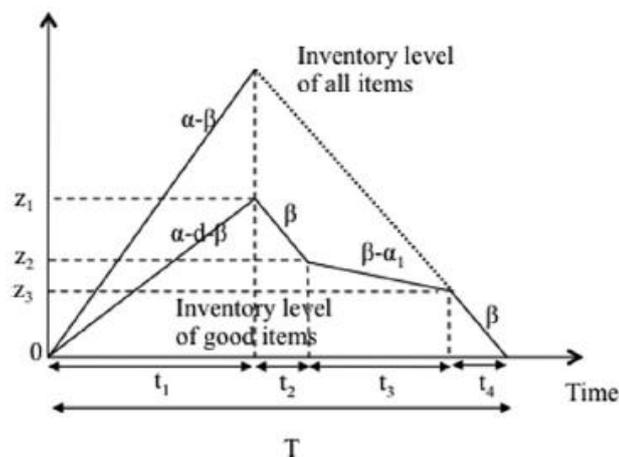
Pada literatur ini asumsi sebagaimana hal tersebut dihindari dengan cara memasukkan proses pemilahan kedalam model EPQ dengan *rework*.

Adapun berikut asumsi yang digunakan dalam penelitian tersebut:

1. tidak diizinkan terjadinya *shortage*.
2. Biaya pemilahan selama produksi lebih besar dari biaya pemilahan setelah produksi ($d_1 > d_2$)
3. Permintaan selama produksi hanya untuk produk *non defective*
4. Tingkat pemilahan lebih besar dari tingkat permintaan $x > \beta$.
5. Biaya simpan dari *defective product* yang sedang dalam proses *rework*, lebih tinggi dari biaya simpan produk *non-defective*.

Pada penelitian tersebut dilakukan dua bentuk analisis terhadap model yang memiliki tujuan yang berbeda terkait dengan identifikasi *defective product* selama produksi dan pemilahan. Untuk model yang pertama ialah mengasumsikan bahwa *defective item* dapat dijual dengan diskon, dan model kedua mengasumsikan bahwa *defective items* dilakukan *rework* pada tingkat *rework* yang konstan.

Berikut gambar model persediaan pada asumsi dengan model 1 dalam penelitian tersebut.



Gambar 2.5 Gambar model persediaan multi item dengan kondisi *rework* pada *defective items*.

Dari penggambaran model diatas, peneliti menghasilkan EPQ model sebagai berikut:

$$y^* = \sqrt{\frac{2K\beta}{h\{2E(P)\beta/x + E[(1 - P)^2]\}}$$

Dimana :

y = jumlah produksi selama siklus produksi (unit)

$E(P)$ =biaya ekspektasi untuk melakukan pemilahan USD /unit)

x =tingkat pemilahan (unit/ tahun)

P =proporsi acak dari item yang cacat, dengan fungsi padat probabilitas.

K = biaya *set-up* (USD/*set-up*)

β = tingkat permintaan (unit/tahun)

h =Biaya simpan (USD/unit/tahun)

α =tingkat produksi (unit)

Sedangkan berikut merupakan model dari EPQ pada model 2 dari penelitian tersebut:

$$y^* = \sqrt{\frac{K\beta}{h\left(\frac{\beta}{\alpha} + \frac{(1-E(P))^2}{2} + \frac{\beta E(P)}{x} + \frac{\beta^2 E(P)^2}{2\alpha_1^2}\right) + h_1 \frac{\beta E(P)^2}{2\alpha_1}}$$

Adapun perbedaan fundamental dari kedua model tersebut adalah dalam model kedua terdapat proses yang menghasilkan biaya *rework* untuk *imperfect item* sedangkan pada model pertama *imperfect item* langsung dikompensasikan kedalam diskon. Adapun kesamaan dari kedua model tersebut adalah kedua model mempertimbangkan proses pemilahan yang menghasilkan biaya *screening*.

Adapun relevansi dari *literature review* ini dengan pengembangan model adalah dari aspek fungsi tujuan yang khusus dalam hal ini adalah fungsi tujuan berupa fungsi biaya tambahan yakni biaya *rework* dan *screening*, adapun selain aspek tersebut relevansi aspek yang kedua adalah aspek *multi product* dari *literature review* yang memiliki karakteristik yang sama dengan obyek penelitian yang mana karakteristik produksi untuk *multi product* adalah dengan memberikan pengetahuan untuk penentuan kuantitas produksi optimal melalui penentuan siklus produksi optimal, sehingga melalui *literature review* pada jurnal ini memberikan pengetahuan tambahan terkait dengan teknis metodologi penelitian dalam penentuan kuantitas optimal untuk permasalahan *multi product*. Namun dalam penelitian ini masih belum menjawab detail *framework* pengembangan model untuk permasalahan *multi machine*.

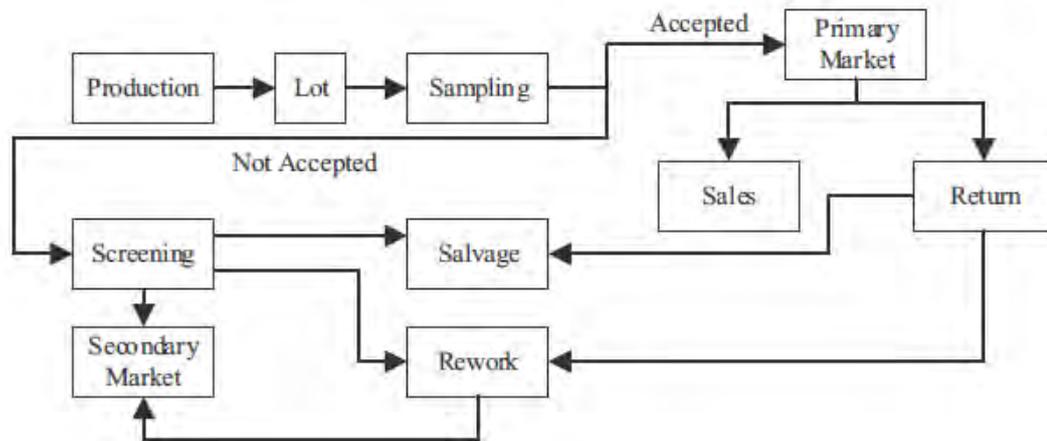
2.3.5 *Economic Production Quantity in Batch Manufacturing With Imperfect Quality, Imperfect inspection, and Destructive and Non Destructive Acceptance Sampling in A Two – Tier Market*

Dalam tinjauan pustaka dari jurnal yang diambil di *computers & Industrial engineering* dan ditulis oleh Muhammad al salamah (2015) ini akan berfokus pada pengembangan model EPQ untuk *case* yang mana dalam proses produksi dan inspeksi keduanya tidak terdapat kesempurnaan.

Dalam dunia manufaktur dapat digunakan dua model pengujian yaitu *destructive test* dan *non destructive test*, dari kedua model pengujian tersebut memungkinkan untuk terjadi 2 jenis kesalahan yaitu kesalahan jenis 1 atau kesalahan jenis 2. Ketika sebuah lot ditolak, maka lot tersebut akan melalui lebih mahal biaya-biaya yang terkait dengan pemilahan untuk memisahkan produk dengan produk yang di diskon maupun yang di *rework*. Dalam hal ini fungsi dari ekspektasi profit mengandung berberapa komponen biaya antara lain biaya *rework*, biaya *salvage*, biaya *set-up*, biaya pemilahan, dan biaya *inventory*.

Dari kedua jenis model pengujian yakni *destructive test* dan *nondestructive test* dalam penelitian ini akan ditentukan lot size produksi yang optimal berdasarkan biaya-biaya diatas, dan solusi dari keoptimalan tersebut juga dilakukan pengujian.

Berikut gambaran dari proses bisnis secara umum terkait dengan proses produksi-inspeksi-penjualan sampai dengan return.



Gambar 2.6 Gambar aliran proses bisnis dari produksi sampai dengan penjualan

Dari hasil penelitian ini adapun model EPQ untuk penentuan kuantitas produksi yang ekonomis dengan mempertimbangan *imperfect quality* dan *imperfect inspection* adalah sebagai berikut:

$$Q_3 = \sqrt{\frac{c_u + c_s n}{T_8 + T_9 + T_{10} + T_{12}}}$$

Dimana:

Q_3 = Kuantitas produksi ekonomis

c_u = biaya *set-up* (USD/*set-up*)

c_s = biaya pemilahan (USD/Unit)

n = jumlah sample (unit)

T_n = lama siklus (tahun)

Penelitian ini telah menunjukkan pengembangan model EPQ dengan mempertimbangkan *imperfect quality*, *imperfect inspection*, *single acceptance sampling* serta mempertimbangkan dua model pengujian yaitu *destructive test* dan *non-destructive test*. melalui analisa sensitifitas ditemukan bahwa jumlah penerimaan sample memiliki dampak yang cukup signifikan terhadap penentuan lot size dan berdampak negative terhadap ekspektasi profit serta ekspektasi panjang siklus baik hal tersebut terjadi pada model pengujian destruktif maupun non-destruktif. Dari analisis terhadap dampak kemungkinan kesalahan jenis 1

disimpulkan bahwa lebih ekonomis untuk meningkatkan lot size untuk meningkatkan nilai probabilitas. Sedangkan jika ditinjau dari kesalahan jenis 2 ditemukan bahwa meningkatkan nilai probabilitas akan berdampak pada menurunnya lot size serta meningkatkan lama siklus.

Pada *literature review* ini memiliki relevansi dengan pengembangan model adalah pada aspek sistem *batch manufacturing* yang dibahas dalam *literature review* ini, yang mana pada obyek penelitian yang mengkaji penentuan kuantitas produksi ekonomis untuk permasalahan *multi machine – multi product* memiliki karakteristik sistem produksi *batch manufacturing* sehingga dengan adanya *literature review* ini menambah *knowledge* untuk menyusun langkah-langkah penyelesaian permasalahan untuk obyek penelitian dengan karakteristik *multi machine – multi product* dengan sistem *batch manufacturing*. Namun dalam *literature review* ini belum sampai kepada pembahasan terkait dengan model *multi machine* dalam penentuan kuantitas produksi optimal, sehingga penelusuran lebih lanjut untuk *literature review* terkait dengan pengembangan model *multi machine – multi product EPQ* perlu dilakukan.

2.3.6 A Multi Machine Multi product EPQ Problem for an imperfect manufactured system considering utilization and allocation decision

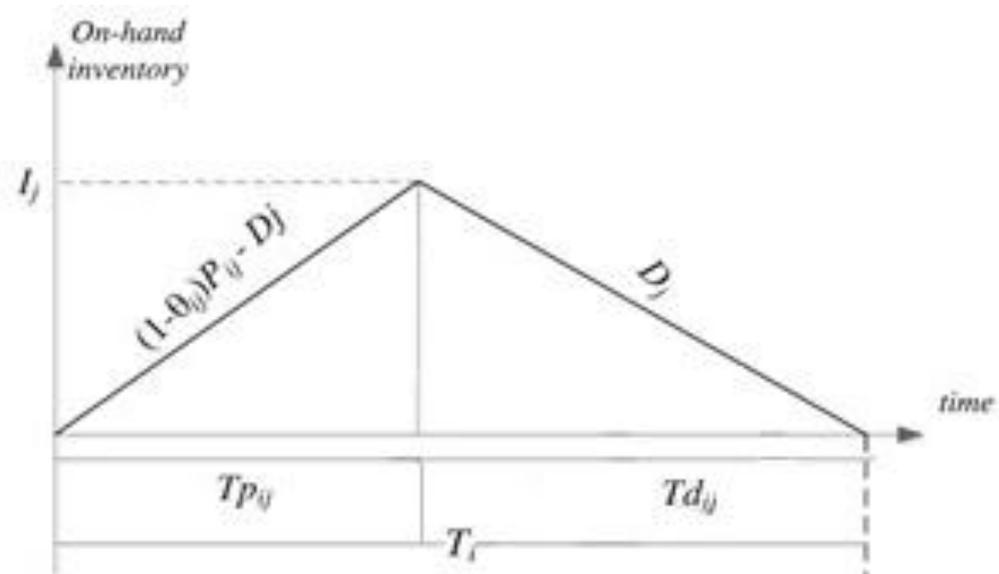
Pada berjalannya sistem manufaktur dewasa ini telah banyak menggunakan banyak mesin untuk memproduksi beberapa produk dengan kapasitas yang berbeda-beda, *set-up* time yang berbeda serta tingkat produksi dan tingkat *failure* yang berbeda.

Salah satu isu besar pada fase perencanaan di sistem manufaktur adalah pengambilan keputusan terhadap tiga pertanyaan kritis antara lain: apa sajakah mesin yang dibeli?, produk apa sajakah yang seharusnya dialokasikan untuk diproduksi pada mesin tersebut? dan berapa lama siklus optimal?, yang mana ketiga keputusan tersebut harus dibuat untuk dengan tujuan untuk meminimalkan total biaya sistem tersebut, termasuk didalamnya ialah biaya utilisasi, biaya *set-up*, biaya produksi dan biaya scrap.

Dalam refrensi jurnal yang diambil dari jurnal *expert system with applications* dan ditulis oleh Amir hossein nobil (2016) ini memformulasikan model multi EPQ sebagai MINLP (*Multi Integer Non-Linear Programming*), yang mana konvensitas dari *multi product single machine* EPQ digunakan untuk merubah permasalahan kedalam bentuk *bi-level decision making –problem*.

Pada level pertama keputusan terkait dengan utilisasi mesin serta alokasi untuk pengerjaan produk dibuat. Setelah itu pada level kedua lama siklus untuk tiap mesin ditentukan. Dalam menyelesaikan permasalahan ini peneliti menggunakan metode integrasi *hybrid genetic algorithm* dan metode *derivatives*. Pada usulan *hybrid genetic algorithm*, solusi dari level pertama ditetapkan secara acak, lalu kemudian untuk level kedua metode *derivatives* diaplikasikan untuk menentukan lama siklus optimal berdasarkan solusi pada level pertama.pada akhirnya hasil dari metode *hybrid genetic algorithm (HGA)* dibandingkan dengan dengan hasil model *general algebraic modeling system (GAMS)* dan pada hasil akhir ditemukan bahwa metode HGA lebih baik dan lebih efisien .

Adapun berikut merupakan penggambaran oleh penulis dari model persediaan pada *multi machine-multi item* EPQ model .



Gambar 2.7 Gambar model persediaan pada *multi machine-multi item* EPQ Model.

Dan berikut merupakan formulasi penentuan *lot size* produksi optimal dari penggambaran model persediaan tersebut.

$$Q_j = \frac{D_j T_j}{(1 - \theta_{ij})}$$

Dan formulasi lama siklus optimal ialah sebagai berikut:

$$T_i = T p_{ij} + T d_{ij} = \frac{(1 - \theta_{ij}) Q_j}{D_j}$$

Dimana:

Q_j = lot size produksi pada item j pada setiap siklus (unit)

D_j = tingkat permintaan pada item j (unit/tahun)

T_j = lama siklus dari mesin untuk pengerjaan item j (tahun)

θ_{ij} = proporsi dari produk *scrap* untuk item j pada mesin I (%)

T_i = lama siklus dari mesin i (hari)

$T p_{ij}$ = uptime dari item j yang dikerjakan di mesin i (hari)

$T d_{ij}$ = downtime dari item j yang dikerjakan di mesin i (hari)

Adapun peneliti memformulasikan fungsi tujuan sebagai total cost dengan formulasi sebagai berikut:

$$TC = CU + CA + CP + CH + CD$$

Dimana :

TC = total cost (USD)

CU = total biaya utilisasi untuk semua item (USD)

CA = total biaya *set-up* untuk semua item (USD)

CP = total biaya produksi untuk semua item (USD)

CH = total biaya simpan untuk semua item (USD)

CD = total biaya disposal untuk semua item (USD)

Dari fungsi tujuan tersebut adapun yang menjadi konstrain dalam penelitian ini adalah :

- Alokasi produk i untuk dikerjakan di mesin j
- Utilisasi mesin
- Area penyimpanan bahan setengah jadi
- Kapasitas masing-masing mesin

Sehingga model akhir persediaan EPQ menjadi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } TC &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_i f_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \left[\frac{A_{ij}}{T_i} + \frac{h_j D_j}{2(1-\theta_{ij})} \left(1 - \theta_{ij} - \frac{D_j}{P_j} \right) T_i \right. \\
 &\quad \left. + \frac{c_{ij} D_j + d_j \theta_{ij} D_j}{(1-\theta_{ij})} \right] \\
 \text{s.t.} & \\
 \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} x_{ij} &= 1 \quad j = 1, 2, \dots, m \\
 x_{ij} &\leq y_i \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \\
 \sum_{i=1}^n f_i y_i &\leq B \\
 \sum_{i=1}^n r_i y_i &\leq R \\
 T_i &\geq \left(\frac{\sum_{j=1}^m x_{ij} S_{ij}}{1 - \sum_{j=1}^m \frac{x_{ij} D_j}{(1-\theta_{ij}) P_j}} \right); \quad i = 1, 2, \dots, n \\
 T_i &> 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \\
 y_i, x_{ij} &\in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (21)
 \end{aligned}$$

Pada *literature review* ini relevansi dengan pengembangan model adalah pada aspek *framework* untuk model penentuan kuantitas produksi ekonomis pada permasalahan *multi machine-multi product* dengan beberapa constrain dalam hal ini pada *literature review* ini dijelaskan secara detail *framework* untuk mengidentifikasi constrain dan fungsi tujuan terkait dengan penentuan kuantitas produksi optimal untuk permasalahan *multi machine – multi product*. Pada *literature review* ini terdapat *constrain* berupa *utilization*, dan alokasi pengerjaan produk *j* pada mesin *i*. sedangkan *constrain* pada obyek penelitian yang akan dilakukan pengembangan model adalah *constrain inventory capacity* untuk produk jadi. Sehingga dengan adanya *literature review* ini sudah cukup memberikan gambaran *framework* dalam pengembangan model penentuan kuantitas produksi optimal untuk permasalahan *multi machine – multi product*.

2.4 Posisi Penelitian

Dari tinjauan terhadap penelitian terdahulu berikut tabel dan diagram yang menunjukkan posisi dari penelitian ini:

Tabel 2.1 Tabel Posisi Penelitian

No	Judul Penelitian	Metode/Pendekatan			Object penelitian			Tujuan				Penggunaan Batasan dan Asumsi										
		Algebraic method/ derivative	Classical EPQ Model	Hybrid Genetic algorithm	Single-Machine Single-Product	Single-Machine Multi Product	Multi Machine-Multi Product	Penentuan lama waktu siklus	Penentuan Q optimal	Minimum Total Cost	Minimum COGM	Batch Manufacturing	Multi Delivery	Inventory/ production capacity	Screening	Imperfect Quality	Scrap	Rework	Self Life Expiry Date	Imperfect Production/ inspection System	Inspection system (Destructive test/non-destructive)	Utilization
1	Economic Production Quantity 1 Machine Muti Product (Tersine, 1982)	√	√			√		√	√	√												
2	An EPQ Model With Imperfect Production System With Rework of Regular Production and Sales Return (C Khnamoorthi dan S. Panayappan, 2012)	√	√		√				√	√					√	√	√		√			
3	Simplified Approach to The Multi-Item Product Quantity Model With Scrap, Rework, and Multi-Delivery (Chiu, 2014)	√	√			√		√							√	√	√					
4	Production Lot Sizing With Quality Screening and Rework (Iama mussawi haidar, 2015)	√	√		√				√						√	√			√			
5	Economic Production Quantity in Batch Manufacturing With Imperfect Quality, Imperfect inspection, and Destructive and Non Destructive Acceptance Sampling in A Two – Tier Market (Muhammad Al Salamah , 2015)	√	√		√				√				√		√				√		√	

(Lanjutan tabel posisi penelitian)

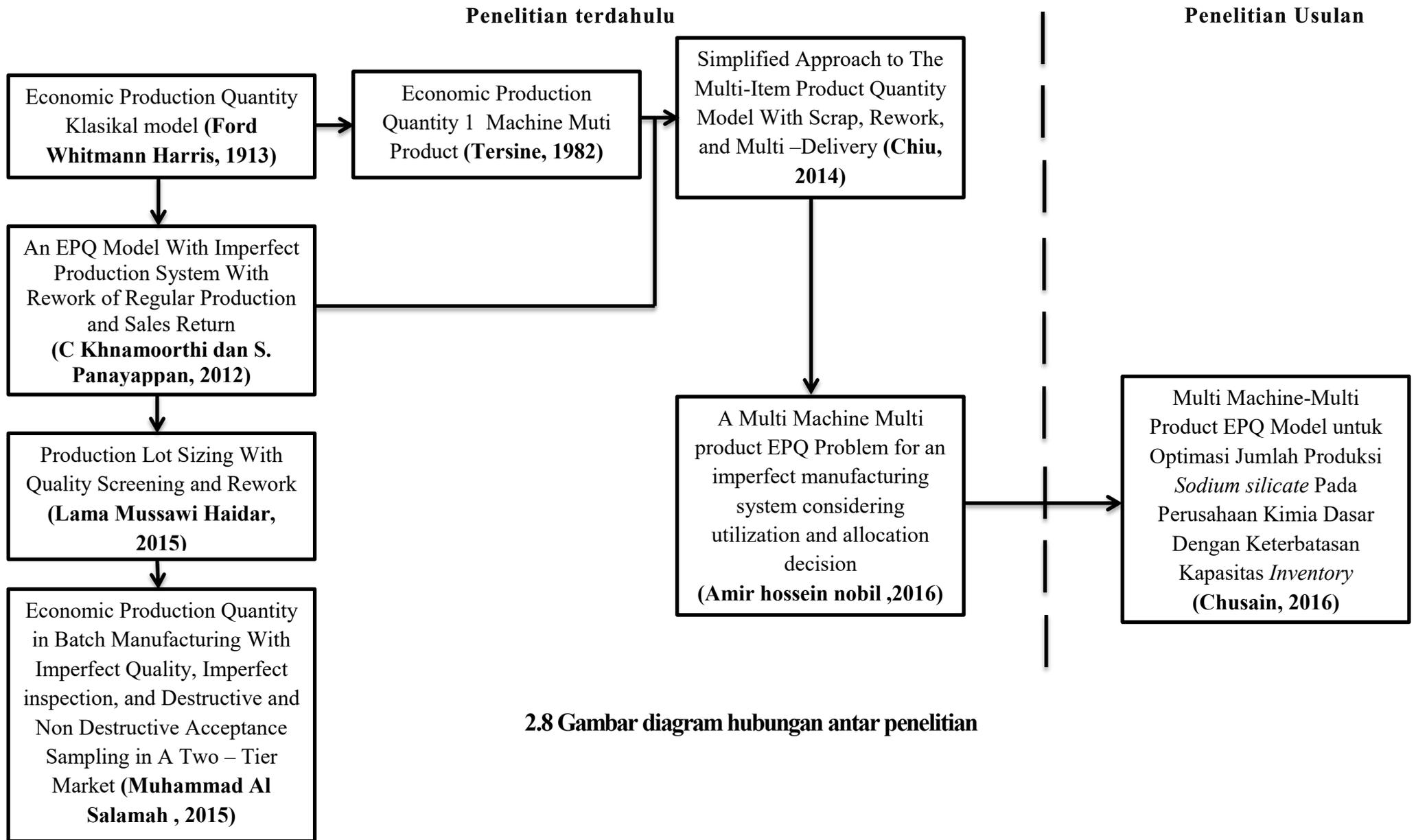
No	Judul Penelitian	Metode/Pendekatan			Object penelitian			Tujuan				Penggunaan Batasan dan Asumsi										
		Algebraic method/ derivative	Classical EPQ Model	Hybrid Genetic algorithm	Single-Machine Single-Product	Single-Machine Multi Product	Multi Machine-Multi Product	Penentuan lama waktu siklus	Penentuan Q optimal	Minimum Total Cost	Minimum COGM	Batch Manufacturing	Multi Delivery	Inventory/ production capacity	Screening	Imperfect Quality	Scrap	Rework	Self Life Expiry Date	Imperfect Production/ inspection System	Inspection system (Destructive test/non-destructive)	Utilization
6	A Multi Machine Multi product EPQ Problem for an imperfect manufacturing system considering utilization and allocation decision (Amir hossein nobil, 2016)	√	√	√					√	√												√
7	Multi Machine-Multi Product EPQ Model untuk Optimasi Jumlah Produksi Sodium Silicate Pada Perusahaan Kimia Dasar Dengan Keterbatasan Kapasitas Inventory (Chusain, 2016)	√	√					√	√		√		√					√	√			√

Dari tabel penelitian diatas maka dapat diketahui *gap* penelitian yang mendasar antara penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian terdahulu. Adapun perbedaan tersebut yakni pada obyek penelitian yang mana rata-rata penelitian terdahulu mengangkat tentang permasalahan model EPQ pada obyek *single machine- single product* atau *single machine-multi product*, sedangkan untuk penelitian yang akan dilakukan akan mengembangkan model tersebut untuk penyelesaian permasalahan dengan obyek penelitian *multi machine – multi product*. Adapun *gap* lain adalah dari segi tujuan penelitian, untuk penelitian terdahulu memiliki tujuan penelitian menentukan nilai Q optimal dan minimum total cost, sedangkan untuk permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini memiliki tujuan menentukan nilai Q optimal dan minimum *COGM*.

Adapun perbedaan lain adalah terkait dengan asumsi dan batasan penelitian yang pada penelitian-penelitian sebelumnya tidak pernah digunakan mengkaji penentuan jumlah produksi ekonomis dengan *constrain* berupa *self life expiry date*, sedangkan dalam penelitian ini terdapat pembatas berupa *self life expiry date* yang juga dijadikan sebagai salah satu pertimbangan dalam penentuan jumlah produksi ekonomis, adapun hal yang tidak menjadi fokus dalam penelitian ini sebagaimana penelitian terdahulu adalah isu-isu terkait dengan penentuan jumlah produksi yang mempertimbangkan biaya-biaya kualitas atau terkait dengan *constrain* berupa *quality inspection, rework* dan *scrap*.

Dari *gap* penelitian diatas kemudian akan dibuat diagram hubungan antar penelitian untuk mengetahui hubungan penelitian antara penelitian-penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan, yang mana diagram hubungan penelitian ini akan menggambarkan *state of the art* dari penelitian yang akan dilakukan.

Dan berikut merupakan diagram hubungan antar penelitian



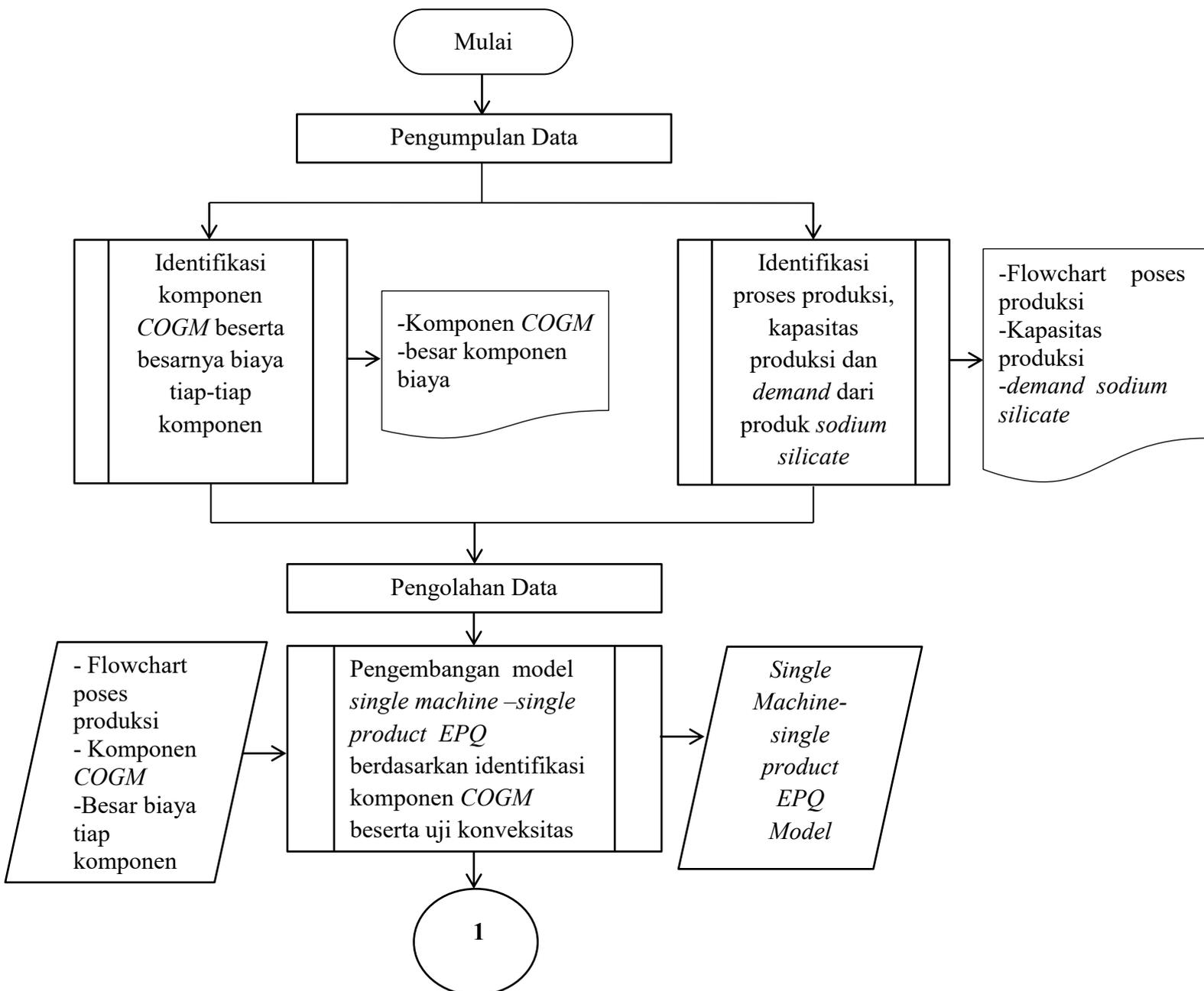
2.8 Gambar diagram hubungan antar penelitian

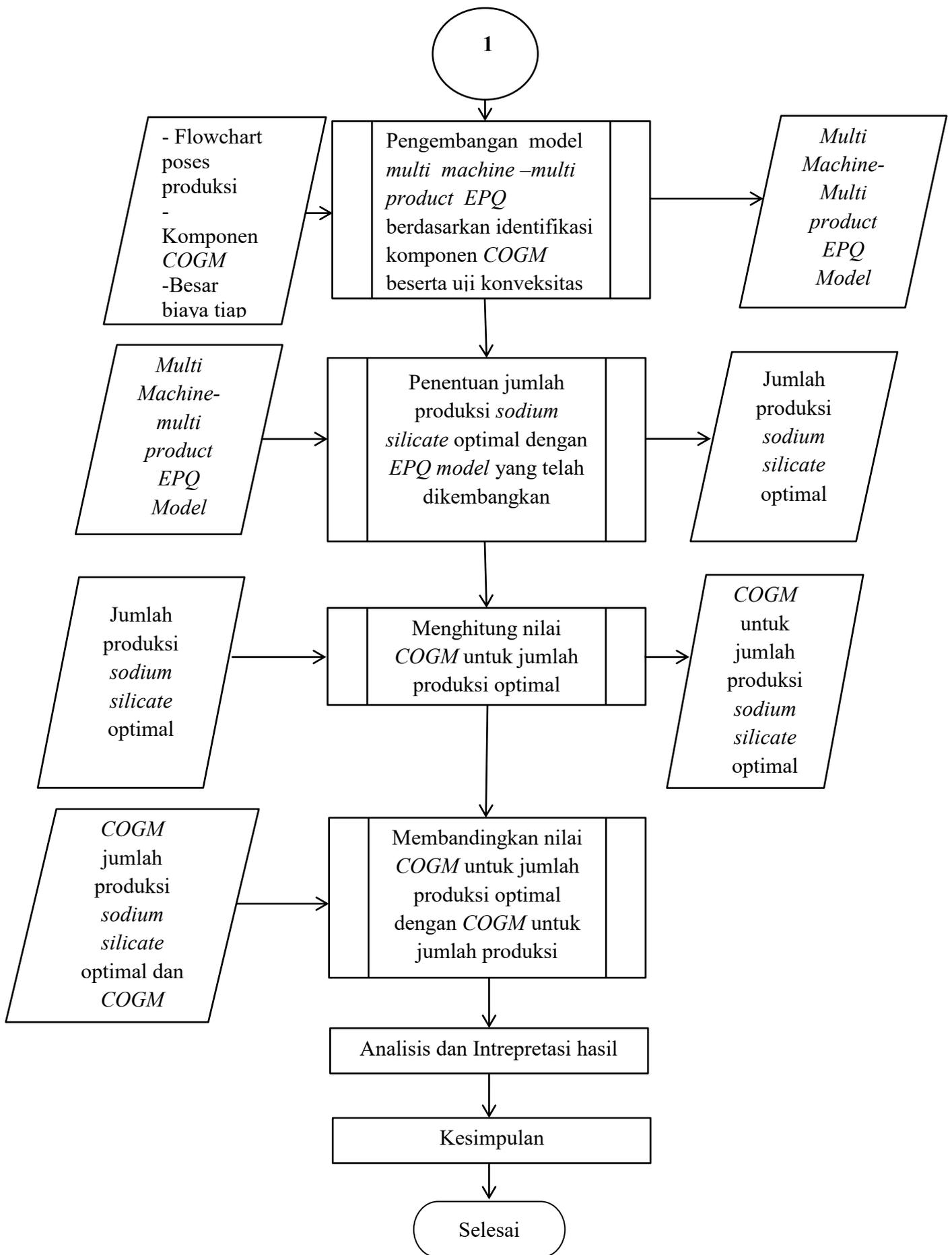
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini menguraikan tentang tahapan penelitian yaitu studi pendahuluan, identifikasi dan perumusan masalah, melakukan tinjauan pustaka, pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan intreretasi serta penarikan kesimpulan.

3.1 Kerangka Penelitian





Gambar 3.1 *Flowchart* kerangka penelitian

Dari *flowchart* kerangka penelitian diatas dapat dijelaskan bahwa dalam penelitian ini akan diawali dengan kegiatan yang berkaitan dengan pengumpulan data, adapun data yang akan dikumpulkan adalah data komponen dan besarnya *COGM*, proses produksi, kapasitas produksi dan *demand* dari produk.

Kemudian setelah dilakukan pengumpulan data akan dihasilkan informasi tentang komponen dan besarnya *COGM*, proses produksi, kapasitas produksi dan *demand* dari produk *sodium silicate*.

Dari informasi tersebut kemudian akan dijadikan sebagai inputan pengembangan model, adapun dalam pengembangan model tersebut terdapat dua aktivitas pengembangan model yaitu model *EPQ single machine-single product* untuk penentuan jumlah produksi *sodium silicate solid* yang memiliki karakteristik produksi *single machine – single product* , kemudian setelah pengembangan model *EPQ single machine – single product* tersebut dilakukan, dengan teknis pelaksanaan yang sama yakni menggunakan pendekatan *algebraic method* melalui *derivative* fungsi tujuan akan dilakukan pengembangan model *multi machine – multi product EPQ* untuk model *EPQ* dalam penentuan siklus produksi optimal produk *sodium silicate liquid*, dari siklus produksi optimal tersebut dapat dicari jumlah produksi *sodium silicate liquid* optimal dengan cara membagi jumlah *demand* tiap produk dengan nilai siklus optimal , kemudian dari model yang telah dikembangkan tersebut dilakukan uji konveksitas model untuk mengetahui apakah model yang telah tersebut mampu memberikan solusi global optimum . Setelah pengembangan model dilakukan kemudian , model yang telah dikembangkan tersebut digunakan sebagai inputan untuk menghitung jumlah produksi *sodium silicate* optimal, setelah jumlah produksi optimal tersebut diperoleh kemudian akan dihitung nilai *COGM* untuk kuantitas produksi optimal dan dari perhitungan tersebut akan dilakukan perbandingan antara *COGM* hasil dari perhitungan jumlah produksi optimal dengan *COGM* untuk jumlah produksi *existing* .

Setelah proses perbandingan tersebut akan dilakukan analisis dan interpretasi hasil terkait dengan perbedaan *COGM* dan faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan *COGM* , yang kemudian dari hasil analisis dan

intrepretasi hasil tersebut akan dilakukan penarikan kesimpulan sebagai hasil terkait dengan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian .

3.2 Studi Pendahuluan

Pada bagian ini dilakukan kajian-kajian yang relevan yang dapat digunakan untuk memberikan solusi terkait dengan permasalahan yang berhubungan dengan topik penelitian, adapun teori – teori yang digunakan adalah *Economic Production Quantity Lot Size Model*. Kegiatan awal dari penelitian ini adalah melakukan pengamatan dan pertimbangan (studi pendahuluan) terhadap permasalahan pada bagian manajemen produksi.

3.3 Identifikasi dan Perumusan masalah

Setelah dilakukan studi pendahuluan dimana dapat ditemukan dan ditetapkan ide penelitian , maka dilakukan identifikasi permasalahan, adapun tujuan dari tahap ini adalah agar dapat memahami permasalahan yang dihadapi dengan jelas. Pada tahap ini identifikasi permasalahan secara khusus akan berfokus pada kebijakan penentuan jumlah produksi pada berjalannya pabrik *sodium silicate* di perusahaan kimia yang baru berjalan , yang mana hal tersebut memiliki implikasi terhadap *COGM* perusahaan.

3.4 Penetapan Tujuan

Pada tahap ini, tujuan penelitian dirumuskan untuk menjawab permasalahan yang dikaji. Adapun tujuan penelitian yang diharapkan dapat dicapai adalah dapat menentukan jumlah produksi *sodium silicate* yang optimal dengan keterbatasan *inventory* serta mengevaluasi dan menganalisis perubahan *COGM* untuk jumlah produksi *sodium silicate* yang optimal (kondisi optimal) dengan *COGM* untuk jumlah produksi *sodium silicate* yang sedang berjalan diperusahaan (kondisi *existing*).

3.5 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang nantinya digunakan untuk penyelesaian masalah yang ada. Adapun data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

1. Identifikasi proses produksi *sodium silicate solid* dan liquid beserta data kapasitas produksi dan *inventory*.
2. Data historis *demand* untuk produk *sodium silicate solid* dan *sodium silicate liquid*.
3. Data terkait dengan *COGM* (komponen dan nilainya).

3.6 Pengolahan Data

Setelah pengumpulan data maka dilakukan pengolahan dari data yang telah didapatkan, adapun pada pengolahan data ini akan dilakukan dengan pendekatan *economic production lot size model* dengan langkah-langkah penyelesaian sebagai berikut:

a. Pengembangan model *Single Machine –Single product EPQ* untuk case produksi *sodium silicate solid*

Pada tahap ini pengolahan data berupa pengembangan model akan dilakukan terlebih dahulu pengembangan model untuk penentuan jumlah produksi optimal untuk produk *sodium silicate solid* yang memiliki karakteristik produksi *single machine- single product* pada pengolahan data ini akan dilakukan berdasarkan inputan data komponen biaya pembentuk *COGM* yang telah diidentifikasi dan dikumpulkan pada tahap pengolahan data, yang mana komponen biaya dalam *COGM* tersebut akan diformulasikan dan dilakukan pemodelan kembali untuk menghitung nilai kuantitas produksi *sodium silicate solid* yang optimal. Hasil dari model tersebut kemudian akan dilakukan uji konveksitas untuk menjamin bahwa solusi yang telah dibuat merupakan solusi global optimal.

b. Pengembangan model *Multi Machine-Multi product EPQ* untuk case produksi *sodium silicate liquid*

Setelah dilakukan pengembangan model *Single Machine-Single Product EPQ* untuk penentuan jumlah produksi optimal pada produk *sodium silicate solid*, dengan pendekatan yang sama pada tahap ini pengolahan data akan dilakukan untuk mengembangkan model *EPQ multi machine - multi product* berdasarkan inputan data komponen biaya pembentuk *COGM* yang telah diidentifikasi dan dikumpulkan

pada tahap pengumpulan data, yang mana komponen biaya dalam *COGM* tersebut akan diformulasikan dan dilakukan pemodelan kembali untuk menghitung nilai kuantitas produksi *sodium silicate liquid* yang optimal. Hasil dari model tersebut kemudian akan dilakukan uji konveksitas untuk menjamin bahwa solusi yang telah dibuat merupakan solusi global optimal.

c. Perhitungan kuantitas produksi optimal

Setelah didapatkan formulasi dalam penentuan kuantitas produksi optimal, melalui formulasi tersebut langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan kuantitas produksi optimal.

d. Menghitung nilai *COGM* solusi optimal

Dari hasil perhitungan kuantitas produksi optimal langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *COGM* dari kuantitas produksi optimal tersebut.

e. Membandingkan nilai *COGM* untuk kuantitas produksi optimal dengan *COGM* untuk kuantitas produksi kondisi *existing*

Dari hasil perhitungan nilai *COGM* untuk kuantitas produksi optimal, kemudian akan dibandingkan dengan *COGM* untuk kuantitas produksi pada kondisi *existing*, hasil dari perbandingan tersebut akan dilakukan elaborasi lebih dalam pada tahap analisis dan intepretasi hasil

3.7 Analisis dan Intepretasi Hasil

Pada tahap ini akan dilakukan analisis serta pembahasan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, khususnya analisis dan pembahasan terhadap hasil dari pengolahan data. Pada tahap ini diharapkan dapat memberikan penjabaran hasil dari tahap pengolahan data.

3.8 Kesimpulan

Pada tahap ini penarikan kesimpulan dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian, berupa rekomendasi dan usulan serta evaluasi kondisi *existing* terkait dengan kebijakan manajemen produksi khususnya penentuan produksi *sodium silicate* yang optimal.'

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

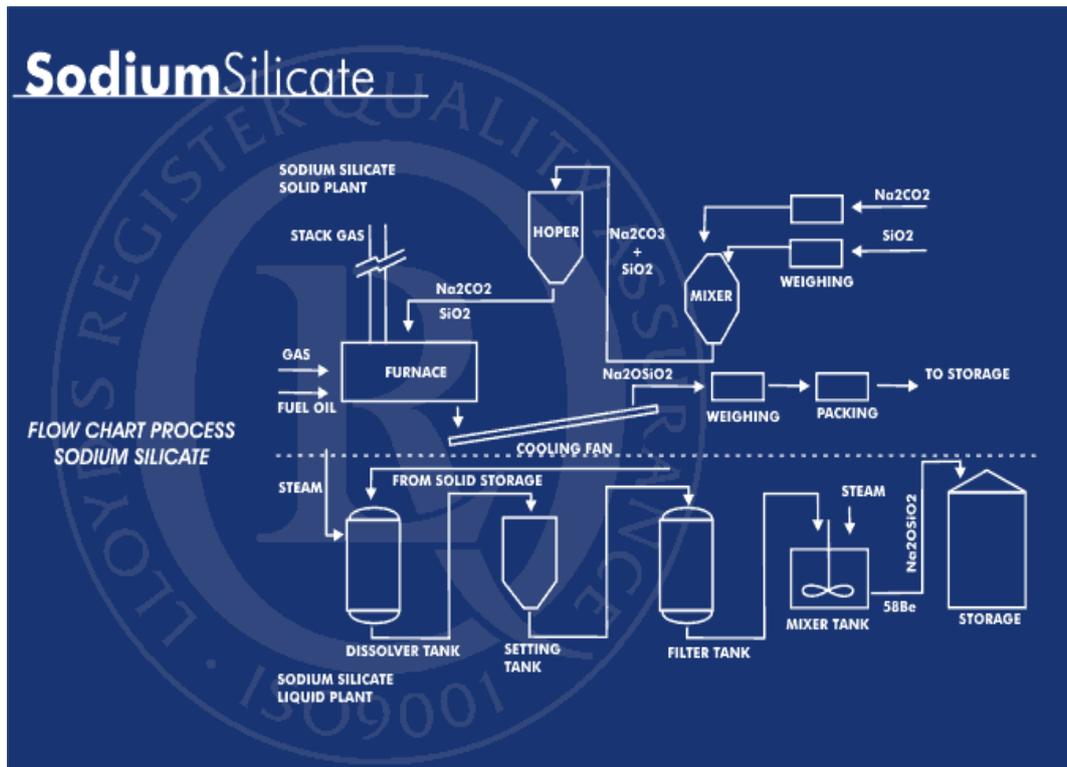
Pada bab ini dilakukan pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini, kemudian dari pengumpulan data tersebut dilakukan pengolahan data untuk menghasilkan solusi dari permasalahan yang ingin diselesaikan.

4.1 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini data yang dikumpulkan antara lain adalah data *flowchart* proses produksi *sodium silicate*, kapasitas produksi dan *Inventory*, serta *demand sodium silicate* periode 2016.

4.1.1 Flowchart proses produksi *Sodium silicate*

Berikut merupakan *flowchart* produksi *sodium silicate* dari obyek penelitian:



Gambar 4.1 Gambar *Flowchart* proses produksi *sodium silicate*

Pada plant produksi *Sodium silicate* di obyek peneiltian produksi dilakukan untuk produk sodium silikat solid dan liquid.

Proses produksi *sodium silicate solid* diawali dengan proses persiapan bahan baku yaitu pencampuran pasir silica dan soda ash dengan massa formulasi tertentu, setelah bahan baku tersebut siap bahan baku dimasukkan kedalam furnace untuk reaksi pembakaran, proses reaksi didalam furnace memiliki *range* temperatur antara 1200 °C – 1400 °C, pada temperatur tersebut campuran bahan baku pasir silica dan soda ash akan meleleh dan saling bereaksi , dari reaksi dan proses kimia tersebut kemudian akan menghasilkan cairan *Sodium silicate* (cullet), cairan tersebut kemudian dialirkan ke sebuah unit *chain conveyor* untuk dilakukan proses pencetakan , adapun dalam proses pencetakan tersebut cairan cullet yang berada dalam *chain conveyor* tersebut akan mengalami proses pendinginan dengan udara yang ditiupkan dengan menggunakan teknologi blower, kemudian setelah cairan cullet berubah fasa menjadi fasa solid, cullet akan jatuh dari *chain* ketika *chain conveyor* yang berputar posisi menghadap ke bawah sehingga dengan gaya gravitasi tersebut *cullet* akan jatuh kebawah yang kemudian cullet yang jatuh tersebut akan masuk kedalam tempat penampungan sementara untuk dipackaging (hopper) yang mana dalam hopper tersebut cullet solid yang masih dalam keadaan panas akan dilakukan proses pendinginan dengan teknologi yang sama pada proses pendinginan sebelumnya sehingga setelah cullet padat mencapai temperatur kamar cullet dilakukan proses pacakaging dalam bentuk jumbo bag dengan massa per jumbo bag ialah 1.250 Kg, dari proses packaging tersebut cullet solid yang sudah terpacakging siap disimpan dalam gudang bahan jadi.

Proses *sodium silicate liquid* ialah diawali dari *sodium silicate solid* (Cullet) dengan massa tertentu dimasukkan ke dalam dissolver untuk dilakukan penglarutan sampai cuulet benar-benar terlarut sempurna. Sodium silikat liquid yang telah diproses dalam dissolver tersebut dilakukan pengendapan *impurities* pada settling untuk menghilangkan *impurities* tersebut yang berupa *insoluble mater*, setelah dilakukan proses pengendapan proses selanjutnya adalah dilakukan penyesuaian kekentalan pada proses ini *sodium silicate liquid* WIP (*Work in Process*) dilakukan proses evaporasi pada evaporator untuk menguapkan air dalam *sodium silicate liquid* sehingga produk tersebut akan mengental sesuai

dengan spesifikasi derajat kekentalan tertentu yang dinyatakan dalam degree of Baume ($^{\circ}\text{Be}$).

4.1.2 Kapasitas Produksi dan Kapasitas *Inventory*

Berikut merupakan data kapasitas produksi dari *sodium silicate*:

- *Sodium silicate solid*

Fasilitas Produksi

Blending Machine : 40 MT/hari/unit Jumlah : 1 unit

Furnace : 35 MT/hari/unit Jumlah : 1 unit

Bagging : 45 MT/hari/unit Jumlah : 1 unit

Kapasitas *Inventory* : 700 MT

Kebutuhan Bahan Baku: Basis Formulasi = 1.000 Kg

Soda Ash = 524 Kg

Pasir Silica = 763 Kg

- *Sodium silicate liquid*

Fasilitas Prouksi

Dissolver : 12,5 MT/hari/unit Jumlah: 4 unit

Settling : 30 MT/hari/unit Jumlah: 3 unit

Evaporator : 12 MT/hari/unit Jumlah : 9 unit

Kapasitas *Inventory* : 200 MT/Tanki Jumlah: 4 tanki

Kebutuhan Bahan Baku Be 38 : Basis Formulasi = 1.000 Kg

Sodium silicate solid = 360 Kg

Kebutuhan Bahan Baku Be 42 : Basis Formulasi = 1.000 Kg

Sodium silicate solid = 400 Kg

Kebutuhan Bahan Baku Be 45 : Basis Formulasi = 1.000 Kg

Sodium silicate solid = 430 Kg

Kebutuhan Bahan Baku Be 50 : Basis Formulasi = 1.000 Kg

Sodium silicate solid = 480 Kg

Kebutuhan Bahan Baku Be 51 : Basis Formulasi = 1.000 Kg

Sodium silicate solid = 490 Kg

Kebutuhan Bahan Baku Be 52 : Basis Formulasi	= 1.000 Kg
<i>Sodium silicate solid</i>	= 500 Kg
Kebutuhan Bahan Baku Be 53 : Basis Formulasi	= 1.000 Kg
<i>Sodium silicate solid</i>	= 510 Kg
Kebutuhan Bahan Baku Be 56/57 :Basis Formulasi	= 1.000 Kg
<i>Sodium silicate solid</i>	= 540 Kg
Kebutuhan Bahan Baku Be 58 : Basis Formulasi	= 1.000 Kg
<i>Sodium silicate solid</i>	= 550 Kg

4.1.3 Demand Sodium silicate periode 2016

Berikut merupakan *demand* dari *sodium silicate* periode 2016

Tabel 4.1 Tabel demand Sodium silicate 2016

Periode 2016	Demand sodium silicate (Kg)									
	Sodium silicate solid (Cullet)	Sodium silicate liquid								
		Be 38	Be 42	Be 45	Be 50	Be 51	Be 52	Be 53	Be 56/57	Be 58
Januari	650.000	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100
Februari	650.000	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100
Maret	650.000	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100
April	650.000	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100
Mei	650.000	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100
Juni	650.000	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100
Juli	650.000	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100
Agustus	650.000	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100
September	650.000	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100
Oktober	650.000	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100
November	650.000	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100
Desember	650.000	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100

4.1.4 Komponen dan Besar Biaya Tiap Komponen Dalam COGM (Cost Of Goods Manufactured)

Data komponen *COGM*, besar biaya tiap komponen dalam *COGM*, Berikut merupakan detail data yang dikumpulkan sebagaimana kerangka penelitian yang dibuat dalam metodologi penelitian.

Komponen *COGM* pada obyek penelitian pada dasarnya memiliki komponen *COGM* yang sama dengan pada umumnya yaitu terdiri dari biaya bahan baku langsung, biaya tenaga kerja langsung, biaya *overhead*, nilai *inventory* WIP (*work in process*) awal dan nilai *inventory* WIP (*work in process*) akhir, sehingga formulasi umum dari *COGM* dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$COGM = \frac{CM + CD + CO + I1 - I2}{Q}$$

Dimana :

COGM : *Cost of Goods Manufacturing* (Rp)

CM : Biaya bahan baku langsung (Rp)

CD : Biaya tenaga kerja langsung (Rp)

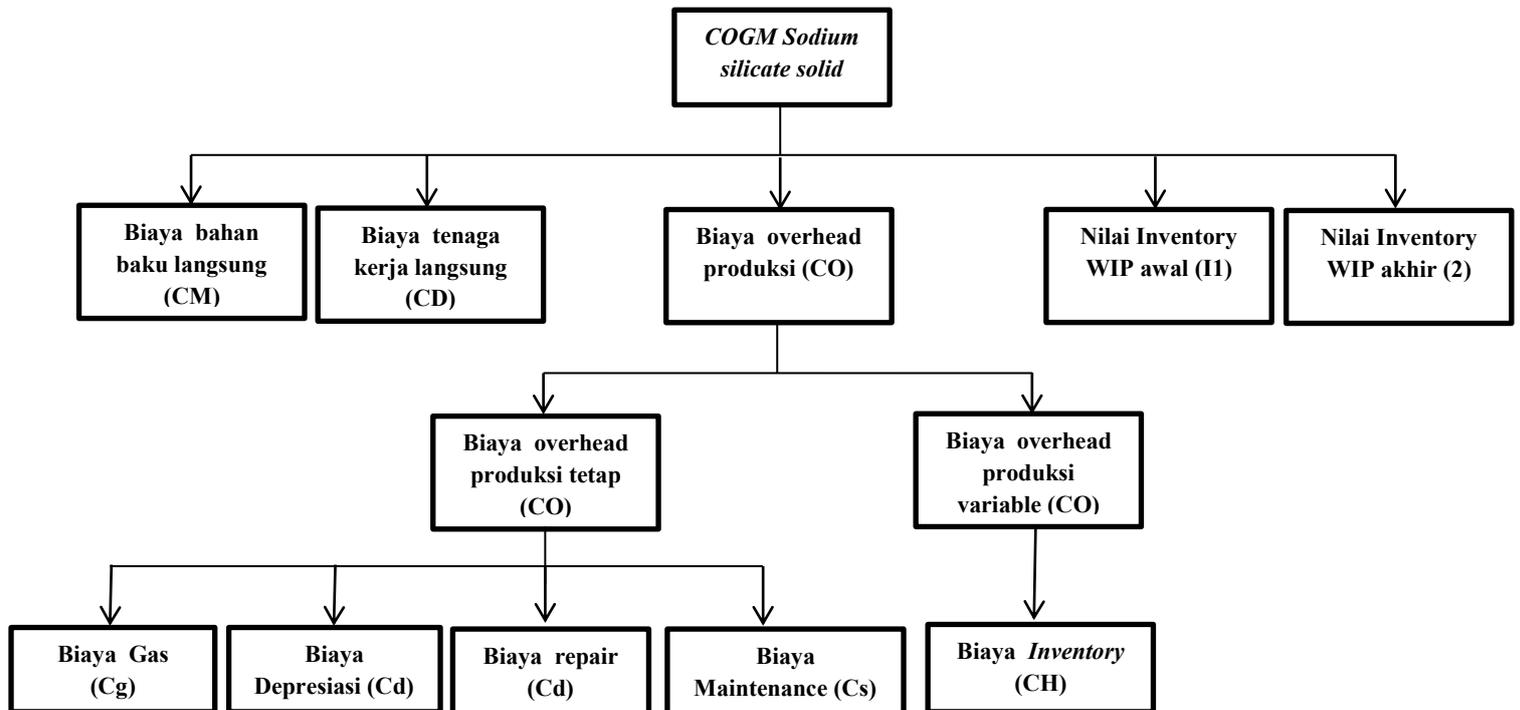
CO : Biaya *Overhead* produksi

I1 : Nilai *inventory* *WIP* (*work in process*) awal (Rp)

I2 : Nilai *inventory* *WIP* (*work in process*) akhir (Rp)

Q : Kuantitas produksi

Berikut gambar dari struktur *COGM* dari produk *sodium silicate solid*:

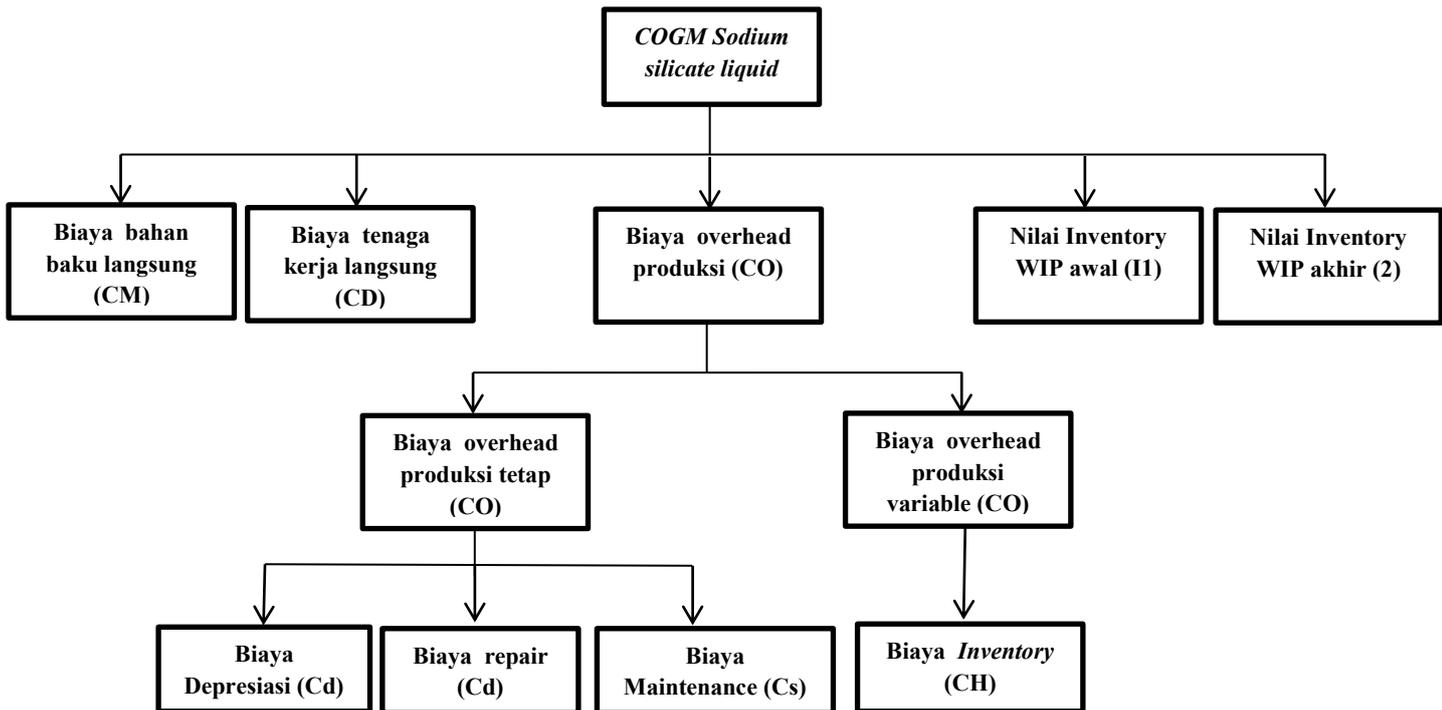


Gambar 4.2 Gambar Struktur dan komponen *COGM* untuk produk *sodium silicate solid*

Fungsi biaya pada obyek penelitian mengacu pada fungsi biaya *COGM* yakni didalamnya terdapat penambahan biaya-biaya diluar *set-up cost* dan *holding cost* ,hal ini dikarenakan model yang dibuat adalah model penentuan kuantitas produksi optimal untuk produk kimia dasar (*sodium silicate*) yang dalam

produksinya memerlukan biaya – biaya diluar *set-up cost* dan *holding cost* sebagaimana model *inventory* pada umumnya sehingga biaya-biaya terkait dengan kontribusi pembuatan produk dijumlahkan dengan biaya *set-up* dan biaya *inventory*.

Berikut merupakan gambar dari struktur *COGM* dari produk *sodium silicate liquid*:



Gambar 4.3 Gambar Struktur dan komponen *COGM* untuk produk *sodium silicate liquid*

Detail dari tiap-tiap komponen biaya diatas pada obyek penelitian dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Biaya Bahan Baku Langsung

Pada obyek penelitian bahan baku yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Bahan Baku *Sodium silicate solid*:

Soda ash : Rp 3.500 /Kg

Pasir Silica : Rp 230 /Kg

- Bahan Baku *Sodium silicate liquid*:

Sodium silicate solid : Rp 3.960 /Kg

- Biaya tenaga kerja langsung

Biaya tenaga kerja langsung adalah meliputi biaya tenaga kerja untuk operator yang berkaitan langsung dengan berjalannya aktivitas produksi, dan berikut merupakan detail biaya tenaga kerja langsung untuk memproduksi *sodium silicate*:

- Biaya tenaga kerja langsung untuk produksi *sodium silicate solid*:

Jumlah operator : 4 orang

Gaji operator :Rp 4.000.000 /orang/bulan

Biaya tenaga kerja 1 bulan : Rp 16.000.000/bulan

- Biaya tenaga kerja langsung untuk produksi *sodium silicate liquid*:

Jumlah operator : 2 orang

Gaji operator :Rp 4.000.000 /orang/bulan

Biaya tenaga kerja 1 bulan : Rp 8.000.000/bulan

- Biaya *overhead* produksi

Dalam obyek penelitian, komponen biaya *overhead* dibagi menjadi 2 yaitu biaya *overhead* tetap dan biaya *overhead* variable, berikut merupakan detail dari biaya *overhead* dalam berjalannya produksi *sodium silicate* pada obyek penelitian:

- Biaya *Overhead* tetap untuk produksi *sodium silicate solid*

Biaya Gas : Rp 160.000.000/bulan

Biaya depresiasi : Rp 2.000.000.000/tahun

Biaya *repair* : Rp 10.000.0000/bulan

Biaya *Maintenance*: Rp 2.000.000.000 / tahun

- Biaya *overhead* variable untuk produksi *sodium silicate solid*

Biaya *overhead* variable untuk produksi *sodium silicate solid* adalah berupa biaya *inventory* dan biaya *inventory sodium silicate solid* adalah sebesar Rp 3.000 /Kg/tahun

untuk total biaya *inventory* tahunan produk *sodium silicate solid* pada obyek penelitian dihitung pada obyek penelitian dihitung dari kuantitas produksi 1 tahun dengan formulasi sebagai berikut:

$$Ch \times (1-D/P) \times Q/2$$

Dimana:

Ch : Biaya simpan 1 tahun (Rp)

D : Jumlah permintaan 1 tahun (Kg)

P : Laju produksi 1 tahun (Kg)

Q : Jumlah Produksi (Kg)

- Biaya *Overhead* tetap untuk produksi *sodium silicate liquid*

Biaya depresiasi : Rp 1.000.000.000/tahun

Breakdown biaya depresiasi:

Biaya depresiasi *sodium silicate liquid* Be 38 :Rp 20.000.000/tahun

Biaya depresiasi *sodium silicate liquid* Be 42 :Rp 80.000.000/tahun

Biaya depresiasi *sodium silicate liquid* Be 45 :Rp 160.000.000/tahun

Biaya depresiasi *sodium silicate liquid* Be 50 :Rp 40.000.000/tahun

Biaya depresiasi *sodium silicate liquid* Be 51 :Rp 880.000.000/tahun

Biaya depresiasi *sodium silicate liquid* Be 52 :Rp 720.000.000/tahun

Biaya depresiasi *sodium silicate liquid* Be 53 :Rp 20.000.000/tahun

Biaya depresiasi *sodium silicate liquid* Be 56/57 :Rp 20.000.000/tahun

Biaya depresiasi *sodium silicate liquid* Be 58 :Rp 60.000.000/tahun

Biaya *repair* : Rp 2.000.0000/bulan

Biaya *Set-up/Maintenance* dari evaporator n (1,2,3....9) untuk memproduksi Be 38 : Rp 75.0000.000 / tahun

Biaya *Set-up/Maintenance* dari evaporator n (1,2,3....9) untuk memproduksi Be 42 : Rp 125.0000.000 / tahun

Biaya *Set-up/Maintenance* dari evaporator n (1,2,3....9) untuk memproduksi Be 45 : Rp 150.0000.000 / tahun

Biaya *Set-up/Maintenance* dari evaporator n (1,2,3....9) untuk memproduksi Be 50 : Rp 225.0000.000 / tahun

Biaya *Set-up/Maintenance* dari evaporator n (1,2,3....9) untuk memproduksi Be 51 : Rp 250.0000.000 / tahun

Biaya *Set-up/Maintenance* dari evaporator n (1,2,3....9) untuk memproduksi Be 52 : Rp 300.0000.000 / tahun

Biaya *Set-up/Maintenance* dari evaporator n (1,2,3....9) untuk memproduksi Be 53 : Rp 350.0000.000 / tahun

Biaya *Set-up/Maintenance* dari evaporator n (1,2,3....9) untuk memproduksi Be 56/57 : Rp 400.0000.000 / tahun

Biaya *Set-up/Maintenance* dari evaporator n (1,2,3....9) untuk memproduksi Be 58 : Rp 500.0000.000 / tahun

- Biaya *overhead variable* untuk produksi *sodium silicate liquid*

Biaya *overhead variable* untuk produksi *sodium silicate liquid* adalah berupa biaya *inventory*, dan berikut merupakan biaya *inventory* dari masing-masing jenis produk *sodium silicate liquid* :

Biaya *inventory sodium silicate liquid* Be 38 : Rp 500 /Kg/tahun

Biaya *inventory sodium silicate liquid* Be 42 : Rp 600 /Kg/tahun

Biaya *inventory sodium silicate liquid* Be 45 : Rp 850 /Kg/tahun

Biaya *inventory sodium silicate liquid* Be 50 : Rp 1.050 /Kg/tahun

Biaya *inventory sodium silicate liquid* Be 51 : Rp 1.150 /Kg/tahun

Biaya *inventory sodium silicate liquid* Be 52 : Rp 1.250 /Kg/tahun

Biaya *inventory sodium silicate liquid* Be 53 : Rp 1.350 /Kg/tahun

Biaya *inventory sodium silicate liquid* Be 56/57 : Rp 1.500 /Kg/tahun

Biaya *inventory sodium silicate liquid* Be 58 : Rp 1.650 /Kg/tahun

untuk total biaya *inventory* tahunan produk *sodium silicate liquid* pada obyek penelitian dihitung sebagaimana perhitungan biaya *inventory* tahunan pada produk *sodium silicate solid*.

4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk menentukan jumlah produksi *sodium silicate* yang optimal. Pengolahan data yang dilakukan antara lain adalah pengembangan model *multi machine-multi product EPQ* dengan menggunakan metodologi *generic algebraic modeling system (GAMS)* yaitu dengan pendekatan *derivative method* (turunan) , kemudian setelah model tersebut dibuat, mode tersebut akan dilakukan uji konveksitas yang kemudian setelah pengujian

dilakukan, model tersebut akan digunakan untuk menentukan jumlah produksi *sodium silicate optimal*.

4.2.1 Pengembangan Model *Single Machine – Single Product EPQ* Dengan Pendekatan *Derivative Method*.

Dalam pengembangan model *multi machine – multi product EPQ* ini , akan dilakukan *derivative* dari fungsi tujuan yaitu berupa *COGM (Cost of Goods Manufacture)* yang detail dari komponen biaya sudah dijelaskan dalam tahap pengumpulan data. Berikut merupakan langkah-langkah *derivative* fungsi tujuan yang berupa *COGM* untuk menentukan nilai Q atau jumlah produksi *sodium silicate* yang optimal.

$$COGM = \frac{CM + CD + CO + I1 - I2}{Q}$$

Sebagai formulasi dasar *COGM* diatas adalah merujuk pada bentuk umum *COGM* yang telah dijelaskan oleh Hansen dan Mowen (2009).

Untuk variable *CM* yang merupakan biaya bahan baku dan variable *CD* yang merupakan biaya tenaga kerja adalah variable yang nilainya relatif konstan selama periode penelitian dan tidak terdapat *breakdown* serta detail terhadap komponen biaya, sedangkan pada variable *CO* yang merupakan biaya *overhead* memiliki *breakdown* berupa biaya *overhead* tetap yang berupa biaya gas, depresiasi , *repair* dan *maintenance* serta biaya *overhaul* untuk produk *sodium silicate solid* sedangkan untuk biaya *sodium silicate liquid* memiliki biaya *overhead* tetap yang berupa biaya depresiasi, *repair* dan *maintenance*, dan biaya *overhaul*. Untuk biaya *overhead* variable dari kedua produk memiliki komponen biaya yang sama yaitu biaya *inventory*, namun besaran dari biaya *inventory* antara kedua produk tersebut berbeda.

Sehingga dari penjelasan diatas, maka formulasi *COGM* dengan adanya *breakdown* pada biaya *overhead* menjadi sebagaimana berikut:

$$COGM = \frac{CM + CD + Cg + Cd + Cr + [Cs \times D/Q] + [Ch \times (1-D/P) \times Q/2] + I1 - I2}{Q}$$

Berikut merupakan formulasi dari *COGM* untuk produk *sodium silicate liquid*

$$COGM = \sum CM_i/T_i + \sum CD_i/T_i + \sum C_{di}/T_i + \sum Cr/T_i + C_s \times T_i + \sum [Ch \times (1-D/P) \times D/2 \times T_i] + \sum I_1/T_i - \sum I_2/T_i$$

Dimana :

<i>COGM</i>	: <i>Cost of Goods Manufacturing</i> (Rp)
CM	: Biaya bahan baku langsung (Rp/tahun)
CD	: Biaya tenaga kerja langsung (Rp/tahun)
Ch	: Biaya simpan 1 tahun (Rp/tahun)
Cg	: Biaya gas 1 tahun (Rp/tahun)
Cd	: Biaya depresiasi 1 tahun (Rp/tahun)
Cr	: Biaya <i>repair dan maintenance</i> (Rp/tahun)
Cs	: Biaya <i>Set-up</i> (Rp/ <i>set-up</i> atau Rp/siklus)
D	: Laju permintaan 1 tahun (Kg/tahun)
P	: Laju produksi 1 tahun (Kg/tahun)
Q	: Jumlah Produksi (Kg)
I1	: Nilai <i>inventory</i> WIP (<i>work in process</i>) awal (Rp)
I2	: Nilai <i>inventory</i> WIP (<i>work in process</i>) akhir (Rp)
Tj	: Jumlah siklus produksi untuk produk j

Pada *derivative method* untuk permasalahan *single machine – single product* pada proses kontinyu ini menggunakan rujukan model *derivative* dari C.Krishnamorti dan S. Panayappan (2012), yang mana model memiliki fungsi tujuan yang khusus.

Berikut merupakan hasil *derivate* fungsi *COGM sodium silicate solid* untuk menentukan nilai Q (jumlah produksi *sodium silicate solid* optimal):

$$COGM = \frac{CM + CD + C_g + C_d + C_r + [C_s \times D/Q] + [Ch \times (1-D/P) \times Q/2] + I_1 - I_2}{Q}$$

$$\partial COGM / \partial Q = 0$$

$$CM/Q + CD/Q + C_g/Q + C_d/Q + C_r/Q + [C_s \times D/Q]/Q + [Ch \times (1-D/P) \times Q/2] /Q + I_1/Q - I_2/Q = 0$$

$$- CM/Q^2 - CD/Q^2 - C_g/Q^2 - C_d/Q^2 - C_r/Q^2 + [2C_s \times D]/Q^3 - I_1/Q^2 + I_2/Q^2 = 0$$

$$[2C_s \times D]/Q^3 = [CM + CD + C_g + C_d + C_r + I_1 - I_2]/Q^2$$

$$[CM + CD + Cg + Cd + Cr + I1 - I2] \times Q^3 = [2Cs \times D] \times Q^2$$

$$Q' = [2Cs \times D] / [CM + CD + Cg + Cd + Cr + I1 - I2]$$

4.2.2 Pengembangan Model *Multi Machine – Multi Product EPQ* Dengan Pendekatan *Derivative Method*.

Dari pengembangan model EPQ untuk permasalahan *single machine – single product* untuk produk *sodium silicate solid* diatas kemudian selanjutnya dengan pendekatan yang sama akan dilakukan pengembangan model EPQ untuk penentuan jumlah produksi optimal *sodium silicate liquid* ,perbedaan karakteristik antara produksi *sodium silicate solid* dan *sodium silicate liquid* menjadikan dalam pengembangan model terdapat perbedaan dari segi fungsi tujuan yang mana dari produk *sodium silicate liquid* fungsi tujuan yang berupa COGM memiliki formulasi pembagi berupa siklus produksi hal tersebut dikarenakan karakteristik dari produk yang *multi product* menyebabkan fungsi biaya ditentukan oleh siklus produksi , sehingga dalam pengembangan model *multi machine – multi product* EPQ yang dicari terlebih dahulu adalah membuat model untuk mencari siklus produksi optimal, kemudian dari siklus optimal tersebut dapat dicari kuantitas produksi optimal dengan membagi jumlah *demand* tiap jenis produk terhadap siklus optimal yang telah dihitung dari pengembangan model *multi machine – multi product* tersebut.

Sedangkan untuk penentuan kuantitas optimal *produksi sodium silicate liquid* yang merupakan produksi dengan menggunakan beberapa fasilitas produksi untuk memproduksi beberapa jenis produk atau *multi machine- multi product* akan digunakan pendekatan *optimal cycle time* dalam penentuan kuantitas produksi optimal.

Pada *derivative method* untuk permasalahan *Multi machine – Multi product* pada proses batch ini untuk karakteristik dari batch proses ini formulasi model digunakan rujukan jurnal yang ditulis oleh Muhammad al salamah (2015) dari model tersebut kemudian dari fungsi tujuan yang khusus pada model untuk mengembangkan model tersebut digunakan rujukan jurnal yang ditulis oleh lama musawwi haidar (2015) yang mana selain fungsi tujuan yang khusus model juga

mencakup aspek *multi product* , sedangkan untuk formulasi fundamental dari model *multi product* yang dibuat adalah merujuk pada buku yang ditulis oleh terseine (1982) dan jurnal yang ditulis oleh chiu (2014) dan terkait dengan *framework* untuk integrasi pengembangan model *multi machine – multi product* dari EPQ model digunakan *framework* sebagaimana pada jurnal yang ditulis oleh amir hossein nobil (2016) yang mana pengembangan model pada obyek penelitian memiliki karakteristik yang sama namun berbeda dari segi constrain dan fungsi tujuan..

Berikut merupakan hasil *derivate* fungsi *COGM sodium silicate liquid* untuk menentukan Siklus waktu yang optimal (T_i):

$$COGM = CM/T_j + CD/T_j + \sum C_{d_j}/T_j + \sum C_{r_j}/T_j + C_{s_{ij}}/T_j + \sum [Ch_j/T_j \times (1-D_j/P_j) \times D/2 \times T_j] + \sum I1/T_j - \sum I2/T_j$$

$$\partial COGM / \partial T_j = 0$$

$$CM/T_j + CD/T_j + \sum C_{d_j}/T_j + \sum C_{r_j}/T_j + \sum C_{s_{ij}}/T_j + \sum [Ch_j \times (1-D_j/P_j) \times D_j /2] \times T_j + \sum I1/T_j - \sum I2/T_j = 0$$

$$- CM/T_j^2 - CD/T_j^2 - \sum C_{d_j}/T_j^2 - \sum C_{s_{ij}}/T_j^2 + \sum [Ch_j \times (1-D_j/P_j) \times D_j /2] - \sum I1/T_j^2 + \sum I2/T_j^2 = 0$$

$$\sum [Ch_j \times (1-D_j/P_j) \times D_j /2] = CM/T_j^2 + CD/T_j^2 + \sum C_{d_j}/T_j^2 + \sum C_{s_{ij}}/T_j^2 + \sum I1/T_j^2 - \sum I2/T_j^2$$

$$\sum [Ch_j \times (1-D_j/P_j) \times D_j /2] = \frac{[CM + CD + \sum C_{d_j} + \sum C_{s_{ij}} + \sum I1 - \sum I2]}{T_j^2}$$

$$T_j^2 = \frac{[CM + CD + \sum C_{d_j} + \sum C_{s_{ij}} + \sum I1 - \sum I2]}{\sum [Ch_j \times (1-D_j/P_j) \times D_j /2]}$$

$$T_j = \sqrt{\frac{[CM_j + CD_j + \sum C_{d_j} + \sum C_{s_{ij}} + \sum I1 - \sum I2]}{\sum [Ch_j \times (1-D_j/P_j) \times D_j /2]}}$$

4.2.3 Uji Konveksitas Model

Berikut merupakan uji konveksitas dari model penentuan kuantitas optimal untuk produk *sodium silicate solid* :

Uji konveksitas model dilakukan dengan melakukan turunan kedua terhadap fungsi Q' dan jika hasil turunan kedua terhadap Q' lebih dari atau sama dengan 0 sehingga dapat secara matematis dapat dituliskan sebagai $\frac{\partial Q'}{\partial Q''} \geq 0$, jika kondisi diatas terpenuhi maka model tersebut memenuhi uji konveksitas model. Dan berikut merupakan uji konveksitas yang berupa hasil turunan kedua dari fungsi Q' = $\frac{\partial Q'}{\partial Q''} \geq 0$

$$Q' = [2C_s \times D] / [CM + CD + C_g + C_d + C_r + I1 - I2]$$

Dikarenakan pada fungsi tujuan sudah tidak mengandung variable Q' maka turunan kedua terhadap Q' = 0 dari hasil tersebut maka fungsi tujuan Q' atau model dari penetapan kuantitas produksi optimal untuk *sodium silicate solid* sudah memenuhi uji konveksitas.

Sebagaimana uji konveksitas model pada model matematis penentuan jumlah produksi optimal *sodium silicate solid*, hasil konveksitas pada *sodium silicate liquid* menunjukkan bahwa model memenuhi uji konveksitas.

Berikut merupakan hasil uji konveksitas untuk model penentuan waktu siklus optimal yang digunakan untuk menetapkan kuantitas produksi optimal *sodium silicate liquid*.

$$T_j = \sqrt{\frac{[CM_j + CD_j + \sum C_d_j + \sum C_{s_{ij}} + \sum I1 - \sum I2]}{\sum [C_h_j \times (1 - D_j/P_j) \times D_j/2]}}$$

$$\frac{\partial T_j}{\partial T_j'} \geq 0$$

Dikarenakan pada fungsi tujuan sudah tidak mengandung variable T_j maka turunan kedua terhadap T_j yaitu T_j' adalah sama dengan nol, dari hasil tersebut maka fungsi tujuan T_j' atau model dari penetapan kuantitas produksi optimal untuk *sodium silicate solid* sudah memenuhi uji konveksitas.

4.2.4 Penentuan Jumlah Produksi *Sodium silicate* Optimal

Dari hasil uji konveksitas didapat bahwa pengembangan *model multi machine – multi product* dengan menggunakan *derivative method* terhadap fungsi tujuan *COGM* memenuhi uji konveksitas, maka model tersebut dapat digunakan

untuk penentuan kuantitas produksi optimal pada produksi *sodium silicate solid* dan *sodium silicate liquid* dengan keterbatasan *inventory*.

Penentuan jumlah produksi optimal *sodium silicate solid* (cullet) beserta perhitungan nilai *COGM* untuk kuantitas produksi optimal pada periode 2016 dengan menggunakan formulasi pengembangan model diatas adalah sebagaimana tabel berikut:

Tabel 4.2 Tabel hasil perhitungan jumlah produksi optimal untuk *sodium silicate solid* (Cullet) beserta nilai *COGM* untuk kuantitas produksi optimal

Periode 2016	Demand Sodium silicate solid (Cullet)	Q*	COGM	Stock Cullet bahan jadi
Januari	650.000	977.184	2.602	327.184
Februari	650.000	977.184	2.473	654.368
Maret	650.000		2.390	4.368
April	650.000	977.184	2.602	331.552
Mei	650.000	977.184	2.474	658.736
Juni	650.000		2.391	8.736
Juli	650.000	977.184	2.603	335.920
Agustus	650.000	977.184	2.474	663.104
September	650.000		2.391	13.104
Oktober	650.000	977.184	2.603	340.288
November	650.000	977.184	2.475	667.472
Desember	650.000		2.392	17.472
Σ / Average	7.800.000	7.817.472	2.489	335.192

Adapun detail perhitungan kuantitas produksi optimal dari *sodium silicate solid* beserta nilai *COGM* adalah terlampir.

Dari perhitungan diatas maka alternatif keputusan untuk jumlah produksi optimal adalah dilakukan sebanyak 4 siklus dalam 1 tahun atau jumlah hari pada tiap siklusnya adalah adalah $365 \text{ hari} / 4 \text{ Siklus} = 91,25 \text{ hari} \approx 92 \text{ hari}$, dengan detail alokasi waktu optimal untuk produksi adalah 60 hari serta 32 hari untuk alokasi waktu kegiatan *maintenance*. Sehingga solusi untuk waktu produksi *sodium silicate solid* secara detail dapat diberikan sebagai berikut:

Siklus Produksi sodium silicate solid I

1. Produksi dimulai pada tanggal 1 Januari s.d 31 Januari 2016 (31 hari) dengan kuantitas produksi sebanyak 977.184 Kg
2. Dengan jumlah *demand* pada bulan Januari 2016 sebanyak 650.000 Kg maka stock *sodium silicate solid* pada tanggal 31 januari 2016 adalah sebanyak 327.184 Kg

3. Dikarenakan di bulan februari 2016 jumlah *demand sodium silicate solid* masih memiliki jumlah kebutuhan sebesar 650.000 Kg maka stock di tanggal 31 januari 2016 tersebut masih belum dapat mengcover seluruh kebutuhan dibulan februari oleh karena itu pada bulan februari yaitu 01 februari s.d 29 februari 2016 (29 hari) masih terdapat produksi dengan kuantitas produksi sebanyak 977.184 Kg sehingga total hari produksi adalah 31 hari + 29 hari =60 hari , dan dengan produksi pada bulan februari tersebut maka stock di tanggal 29 februari adalah tersedia sebanyak 654.368 Kg, dikarenakan jumlah stock diakhir februari 2016 tersebut lebih dari jumlah *demand* pada bulan maret 2016 yaitu 650.000 Kg maka kegiatan produksi direkomendasikan untuk berhenti dan melakukan kegiatan *maintenance* dalam hal ini adalah *preventive maintenance* yang dilakukan selama 32 hari karena stock tersebut akan cukup sampai dengan tanggal 01-April-2016 dengan sisa stock 4.368 Kg, dalam hal ini model yang dibuat tidak memulai produksi ketika level stock diangka 0 sehinggat stock tersebut dijadikan sebagai *safety stock dalam model persediaan* pada kondisi optimal.

Siklus Produksi sodium silicate solid II

1. Pada siklus II produksi *sodium silicate* dimulai pada tanggal 2 April s.d 30 April 2016 (29 hari) dengan kuantitas produksi sebanyak 977.184 Kg
2. Dengan jumlah *demand* pada bulan mei 2016 sebanyak 650.000 Kg maka stock *sodium silicate solid* pada tanggal 30 April 2016 adalah sebanyak 327.184 Kg + 4.368 Kg (Safety stock) = 331.552 Kg
3. Dikarenakan di bulan mei 2016 jumlah *demand sodium silicate solid* masih memiliki jumlah kebutuhan sebesar 650.000 Kg maka stock di tanggal 30 april 2016 tersebut masih belum dapat mengcover seluruh kebutuhan dibulan mei, oleh karena itu pada bulan mei yaitu 01 mei s.d 31 mei 2016 (31 hari) masih terdapat produksi dengan kuantitas produksi sebanyak 977.184 Kg sehingga total hari produksi adalah 31 hari + 29 hari =60 hari , dan dengan produksi pada bulan mei tersebut maka stock di tanggal 31 mei adalah tersedia sebanyak 658.736 Kg, dikarenakan jumlah stock diakhir mei 2016 tersebut lebih dari jumlah *demand* pada bulan Juni 2016 yaitu 650.000 Kg maka kegiatan produksi direkomendasikan untuk berhenti dan melakukan kegiatan

maintenance dalam hal ini adalah *preventive maintenance* yang dilakukan selama 32 hari karena stock tersebut akan cukup sampai dengan tanggal 2-Juli-2016.

Siklus Produksi sodium silicate solid III

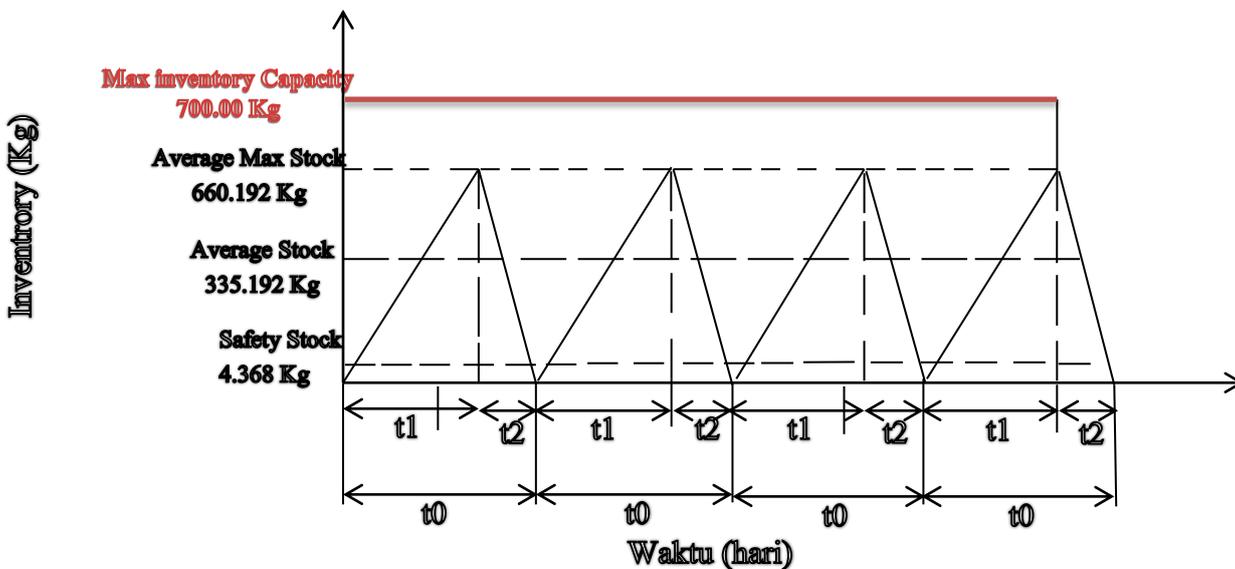
1. Pada siklus III produksi *sodium silicate* dimulai pada tanggal 3 juli s.d 31 juli 2016 (29 hari) dengan kuantitas produksi sebanyak 977.184 Kg
2. Dengan jumlah *demand* pada bulan agustus 2016 sebanyak 650.000 Kg maka stock *sodium silicate solid* pada tanggal 31 juli 2016 adalah sebanyak 331.552 Kg + 4.368 Kg (Safety stock) = 335.920 Kg
3. Dikarenakan di bulan agustus 2016 jumlah *demand sodium silicate solid* masih memiliki jumlah kebutuhan sebesar 650.000 Kg maka stock di tanggal 31 juli 2016 tersebut masih belum dapat mengcover seluruh kebutuhan dibulan agustus, oleh karena itu pada bulan agustus yaitu 01 agustus s.d 31 agustus 2016 (31 hari) masih terdapat produksi dengan kuantitas produksi sebanyak 977.184 Kg sehingga total hari produksi adalah 31 hari + 29 hari =60 hari , dan dengan produksi pada bulan agustus tersebut maka stock di tanggal 31 agustus adalah tersedia sebanyak 663.104 Kg, dikarenakan jumlah stock diakhir agustus 2016 tersebut lebih dari jumlah *demand* pada bulan September 2016 yaitu 650.000 Kg maka kegiatan produksi direkomendasikan untuk berhenti dan melakukan kegiatan *maintenance* dalam hal ini adalah *preventive maintenance* yang dilakukan selama 32 hari karena stock tersebut akan cukup sampai dengan tanggal 02-oktober-2016.

Siklus Produksi sodium silicate solid IV

1. Pada siklus IV produksi *sodium silicate* dimulai pada tanggal 2 oktober s.d 30 oktober 2016 (29 hari) dengan kuantitas produksi sebanyak 977.184 Kg
2. Dengan jumlah *demand* pada bulan nopember 2016 sebanyak 650.000 Kg maka stock *sodium silicate solid* pada tanggal 30 oktober 2016 adalah sebanyak 335.920 Kg + 4.368 Kg (Safety stock) = 340.228 Kg
3. Dikarenakan di bulan nopember 2016 jumlah *demand sodium silicate solid* masih memiliki jumlah kebutuhan sebesar 650.000 Kg maka stock di tanggal 30 nopember 2016 tersebut masih belum dapat mengcover seluruh kebutuhan dibulan nopember oleh karena itu pada bulan nopember yaitu 03 nopember

s.d 2 desember 2016 (31 hari) masih terdapat produksi dengan kuantitas produksi sebanyak 977.184 Kg sehingga total hari produksi adalah 31 hari + 29 hari =60 hari , dan dengan produksi pada bulan nopember tersebut maka stock di tanggal 2 desember adalah tersedia sebanyak 667.472 Kg, dikarenakan jumlah stock diakhir agustus 2016 tersebut lebih dari jumlah *demand* pada bulan desember 2016 yaitu 650.000 Kg maka kegiatan produksi direkomendasikan untuk berhenti dan melakukan kegiatan *maintenance* dalam hal ini adalah *preventive maintenance* yang dilakukan selama 32 hari karena stock tersebut akan cukup sampai dengan tanggal 2 -januari-2017.

Dari penjelasan diatas berikut merupakan gambar dari pola persediaan dari hasil optimasi jumlah produksi *sodium silicate solid* yang menjadi gambaran terhadap penjelasan diatas :



Gambar 4.4 Gambar pola persediaan untuk hasil optimasi jumlah produksi *sodium silicate solid*

Keterangan Notasi pada Gambar:

t0 :Lama waktu siklus (hari) = 92 hari

t1: Lama waktu produksi (hari) = 60 hari

t2: Lama waktu Set-up (hari) = 32 hari

Dan berikut merupakan hasil perhitungan jumlah produksi optimal *sodium silicate liquid* beserta perhitungan nilai *COGM* untuk kuantitas produksi optimal pada periode 2016 dengan menggunakan formulasi pengembangan model diatas sebagaimana berikut:

Perhitungan dilakukan terlebih dahulu mencari siklus optimal sebagaimana berikut:

$$T_i = \sqrt{\frac{[CM_j + CD_j + \sum C d_j + \sum C s_{ij} + \sum I1 - \sum I2]}{\sum [Ch_j \times (1-D_j/P_j) \times D_j / 2]}}$$

$$T_i = \sqrt{\frac{16.870+8.000.000+2.000.000.0000+2.375.000.000}{99.462.047}}$$

$$T_i = \sqrt{\frac{4.383.016.870}{99.462.047}}$$

$$T_i = \sqrt{44.07}$$

$$T_i = 6,63 \text{ Siklus} \approx 6 \text{ Siklus}$$

Pembulatan diklus dibulatkan kebawah karena dengan 6 siklus kondisi lebih optimal hal tersebut terjadi karena biaya maintenance lebih efisien jika siklus semakin kecil dengan kondisi 6 siklus tersebut level *inventory* masih *feasible* dengan kapasitas maksimal tanki *sodium silicate liquid* yang memiliki kapasitas maksimal 800 MT.

Dari nilai siklus optimal tersebut maka dapat diartikan bahwa dalam 1 tahun pada tiap-tiap jenis produk *sodium silicate liquid* terdapat 7 kali siklus sehingga jumlah produksi yang optimal dapat dihitung dengan membagi antara jumlah produksi satu tahun tiap produk dengan siklus waktu optimal.

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan jumlah produksi optimal untuk tiap-tiap jenis produksi *sodium silicate liquid* beserta nilai *COGM* untuk jumlah produksi optimal.

Tabel 4.3 Tabel hasil perhitungan jumlah produksi optimal untuk *sodium silicate liquid* beserta nilai *COGM* untuk kuantitas produksi optimal

Periode 2016	Sodium silicate liquid									Jumlah
	Be 38	Be 42	Be 45	Be 50	Be 51	Be 52	Be 53	Be 56/57	Be 58	
Januari	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250
Februari	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250
Maret	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250
April	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250
Mei	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250
Juni	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250
Juli	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250
Agustus	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250
September	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250
Oktober	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250
November	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250
Desember	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250
Dj	67.200	300.000	600.000	240.000	4.200.000	3.000.000	59.400	79.200	277.200	8.823.000
Chj	500	600	850	1.050	1.150	1.250	1.350	1.500	1.650	9.900
Pj	70.000	305.000	625.000	250.000	4.265.000	3.025.000	75.000	85.000	300.000	9.000.000
holding cost	672.000	1.475.410	10.200.000	5.040.000	36.805.393	15.495.868	8.339.760	4.053.176	17.380.440	99.462.047
Siklus optimal	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Q*	11.200	50.000	100.000	40.000	700.000	500.000	9.900	13.200	46.200	1.470.500
CM	1.426	1.584	1.703	1.901	1.940	1.980	2.020	2.138	2.178	
CD	888.889	888.889	888.889	888.889	888.889	888.889	888.889	888.889	888.889	
Cd	20.000.000	80.000.000	160.000.000	40.000.000	880.000.000	720.000.000	20.000.000	20.000.000	60.000.000	
Cs	75.000.000	125.000.000	150.000.000	225.000.000	250.000.000	300.000.000	350.000.000	400.000.000	500.000.000	
Cr	900.000	900.000	900.000	900.000	900.000	900.000	900.000	900.000	900.000	
COGM Optimal	1.713	1.822	1.949	2.068	2.128	2.191	2.458	2.420	2.423	

Adapun detail perhitungan kuantitas produksi optimal dari *sodium silicate liquid* beserta nilai *COGM* tiap periode adalah terlampir.

Sehingga dari perhitungan diatas untuk semua produk dalam 1 tahun produksi (250 hari kerja) memiliki 6 kali siklus produksi hal tersebut dapat diartikan dalam 1 tahun periode 2016 terdapat 6 kali produksi dengan kuantitas produksi pada tiap siklusnya adalah 1.470.000 Kg sehingga terdapat total kuantitas produksi 1 tahun adalah $6 \times 1.470.000 \text{ Kg} = 8.823.000 \text{ Kg}$.

Berikut merupakan tabel produksi dan pergerakan level persediaan dengan kondisi optimal.

Tabel 4.4 Tabel produksi optimal dan level persediaan tiap periode

Periode 2016	Sodium silicate liquid									Demand	Produksi tiap siklus	Level Persediaan tiap periode
	Be 38	Be 42	Be 45	Be 50	Be 51	Be 52	Be 53	Be 56/57	Be 58			
Januari	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.470.500	735.250
Februari	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250		-
Maret	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.470.500	735.250
April	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250		-
Mei	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.470.500	735.250
Juni	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250		-
Juli	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.470.500	735.250
Agustus	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250		-
September	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.470.500	735.250
Oktober	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250		-
November	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.470.500	735.250
Desember	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250		-
Siklus optimal	6	6	6	6	6	6	6	6	6			
Q*	11.200	50.000	100.000	40.000	700.000	500.000	9.900	13.200	46.200			
Σ / Average	67.200	300.000	600.000	240.000	4.200.000	3.000.000	59.400	79.200	277.200	8.823.000	8.823.000	367.625

Dari tabel diatas dapat dijelaskan bahwa pada penentuan kuantitas produksi yang optimal untuk *sodium silicate liquid* didapat kuantitas yang optimal sebesar 1.470.500 Kg ditiap siklusnya, solusi tersebut merupakan solusi yang *feasible* ditinjau dari kapasitas produksi yang memiliki kapasitas 9.000.000 Kg/ tahun. Dari tabel diatas pula maka dapat dijelaskan bahwa tiap kali siklus akan membutuhkan waktu siklus selama 59 hari dengan detail 29 hari untuk produksi dan 30 hari untuk kegiatan *maintenance*,

Solusi untuk waktu produksi *sodium silicate liquid* secara detail dapat diberikan sebagai berikut:

Siklus Produksi sodium silicate liquid I

1. Pada siklus I produksi *sodium silicate liquid* dimulai pada tanggal 1 Januari s.d 29 Januari 2016 (29 hari) dengan kuantitas produksi sebanyak 1.470.500 Kg
2. Dengan jumlah *demand* pada bulan januari 2016 sebanyak 735.250 Kg maka stock *sodium silicate liquid* pada tanggal 30 Januari 2016 adalah sebanyak 735.250 Kg
3. Dikarenakan di bulan februari 2016 jumlah *demand sodium silicate liquid* masih memiliki jumlah kebutuhan sebesar 735.250 Kg maka stock di tanggal 30 januari 2016 terebut sudah dapat mengcover seluruh kebutuhan dibulan februari oleh karena itu kegiatan produksi untuk *sodium silicate liquid* direkomendasikan untuk berhenti dan melakukan kegiatan *maintenance* dalam hal ini adalah *preventive maintenance* yang dilakukan selama 30 hari mulai 31-Januari-2016 sampai dengan 29 februari 2016.

Siklus Produksi sodium silicate liquid II

1. Pada siklus II produksi *sodium silicate liquid* dimulai pada tanggal 1 Maret s.d 29 maret 2016 (29 hari) dengan kuantitas produksi sebanyak 1.470.500 Kg
2. Dengan jumlah *demand* pada bulan maret 2016 sebanyak 735.250 Kg maka stock *sodium silicate liquid* pada tanggal 31 maret 2016 adalah sebanyak 735.250 Kg
3. Dikarenakan di bulan april 2016 jumlah *demand sodium silicate liquid* masih memiliki jumlah kebutuhan sebesar 735.250 Kg maka stock di tanggal 31

maret 2016 tersebut sudah dapat mengcover seluruh kebutuhan dibulan april oleh karena itu kegiatan produksi untuk *sodium silicate liquid* direkomendasikan untuk berhenti dan melakukan kegiatan *maintenance* dalam hal ini adalah *preventive maintenance* yang dilakukan selama 30 hari mulai 01-april-2016 sampai dengan 30 april 2016.

Siklus Produksi sodium silicate liquid III

1. Pada siklus III produksi *sodium silicate liquid* dimulai pada tanggal 1 Mei s.d 29 Mei 2016 (29 hari) dengan kuantitas produksi sebanyak 1.470.500 Kg
2. Dengan jumlah *demand* pada bulan Mei 2016 sebanyak 735.250 Kg maka stock *sodium silicate liquid* pada tanggal 31 mei 2016 adalah sebanyak 735.250 Kg
3. Dikarenakan di bulan juni 2016 jumlah *demand sodium silicate liquid* masih memiliki jumlah kebutuhan sebesar 735.250 Kg maka stock di tanggal 31 mei 2016 tersebut sudah dapat mengcover seluruh kebutuhan dibulan juni oleh karena itu kegiatan produksi untuk *sodium silicate liquid* direkomendasikan untuk berhenti dan melakukan kegiatan *maintenance* dalam hal ini adalah *preventive maintenance* yang dilakukan selama 30 hari mulai 01-juni-2016 sampai dengan 30 juni 2016.

Siklus Produksi sodium silicate liquid IV

1. Pada siklus IV produksi *sodium silicate liquid* dimulai pada tanggal 1 juli s.d 29 juli 2016 (29 hari) dengan kuantitas produksi sebanyak 1.470.500 Kg
2. Dengan jumlah *demand* pada bulan juli 2016 sebanyak 735.250 Kg maka stock *sodium silicate liquid* pada tanggal 31 juli 2016 adalah sebanyak 735.250 Kg
3. Dikarenakan di bulan agustus 2016 jumlah *demand sodium silicate liquid* masih memiliki jumlah kebutuhan sebesar 735.250 Kg maka stock di tanggal 31 juli 2016 tersebut sudah dapat mengcover seluruh kebutuhan dibulan agustus oleh karena itu kegiatan produksi untuk *sodium silicate liquid* direkomendasikan untuk berhenti dan melakukan kegiatan *maintenance* dalam hal ini adalah *preventive maintenance* yang dilakukan selama 30 hari mulai 01-agustus-2016 sampai dengan 30 agustus 2016.

Siklus Produksi sodium silicate liquid V

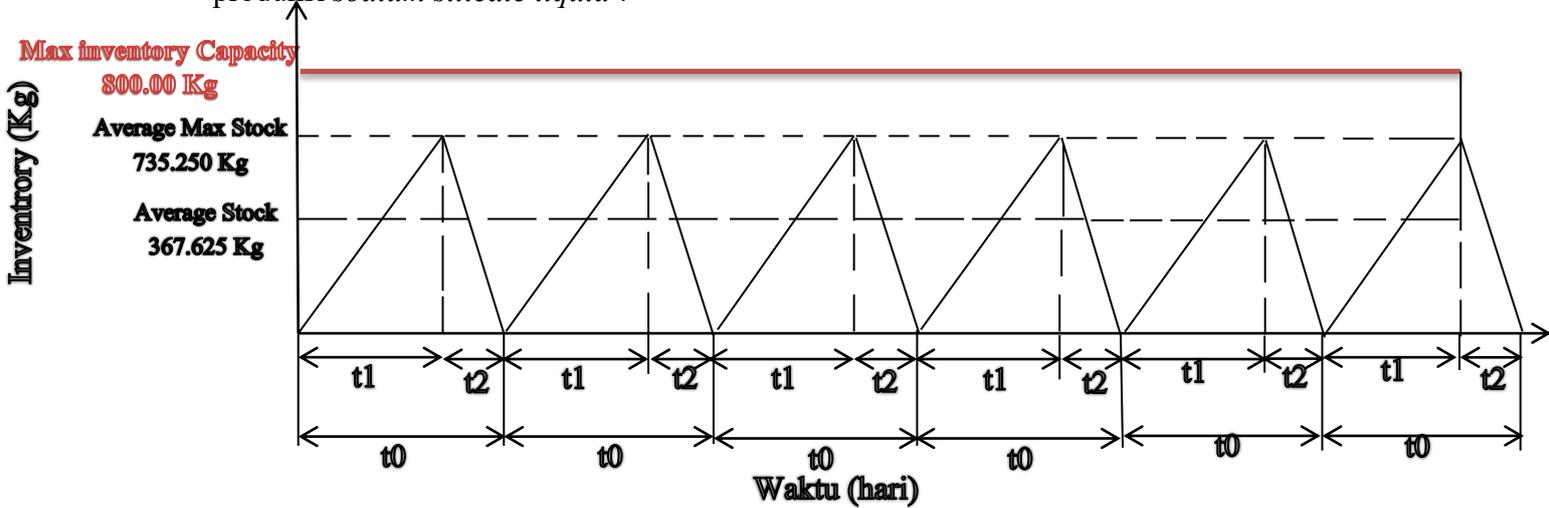
1. Pada siklus V produksi *sodium silicate liquid* dimulai pada tanggal 1 september s.d 29 september 2016 (29 hari) dengan kuantitas produksi sebanyak 1.470.500 Kg
2. Dengan jumlah *demand* pada bulan september 2016 sebanyak 735.250 Kg maka stock *sodium silicate liquid* pada tanggal 30 september 2016 adalah sebanyak 735.250 Kg
3. Dikarenakan di bulan oktober 2016 jumlah *demand sodium silicate liquid* masih memiliki jumlah kebutuhan sebesar 735.250 Kg maka stock di tanggal 30 september 2016 tersebut sudah dapat mengcover seluruh kebutuhan dibulan oktober oleh karena itu kegiatan produksi untuk *sodium silicate liquid* direkomendasikan untuk berhenti dan melakukan kegiatan *maintenance* dalam hal ini adalah *preventive maintenance* yang dilakukan selama 30 hari mulai 01-oktober-2016 sampai dengan 30 oktober 2016.

Siklus Produksi sodium silicate liquid VI

1. Pada siklus VI produksi *sodium silicate liquid* dimulai pada tanggal 1 november s.d 29 november 2016 (29 hari) dengan kuantitas produksi sebanyak 1.470.500 Kg
2. Dengan jumlah *demand* pada bulan november 2016 sebanyak 735.250 Kg maka stock *sodium silicate liquid* pada tanggal 30 november 2016 adalah sebanyak 735.250 Kg
3. Dikarenakan di bulan desember 2016 jumlah *demand sodium silicate liquid* masih memiliki jumlah kebutuhan sebesar 735.250 Kg maka stock di tanggal 30 november 2016 tersebut sudah dapat mengcover seluruh kebutuhan dibulan desember oleh karena itu kegiatan produksi untuk *sodium silicate liquid* direkomendasikan untuk berhenti dan melakukan kegiatan *maintenance* dalam hal ini adalah *preventive maintenance* yang dilakukan selama 30 hari mulai 01-desember-2016 sampai dengan 30 desember 2016.

Berikut merupakan gambar dari pola persediaan dari hasil optimasi jumlah

produksi *sodium silicate liquid* :



Gambar 4.5 Gambar pola persediaan untuk hasil optimasi jumlah produksi *sodium silicate liquid*

4.3 Perbandingan Kuantitas Produksi Optimal dengan Kondisi Produksi *existing*

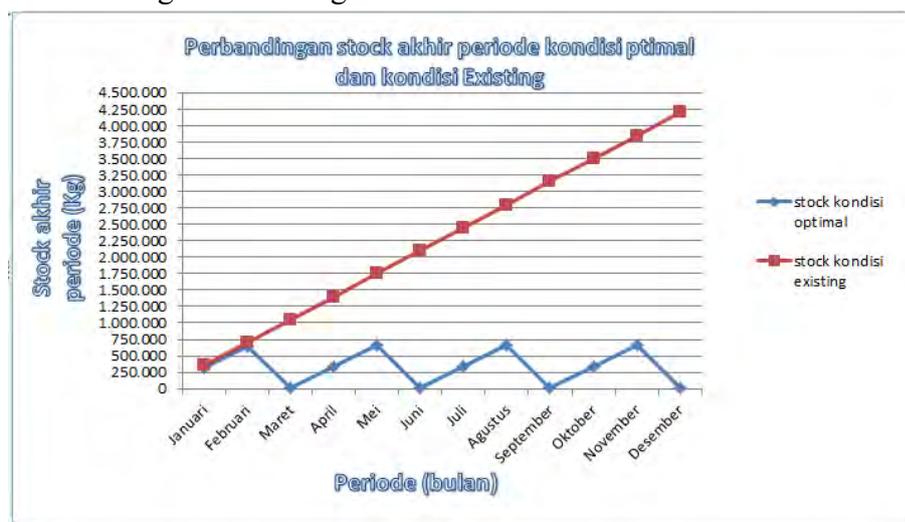
Dari hasil optimasi diatas maka dapat dilakukan perbandingan kuantitas produksi optimal dengan kondisi produksi existing yang mempengaruhi *COGM* dari produk *sodium silicate* dan berikut merupakan tabel hasil perbandingan dari kuantitas produksi optimal dan kuantitas produksi *existing*.

Tabel 4.5 Tabel perbandingan kuantitas produksi optimal dan kuantitas produksi existing produk *sodium silicate solid*

Perbandingan kuantitas produksi optimal dan Kondisi existing									
Kondisi Optimal					Kondisi Existing				
Periode 2016	Demand Sodium silicate solid (Cullet)	Q*	COGM	Stock Cullet bahan jadi	Periode 2016	Demand Sodium silicate solid (Cullet)	Q*	COGM	Stock Cullet bahan jadi
Januari	650.000	977.184	2.602	327.184	Januari	650.000	1.000.000	2.437	350.000
Februari	650.000	977.184	2.473	654.368	Februari	650.000	1.000.000	2.468	700.000
Maret	650.000		2.390	4.368	Maret	650.000	1.000.000	2.490	1.050.000
April	650.000	977.184	2.602	331.552	April	650.000	1.000.000	2.479	1.400.000
Mei	650.000	977.184	2.474	658.736	Mei	650.000	1.000.000	2.485	1.750.000
Juni	650.000		2.391	8.736	Juni	650.000	1.000.000	2.510	2.100.000
Juli	650.000	977.184	2.603	335.920	Juli	650.000	1.000.000	2.520	2.450.000
Agustus	650.000	977.184	2.474	663.104	Agustus	650.000	1.000.000	2.575	2.800.000
September	650.000		2.391	13.104	September	650.000	1.000.000	2.650	3.150.000
Oktober	650.000	977.184	2.603	340.288	Oktober	650.000	1.000.000	2.684	3.500.000
November	650.000	977.184	2.475	667.472	November	650.000	1.000.000	2.754	3.850.000
Desember	650.000		2.392	17.472	Desember	650.000	1.000.000	2.800	4.200.000
Σ / Average	7.800.000	7.817.472	2.489	335.192	Σ / Average	7.800.000	12.000.000	2.571	1.925.000

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa hasil perhitungan kuantitas produksi optimal untuk produk *sodium silicate solid* memberikan hasil *COGM* rata-rata yang lebih baik dan cenderung konsisten dari tiap periodenya yang mana pada kondisi optimal rata-rata dari *COGM sodium silicate solid* pada tahun 2016 adalah Rp 2.489/Kg sedangkan pada kondisi *existing* rata-rata nilai *COGM sodium silicate solid* lebih tinggi yaitu Rp 2.571/Kg , adapun ditinjau dari kecenderungan pergerakan *COGM* pada kondisi optimal tiap triwulan/siklus 3 bulan sekali mengalami kecenderungan nilai yang sama sedangkan pada *kondisi existing* pada pergerakan *COGM* ditiap periode di tahun 2016 mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan persediaan barang jadi dan pada kondisi *existing* akan terjadi *over stock* yang melebihi kapasitas gudang bahan jadi produk sodium solid pada bulan maret 2016 yang memiliki kapasitas gudang barang jadi sebesar 700 MT , dan jika *overstock* sudah terjadi maka permasalahan akan terjadi terkait dengan penempatan *over stock* tersebut yang mana dari hasil perhitungan jika *plant* dijalankan terus menerus dengan kondisi *existing* (kapasitas produksi maksimal) maka pada akhir tahun 2016 *over stock* yang akan terjadi adalah sebesar 4.200 MT.

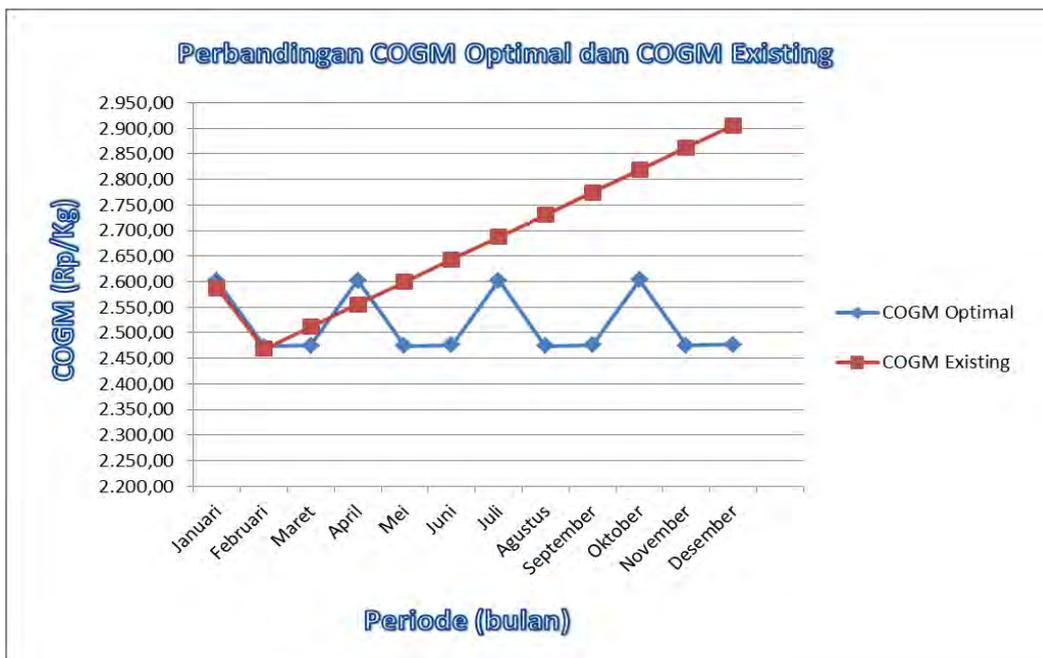
Adapun penggambaran secara grafik untuk persediaan /stock pada kondisi optimal dan existing adalah sebagai berikut:



Gambar 4.6 Gambar grafik perbandingan perediaan akhir periode pada kondisi optimal dan kondisi existing

Dari penggambaran pola persediaan diatas telah diketahui bahwa pola persediaan akhir periode untuk kondisi existing cenderung mengalami kenaikan di akhir periode sedangkan untuk kondisi optimal pola persediaan akhir periode cenderung stabil dan mengikuti siklus tertentu hal tersebut juga terlihat dalam pola pergerakan *COGM* yang mana pada kondisi optimal *COGM* cenderung stabil dan juga mengikuti siklus tertentu ada saat tertentu *COGM* mengalami kenaikan namun ada pada saat tertentu *COGM* kembali mengalami penurunan ,sedangkan pada *COGM* kondisi existing sebagaimana pola persediaan akhir bulan pada kondisi existing, *COGM* mengalami peningkatan di tiap periodenya tanpa ada terjadi penurunan.

Untuk menggambarkan pola *COGM* tersebut antara kondisi optimal dan kondisi existing adalah digambarkan sebagaimana grafik dibawah:



Gambar 4.7 Gambar grafik perbandingan *COGM* Optimal dan *COGM* Existing

Dari gambar diatas terlihat bahwa pola persediaan pada akhir periode untuk *COGM existing* cenderung terus mengalami kenaikan dan hal tersebut bertolak belakang dengan pola persediaan pada *COGM* pada kondisi optimal yang mana pada kondisi optimal pola persediaan cenderung stabil dan terdapat pola yang sama untuk setiap periodenya, dalam hal ini rekomendasi dari solusi optimal

akan lebih mudah dijelaskan dengan mengetahui bahwa besarnya persediaan pada akhir periode merupakan faktor yang cukup signifikan dalam mempengaruhi pola serta kecenderungan dari *COGM*.

Sedangkan pada perbandingan antara kondisi optimal dan kondisi *existing* pada produk *sodium silicate liquid* adalah sebagaimana ditunjukkan pada tabel dibawah :

Tabel 4.5 Tabel perbandingan kuantitas produksi optimal dan kuantitas produksi existing produk *sodium silicate liquid*

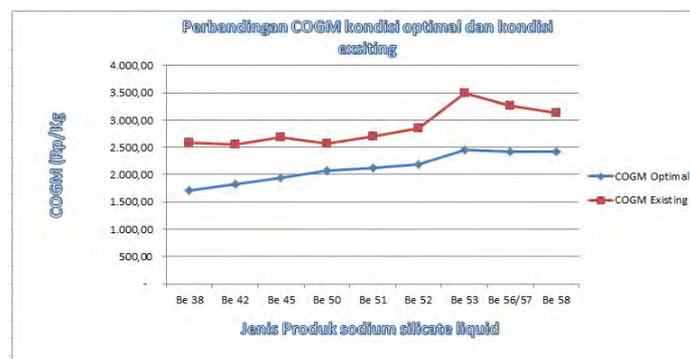
Periode 2016	Sodium silicate liquid Kondisi Optimal									Jumlah	Produksi tiap siklus	Level Persediaan tiap periode
	Be 38	Be 42	Be 45	Be 50	Be 51	Be 52	Be 53	Be 56/57	Be 58			
Januari	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.470.500	735.250
Februari	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250		-
Maret	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.470.500	735.250
April	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250		-
Mei	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.470.500	735.250
Juni	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250		-
Juli	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.470.500	735.250
Agustus	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250		-
September	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.470.500	735.250
Oktober	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250		-
November	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.470.500	735.250
Desember	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250		-
Dj	67.200	300.000	600.000	240.000	4.200.000	3.000.000	59.400	79.200	277.200	8.823.000		
Pj	70.000	305.000	625.000	250.000	4.265.000	3.025.000	75.000	85.000	300.000	9.000.000		
holding cost	672.000	1.475.410	10.200.000	5.040.000	36.805.393	15.495.868	8.339.760	4.053.176	17.380.440	99.462.047		
Siklus optimal	6	6	6	6	6	6	6	6	6			
Q*	11.200	50.000	100.000	40.000	700.000	500.000	9.900	13.200	46.200	1.470.500		
COGM Optimal	1.713	1.822	1.949	2.068	2.128	2.191	2.458	2.420	2.423			
Periode 2016	Sodium silicate liquid Kondisi Existing									Jumlah	Produksi tiap siklus	Level Persediaan tiap periode
	Be 38	Be 42	Be 45	Be 50	Be 51	Be 52	Be 53	Be 56/57	Be 58			
Januari	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	1.080.000	344.750
Februari	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	720.000	329.500
Maret	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	720.000	314.250
April	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	720.000	299.000
Mei	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	720.000	283.750
Juni	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	720.000	268.500
Juli	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	720.000	253.250
Agustus	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	720.000	238.000
September	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	720.000	222.750
Oktober	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	720.000	207.500
November	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	720.000	192.250
Desember	5.600	25.000	50.000	20.000	350.000	250.000	4.950	6.600	23.100	735.250	720.000	177.000
Dj	67.200	300.000	600.000	240.000	4.200.000	3.000.000	59.400	79.200	277.200	8.823.000		
Pj	70.000	305.000	625.000	250.000	4.265.000	3.025.000	75.000	85.000	300.000	9.000.000		
Siklus existing	25	25	25	25	25	25	25	25	25			
Q*	2.800	12.200	25.000	10.000	170.600	121.000	3.000	3.400	12.000	360.000		
COGM Existing	2.581	2.560	2.686	2.572	2.710	2.850	3.493	3.259	3.124			

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa *COGM* dari tiap jenis produk *sodium silicate liquid* untuk kondisi optimal lebih baik dari *COGM* pada kondisi existing yang mana terdapat perbedaan pada variabel keputusan terkait dengan kuantitas produksi optimal.

Pada kondisi optimal penentuan kuantitas produksi didapat dari *demand* yang dibagi dengan siklus produksi optimal yaitu 6 siklus yang didapat dari nilai perhitungan model penentuan silus produksi optimal sedangkan pada kondisi existing penentuan kuantitas produksi didapat dari kapasitas maksimal produksi yang dibagi dengan siklus produksi tertentu yang penetapannya tidak ada pertimbangan dalam penetapannya adapun siklus produksi existing adalah 25 siklus sehingga kuantitas produksinya kecil di tiap siklusnya, sehingga dampak yang terjadi dengan sedikitnya kuantitas produksi ditiap siklus tersebut adalah mahalnya biaya *maintenance* yang nantinya berdampak pada menurunnya *COGM* , karena kuantitas yang kecil disetiap siklus produksi tersebut akan menjadikan biaya per-kg dari produk tersebut tinggi.

Hal lain yang dapat dicermati dari tabel diatas adalah perbedaan tingkat persediaan antara kondisi optimal dan kondisi existing, yang mana pada kondisi existing level persediaan lebih besar jika dibandingkan dengan kondisi optimal namun besarnya tingkat persediaan pada kondisi optimal masih memenuhi aspek keterbatasan kapasitas *inventory* yaitu persediaan max dibawah 800.000 Kg, sedangkan pada kondisi exiting tingkat perediaan lebih sedikit dibanding dengan tingkat persediaan pada kondisi optimal hal ini dikarenakan pada kondisi existing kuantitas produksi pada tiap siklus relative kecil sehingga berdampak pada nilai persediaan yang juga relative lebih kecil.

Berikut merupakan grafik perbandingan *COGM* tiap jenis produk *sodium silicate liquid* antara kondisi optimal dan kondisi existing sebagaimana telah dijelaskan diatas.



Gambar 4.8 Gambar grafik perbandingan *COGM* Optimal dan *COGM* Existing produk *sodium silicate liquid*

BAB 5

ANALISIS DAN INTREPRETASI HASIL

Pada bab ini akan dilakukan analisis serta interpretasi terhadap hasil yang diperoleh dari pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Proses analisis dan interpretasi yang akan dilakukan yaitu analisis dan interpretasi solusi optimal.

5.1 Analisis dan Interpretasi Solusi Optimal

Pada pembahasan sebelumnya telah dilakukan perbandingan antara solusi optimal yang sudah didapatkan dengan kondisi existing. Dan telah didapatkan hasil bahwa solusi optimal memiliki hasil yang lebih baik dibanding dengan kondisi existing hal tersebut ditinjau dari nilai *COGM* pada solusi optimal yang lebih rendah dibandingkan dengan *COGM* pada kondisi existing.

Secara uji konveksitas formulasi dalam penentuan kuantitas produksi optimal dan siklus optimal sudah memenuhi uji konveksitas artinya formulasi model tersebut dapat menghasilkan solusi yang optimal.

Terkait dengan hal tersebut akan dilakukan analisis lebih lanjut terkait dengan keoptimalan solusi tersebut dalam hal ini akan diberikan beberapa *numerical trial /analysis* untuk solusi-solusi lain diluar solusi optimal sebagai bentuk pembuktian apakah solusi yang didapat betul merupakan solusi optimal.

Pada solusi optimal *sodium silicate solid* telah didapat bahwa solusi optimal untuk kuantitas produksi adalah sebesar 977.184 Kg/bulan dalam hal ini kapasitas maksimal produksi *sodium silicate solid* adalah 1.000.000 Kg/ bulan, dari kondisi existing perusahaan berjalan dengan kapasitas maksimal tersebut secara kontinyu yang berdampak pada meningkatnya jumlah persediaan *sodium silicate solid* pada tiap bulannya, dan dengan kondisi tersebut maka sudah terbukti bahwa kondisi existing tidak lebih baik dari kondisi optimal. Untuk menguji seberapa optimal solusi yang didapat dari formulasi tersebut maka dengan kuantitas produksi maksimal *sodium silicate solid* akan dilakukan *numerical trial* dengan kondisi siklus produksi sama dengan kondisi pada solusi optimal dan

berikut merupakan tabel hasil *numerical trial* untuk kapasitas produksi maksimal dengan siklus produksi sebagaimana pada kondisi optimal.

Tabel 5.1 Tabel hasil perhitungan *COGM* dan stock *sodium silicate solid* untuk kapasitas maksimal dengan siklus produksi optimal untuk *sodium silicate solid*

Periode 2016	<i>Demand Sodium silicate</i>	Q*	COGM	Stock Cullet bahan jadi
Januari	650.000	1.000.000	2.587	350.000
Februari	650.000	1.000.000	2.468	700.000
Maret	650.000		2.470	50.000
April	650.000	1.000.000	2.593	400.000
Mei	650.000	1.000.000	2.475	750.000
Juni	650.000		2.477	100.000
Juli	650.000	1.000.000	2.600	450.000
Agustus	650.000	1.000.000	2.481	800.000
September	650.000		2.483	150.000
Oktober	650.000	1.000.000	2.606	500.000
November	650.000	1.000.000	2.487	850.000
Desember	650.000		2.489	200.000
Σ / Average	7.800.000	8.000.000	2.518	441.667

Dari perhitungan pada tabel diatas dapat dilihat bahwa untuk kuantitas produksi maksimal dengan siklus produksi optimal tersebut memiliki nilai *COGM* yang lebih besar dari nilai *COGM* pada solusi optimal yang hanya memiliki nilai *COGM* sebesar RP 2.489 Kg dan solusi kapasitas produksi maksimal dengan siklus produksi optimal tersebut tidak *feasible* karena pada bulan mei, agustus, dan november level persediaan melebihi dari kapasitas maksimum gudang yaitu 700.000 Kg.

Adapun jika kuantitas produksi ditetapkan lebih rendah dari kuantitas produksi optimal dalam hal ini kuantitas produksi ditentukan berdasarkan sama dengan *demand* maka akan menghasilkan level persediaan 0 ditiap periodenya hal tersebut dikarenakan jumlah *demand* dan produksi sama ditiap periodenya untuk hal ini akan lebih murah pada biaya *inventory* namun akan lebih mahal pada biaya *maintenance* , sehingga hal tersebut menjadikan nilai *COGM* untuk kuantitas produksi yang sama dengan jumlah demand atau lebih kecil dari demand akan lebih besar dari nilai *COGM* kondisi produksi optimal adapun *COGM* dan level

persediaan dari untuk kuantitas produksi yang sama dengan jumlah *demand* adalah sebagaimana tabel dibawah :

Tabel 5.2 Tabel nilai *COGM* dan stock *sodium silicate solid* untuk kapasitas produksi yang sama dengan jumlah *demand sodium silicate solid*

Periode 2016	<i>Demand Sodium silicate solid (Cullet)</i>	Q*	COGM Existing	Stock Cullet bahan jadi
Januari	650.000	650.000	2.966	-
Februari	650.000	650.000	2.581	-
Maret	650.000	650.000	2.581	-
April	650.000	650.000	2.581	-
Mei	650.000	650.000	2.581	-
Juni	650.000	650.000	2.581	-
Juli	650.000	650.000	2.581	-
Agustus	650.000	650.000	2.581	-
September	650.000	650.000	2.581	-
Oktober	650.000	650.000	2.581	-
November	650.000	650.000	2.581	-
Desember	650.000	650.000	2.581	-
Σ / Average	7.800.000	7.800.000	2.614	-

Sebagaimana yang telah diberikan penjelasan sebelumnya bahwa dengan kuantitas produksi yang lebih rendah dari kuantitas produksi optimal akan menaikkan nilai *COGM*, hal tersebut ditunjukkan oleh tabel diatas yang mana dengan kuantitas produksi yang sama dengan *demand* atau dibawah nilai kuantitas produksi optimal nilai *COGM* lebih tinggi dengan rata-rata nilai *COGM* untuk kondisi tersebut adalah sebesar Rp 2.620 /Kg yang mana *COGM* pada kondisi optimal hanya Rp 2.518 /Kg.

Berikut merupakan tabel dan grafik yang menggambarkan hubungan *COGM* dengan kuantitas produksi tahunan dengan batas *numeric trial* adalah kuantitas produksi minimal yang mengacu pada *demand* serta untuk kuantitas produksi maksimal adalah mengacu pada kapasitas produksi maksimal.

Tabel 5.3 Tabel hubungan antara kuantitas produksi 1 tahun dan nilai average *COGM* serta average stock

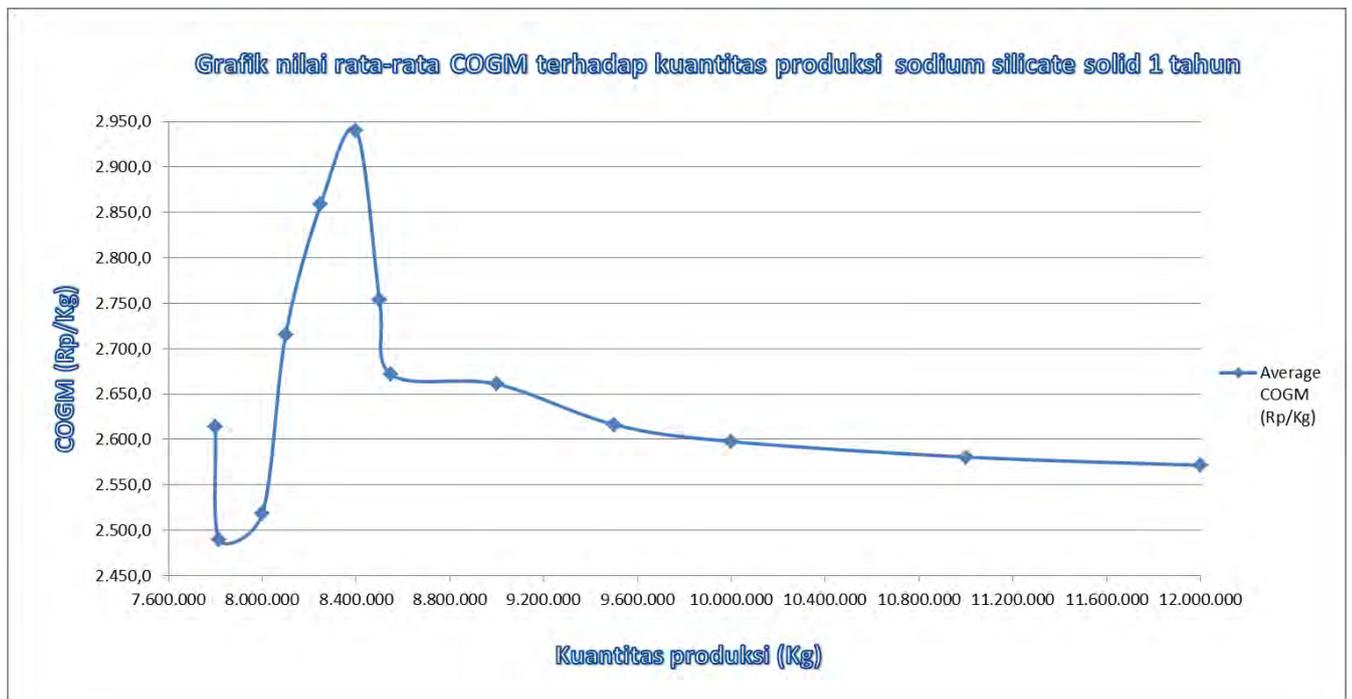
Kuantitas Produksi 1 tahun (Kg)	Average COGM (Rp/Kg)	Average Stock (Kg)
7.800.000	2.614	-
7.817.472	2.489	335.192
8.000.000	2.518	441.667
8.100.000	2.715	500.000
8.250.000	2.859	337.500
8.400.000	2.940	325.000
8.500.000	2.754	450.000
8.550.000	2.671	525.000
9.000.000	2.661	775.000
9.500.000	2.616	700.926
10.000.000	2.598	867.593
11.000.000	2.581	1.275.000
12.000.000	2.571	1.663.889

Dari tabel diatas didapat bahwa pada kuantitas produksi tahunan sebanyak 7.817.472 Kg merupakan kuantitas produksi optimal yang meminimalkan *COGM*. Sedangkan kuantitas produksi diatas nilai kuantitas produksi optimal tersebut mulai menaikkan nilai *COGM*, dan pada titik kuantitas produksi tahunan 9.000.000 Kg nilai rata-rata *COGM* mulai memiliki kecenderungan turun kembali namun sampai pada kapasitas produksi maksimal sebanyak 12.000.000 Kg penurunan *COGM* tidak lebih rendah dari *COGM* pada kuantitas produksi optimal. Hal tersebut sudah menjadi bukti bahwa kuantitas produksi tahunan *sodium silicate* tersebut yakni sebesar 7.817.472 Kg merupakan solusi yang optimal.

Pada tabel diatas pula terdapat *highlight* merah pada 5 baris terakhir mulai dari kuantitas produksi tahunan 9.000.000 Kg sampai dengan kuantitas produksi pada kapasitas maksimal 12.000.000 Kg hal tersebut menjadi tanda bahwa dengan kuantitas produksi tahunan antara 9.000.000 Kg sampai dengan 12.000.000 Kg menjadikan rata-rata stock *sodium silicate solid* melebihi dari kapasitas *inventory* pada *sodium silicate solid* yang memiliki kapasitas 700.000 Kg, dapat diartikan bahwa solusi kuantitas produksi antara 9.000.000 Kg sampai

dengan 12.000.000 Kg atau kapasitas produksi maksimal tidak *feasible* dikarenakan tidak memenuhi constrain keterbatasan *inventory*.

Adapun dari penggambaran dan penjabaran dari tabel diatas diberikan detail grafik sebagai visualisasi dari tabel dan penjabaran diatas sebagaimana berikut:



Gambar 5.1 Grafik nilai rata-rata *COGM* terhadap kuantitas produksi *sodium silicate solid* tahunan

Pada produk *sodium silicate liquid* yang telah dilakukan pembahasan terkait dengan perbandingan antara solusi optimal dengan kondisi existing telah diketahui bahwa solusi optimal lebih baik dengan kondisi existing dengan ukuran *COGM* pada solusi optimal untuk tiap produk *sodium silicate liquid* lebih rendah disbanding dengan *COGM* pada kondisi existing.

Sebagaimana analisis yang telah dilakukan pada produk *sodium silicate solid*, untuk produk *sodium silicate liquid* juga dilakukan analisis berupa pengujian secara *numerical trial* atau *analysis* terhadap solusi-solusi lain diluar solusi optima untuk memberikan bukti apakah solusi optimal yang didapat merupakan benar adanya solusi optimal dan merupakan solusi yang terbaik.

Adapun jenis *numerical trial/analysis* yang dilakukan untuk menganalisis solusi optimal dari penentuan kuantitas produksi optimal *sodium silicate liquid*, adalah *numerical trial* terhadap nilai siklus produksi dengan kapasitas produksi tahunan sesuai dengan demand tahunan.

Berikut merupakan tabel *numerical analysis* yang memperlihatkan hubungan antara siklus produksi, kuantitas produksi dan *COGM* dengan kapasitas produksi sesuai dengan demand.

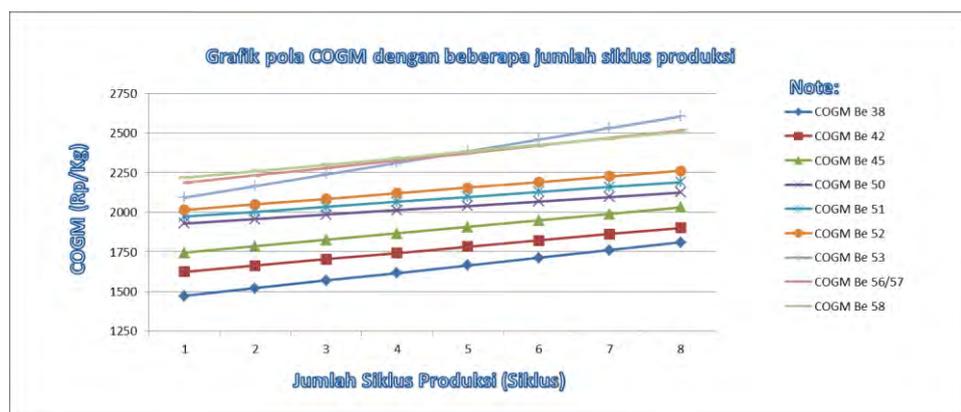
Tabel 5.4 Tabel *numerical analysis*

	<i>Sodium silicate liquid</i>									Jumlah
	Be 38	Be 42	Be 45	Be 50	Be 51	Be 52	Be 53	Be 56/57	Be 58	
Dj	67.200	300.000	600.000	240.000	4.200.000	3.000.000	59.400	79.200	277.200	8.823.000
Siklus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Q*	67.200	300.000	600.000	240.000	4.200.000	3.000.000	59.400	79.200	277.200	8.823.000
COGM Optimal	1.473	1.624	1.744	1.929	1.972	2.015	2.092	2.185	2.219	
Rata-Rata Level Persediaan (Kg)										4.410.500
Siklus	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Q*	33.600	150.000	300.000	120.000	2.100.000	1.500.000	29.700	39.600	138.600	4.411.500
COGM Optimal	1.521	1.663	1.785	1.957	2.003	2.050	2.165	2.232	2.260	
Rata-Rata Level Persediaan (Kg)										3.609.409
Siklus	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Q*	22.400	100.000	200.000	80.000	1.400.000	1.000.000	19.800	26.400	92.400	2.941.000
COGM Optimal	1.569	1.703	1.826	1.984	2.034	2.085	2.238	2.279	2.300	
Rata-Rata Level Persediaan (Kg)										2.573.375
Siklus	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Q*	16.800	75.000	150.000	60.000	1.050.000	750.000	14.850	19.800	69.300	2.205.750
COGM Optimal	1.617	1.743	1.867	2.012	2.065	2.120	2.311	2.326	2.341	
Rata-Rata Level Persediaan (Kg)										1.838.125
Siklus	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Q*	13.440	60.000	120.000	48.000	840.000	600.000	11.880	15.840	55.440	1.764.600
COGM Optimal	1.665	1.782	1.908	2.040	2.097	2.156	2.384	2.373	2.382	
Rata-Rata Level Persediaan (Kg)										1.102.875
Siklus	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Q*	11.200	50.000	100.000	40.000	700.000	500.000	9.900	13.200	46.200	1.470.500
COGM Optimal	1.713	1.822	1.949	2.068	2.128	2.191	2.458	2.420	2.423	
Rata-Rata Level Persediaan (Kg)										367.625
Siklus	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Q*	9.600	42.857	85.714	34.286	600.000	428.571	8.486	11.314	39.600	1.260.429
COGM Optimal	1.761	1.862	1.989	2.096	2.159	2.226	2.532	2.468	2.464	
Rata-Rata Level Persediaan (Kg)										577.698
Siklus	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Q*	8.400	37.500	75.000	30.000	525.000	375.000	7.425	9.900	34.650	1.102.875
COGM Optimal	1.809	1.901	2.030	2.124	2.190	2.261	2.606	2.515	2.505	
Rata-Rata Level Persediaan (Kg)										393.884

COGM semakin rendah, hal terjadi terjadi karena dengan siklus yang sedikit makamaintanance atau set-up yang dilakukan semakin sedikit dan hal tersebut berdampak pada biaya maintenance atau set-up, namun pada jumlah siklus yang sedikit khususnya pada jumlah siklus yang kurang dari enam memiliki rata-rata nilai persediaan yang melebihi kapasitas storage tank / *inventory* untuk produk *sodium silicate liquid* sehingga walaupun nilai *COGM* lebih baik atau dalah hal ini lebih rendah solusi tersebut bukan merupakan solusi yang *feasible* karena variable keputusan menjadikan penyerapan sumber daya berupa kapasitas

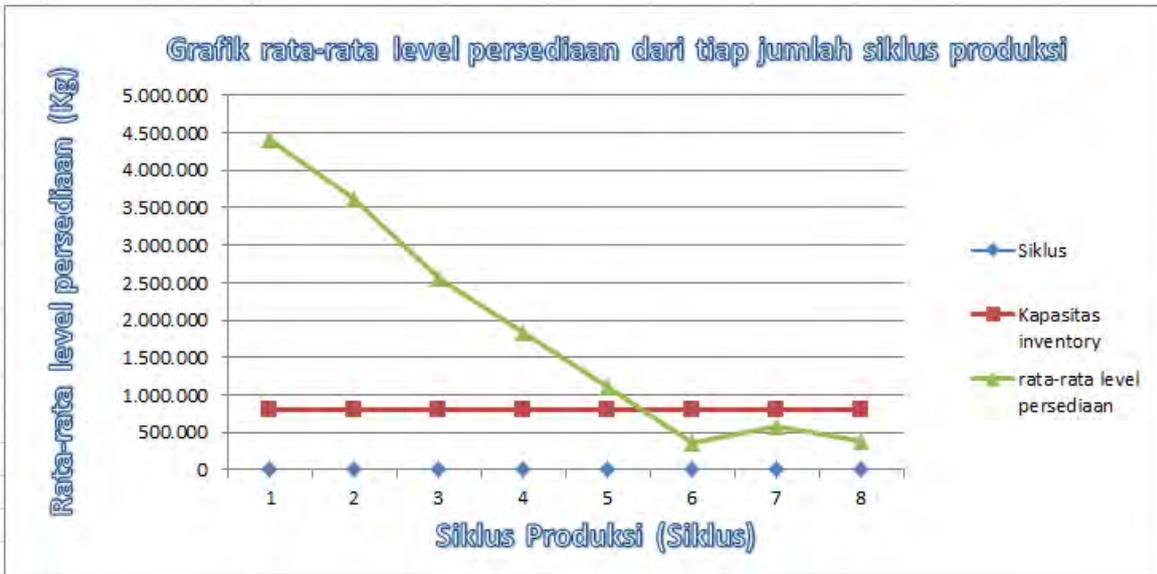
penyimpanan tidak terpenuhi dengan batas kapasitas *strage tank* untuk *sodium silicate liquid* adalah sebesar 800.000 Kg, hal lain yang dapat dintrepretasikan dari perhitungan diatas adalah walaupun *inventory* meningkat dan stock rata-rata tinggi ketika jumlah siklus sedikit *COGM* masih dapat turun hal ini terjadi dikarenakan biaya set-up lebih tinggi tinggi dibandingkan dengan biaya *inventory* sehingga nilai dari *COGM sodium silicate liquid* tiap jenis produk yang merupakan fungsi tujuan dari penelitian ini akan tetap rendah ketika jumlah siklus produksi lebih sedikit walaupun konsekuensi dari keputusan jumlah siklus yang sedikit adalah meningkatkan nilai *inventory* rata-rata , namun dalam konsep perhitungan optimasi tetap mempertimbangkan *constrain* dalam hal ini adalah *constrain* kapasitas *inventory* untuk mendapatkan solusi yang optimal.

Berikut merupakan grafik untuk kondisi sebagaimana telah dijelaskan diatas.



Gambar 5.2 Grafik nilai rata-rata *COGM* terhadap siklus produksi *sodium silicate liquid*

Dari grafik dapat divisualisasikan terkait dengan penjelasan, penjabaran serta intrepretasi dari tabel *numerical analysis* terkait hubungan antara jumlah siklus produksi di tiap jenis produk *sodium silicate liquid* dengan *COGM* yang telah dijelaskan sebelumnya dengan suatu intrepretasi penting bahwa apabila jumlah siklus produksi semakin banyak maka *COGM* memiliki kecenderungan naik. Dan berikut merupakan visualisai berupa grafik hubungan antara rata-rata level persediaan dengan jumlah siklus produksi sebagaimana telah dijelaskan pada intrepretasi tabel *numerical analysis*.



Gambar 5.3 Grafik nilai rata-rata level persediaan terhadap siklus produksi *sodium silicate liquid*

Periode 2015	DATA FORECAST, PENJUALAN, PRODUKSI DAN COGM										
	Sodium Silicate Solid (Cullet)										
	Forecast	Realisasi Penjualan	Ending Stock	Stock Rata-rata	Rencana Produksi	Realisasi Produksi	% Akurasi Forecast	% Akurasi Rencana	TOR	COGM	
Januari	-	-	-	-	-	-	0%	0%	-	-	
Februari	-	-	-	-	-	-	0%	0%	-	-	
Maret	-	-	-	-	-	-	0%	0%	-	-	
April	600.000	575.000	75.000	37.500	800.000	650.000	96%	119%	15,33	2.300	
Mei	600.000	625.000	180.000	127.500	800.000	730.000	96%	109%	4,90	2.350	
Juni	600.000	600.000	335.000	257.500	800.000	755.000	100%	106%	2,33	2.380	
Juli	600.000	550.000	565.000	450.000	800.000	780.000	92%	103%	1,22	2.415	
Agustus	600.000	650.000	710.000	637.500	800.000	795.000	92%	101%	1,02	2.455	
September	600.000	650.000	900.000	805.000	800.000	840.000	92%	95%	0,81	2.495	
Oktober	600.000	550.000	1.205.000	1.052.500	800.000	855.000	92%	93%	0,52	2.535	
November	600.000	550.000	1.550.000	1.377.500	900.000	895.000	92%	101%	0,40	2.575	
Desember	600.000	650.000	1.800.000	1.675.000	900.000	900.000	92%	100%	0,39	2.585	
Periode 2015	DATA FORECAST, PENJUALAN, PRODUKSI DAN COGM										
	Sodium Silicate Liquid										
	Be 38										
Initial Stock	Forecast	Realisasi Penjualan	Ending Stock	Stock Rata-rata	Rencana Produksi	Realisasi Produksi	% Akurasi Forecast	% Akurasi Rencana	TOR	COGM	
Januari	5.600	2.800	2.800	11.200	8.400	8.400	50%	100%	0,33	2.700	
Februari	11.200	2.800	2.800	16.800	14.000	8.400	50%	100%	0,20	2.700	
Maret	16.800	2.800	2.800	22.400	19.600	8.400	50%	100%	0,14	2.700	
April	22.400	2.800	2.800	28.000	25.200	8.400	100%	100%	0,11	2.256	
Mei	28.000	2.800	5.600	30.800	29.400	8.400	50%	100%	0,19	2.306	
Juni	30.800	5.600	5.600	33.600	32.200	8.400	100%	100%	0,17	2.346	
Juli	33.600	5.600	5.600	36.400	35.000	8.400	100%	100%	0,16	2.381	
Agustus	36.400	5.600	5.600	39.200	37.800	8.400	100%	100%	0,15	2.421	
September	39.200	5.600	5.600	42.000	40.600	8.400	100%	100%	0,14	2.461	
Oktober	42.000	5.600	5.600	44.800	43.400	8.400	100%	100%	0,13	2.501	
November	44.800	5.600	5.600	47.600	46.200	8.400	100%	100%	0,12	2.541	
Desember	47.600	5.600	5.600	50.400	49.000	8.400	100%	100%	0,11	2.551	

Periode 2015	DATA FORECAST, PENJUALAN, PRODUKSI DAN COGM										
	Sodium Silicate Liquid										
	Be 42										
	Initial Stock	Forecast	Realisasi Penjualan	Ending Stock	Stock Rata-rata	Rencana Produksi	Realisasi Produksi	% Akurasi Forecast	% Akurasi Rencana	TOR	COGM
Januari	-	25.000	25.000	25.000	12.500	50.000	50.000	100%	100%	2,00	1.930
Februari	25.000	25.000	25.000	50.000	37.500	50.000	50.000	100%	100%	0,67	1.930
Maret	50.000	25.000	25.000	75.000	62.500	50.000	50.000	100%	100%	0,40	1.930
April	75.000	25.000	25.000	75.000	75.000	25.000	25.000	100%	100%	0,33	2.265
Mei	75.000	25.000	25.000	75.000	75.000	25.000	25.000	100%	100%	0,33	2.315
Juni	75.000	25.000	25.000	75.000	75.000	25.000	25.000	100%	100%	0,33	2.345
Juli	75.000	25.000	25.000	75.000	75.000	25.000	25.000	100%	100%	0,33	2.380
Agustus	75.000	25.000	25.000	75.000	75.000	25.000	25.000	100%	100%	0,33	2.420
September	75.000	25.000	25.000	75.000	75.000	25.000	25.000	100%	100%	0,33	2.460
Oktober	75.000	25.000	25.000	75.000	75.000	25.000	25.000	100%	100%	0,33	2.500
November	75.000	25.000	25.000	75.000	75.000	25.000	25.000	100%	100%	0,33	2.540
Desember	75.000	25.000	25.000	75.000	75.000	25.000	25.000	100%	100%	0,33	2.550
Periode 2015	DATA FORECAST, PENJUALAN, PRODUKSI DAN COGM										
	Sodium Silicate Liquid										
	Be 45										
	Initial Stock	Forecast	Realisasi Penjualan	Ending Stock	Stock Rata-rata	Rencana Produksi	Realisasi Produksi	% Akurasi Forecast	% Akurasi Rencana	TOR	COGM
Januari	-	50.000	50.000	50.000	25.000	100.000	100.000	100%	100%	2,00	2.053
Februari	50.000	50.000	50.000	100.000	75.000	100.000	100.000	100%	100%	0,67	2.053
Maret	100.000	50.000	50.000	150.000	125.000	100.000	100.000	100%	100%	0,40	2.053
April	150.000	50.000	50.000	150.000	150.000	50.000	50.000	100%	100%	0,33	2.390
Mei	150.000	50.000	50.000	150.000	150.000	50.000	50.000	100%	100%	0,33	2.440
Juni	150.000	50.000	50.000	150.000	150.000	50.000	50.000	100%	100%	0,33	2.470
Juli	150.000	50.000	50.000	150.000	150.000	50.000	50.000	100%	100%	0,33	2.505
Agustus	150.000	50.000	50.000	150.000	150.000	50.000	50.000	100%	100%	0,33	2.545
September	150.000	50.000	50.000	150.000	150.000	50.000	50.000	100%	100%	0,33	2.585
Oktober	150.000	50.000	50.000	150.000	150.000	50.000	50.000	100%	100%	0,33	2.625
November	150.000	50.000	50.000	150.000	150.000	50.000	50.000	100%	100%	0,33	2.665
Desember	150.000	50.000	50.000	150.000	150.000	50.000	50.000	100%	100%	0,33	2.675

Periode 2015	DATA FORECAST, PENJUALAN, PRODUKSI DAN COGM										
	Sodium Silicate Liquid										
	Be 50										
	Initial Stock	Forecast	Realisasi Penjualan	Ending Stock	Stock Rata-rata	Rencana Produksi	Realisasi Produksi	% Akurasi Forecast	% Akurasi Rencana	TOR	COGM
Januari	-	20.000	10.000	10.000	5.000	20.000	20.000	50%	100%	2,00	2.173
Februari	10.000	20.000	10.000	20.000	15.000	20.000	20.000	50%	100%	0,67	2.173
Maret	20.000	20.000	10.000	30.000	25.000	20.000	20.000	50%	100%	0,40	2.173
April	30.000	20.000	20.000	30.000	30.000	20.000	20.000	100%	100%	0,67	2.265
Mei	30.000	20.000	20.000	30.000	30.000	20.000	20.000	100%	100%	0,67	2.315
Juni	30.000	20.000	20.000	30.000	30.000	20.000	20.000	100%	100%	0,67	2.345
Juli	30.000	20.000	20.000	30.000	30.000	20.000	20.000	100%	100%	0,67	2.380
Agustus	30.000	20.000	20.000	30.000	30.000	20.000	20.000	100%	100%	0,67	2.420
September	30.000	20.000	20.000	30.000	30.000	20.000	20.000	100%	100%	0,67	2.460
Oktober	30.000	20.000	20.000	30.000	30.000	20.000	20.000	100%	100%	0,67	2.500
November	30.000	20.000	20.000	30.000	30.000	20.000	20.000	100%	100%	0,67	2.540
Desember	30.000	20.000	20.000	30.000	30.000	20.000	20.000	100%	100%	0,67	2.550
Periode 2015	DATA FORECAST, PENJUALAN, PRODUKSI DAN COGM										
	Sodium Silicate Liquid										
	Be 51										
	Initial Stock	Forecast	Realisasi Penjualan	Ending Stock	Stock Rata-rata	Rencana Produksi	Realisasi Produksi	% Akurasi Forecast	% Akurasi Rencana	TOR	COGM
Januari	-	300.000	300.000	100.000	50.000	400.000	400.000	100%	100%	6,00	2.244
Februari	100.000	300.000	300.000	200.000	150.000	400.000	400.000	100%	100%	2,00	2.244
Maret	200.000	300.000	300.000	300.000	250.000	400.000	400.000	100%	100%	1,20	2.244
April	300.000	300.000	300.000	350.000	325.000	350.000	350.000	100%	100%	0,92	2.400
Mei	350.000	300.000	300.000	400.000	375.000	350.000	350.000	100%	100%	0,80	2.450
Juni	400.000	300.000	350.000	400.000	400.000	350.000	350.000	83%	100%	0,88	2.480
Juli	400.000	300.000	350.000	400.000	400.000	350.000	350.000	117%	100%	0,88	2.515
Agustus	400.000	300.000	350.000	400.000	400.000	350.000	350.000	83%	100%	0,88	2.555
September	400.000	300.000	350.000	400.000	400.000	350.000	350.000	83%	100%	0,88	2.595
Oktober	400.000	300.000	350.000	400.000	400.000	350.000	350.000	117%	100%	0,88	2.635
November	400.000	300.000	350.000	400.000	400.000	350.000	350.000	117%	100%	0,88	2.675
Desember	400.000	300.000	350.000	400.000	400.000	350.000	350.000	83%	100%	0,88	2.685

Periode 2015	DATA FORECAST, PENJUALAN, PRODUKSI DAN COGM										
	Sodium Silicate Liquid										
	Be 52										
	Initial Stock	Forecast	Realisasi Penjualan	Ending Stock	Stock Rata-rata	Rencana Produksi	Realisasi Produksi	% Akurasi Forecast	% Akurasi Rencana	TOR	COGM
Januari	-	200.000	200.000	100.000	50.000	300.000	300.000	100%	100%	4,00	2.317
Februari	100.000	200.000	200.000	200.000	150.000	300.000	300.000	100%	100%	1,33	2.317
Maret	200.000	200.000	200.000	300.000	250.000	300.000	300.000	100%	100%	0,80	2.317
April	300.000	200.000	200.000	400.000	350.000	300.000	300.000	100%	100%	0,57	2.538
Mei	400.000	200.000	250.000	450.000	425.000	300.000	300.000	75%	100%	0,59	2.588
Juni	450.000	200.000	250.000	500.000	475.000	300.000	300.000	75%	100%	0,53	2.618
Juli	500.000	200.000	250.000	550.000	525.000	300.000	300.000	75%	100%	0,48	2.653
Agustus	550.000	200.000	250.000	600.000	575.000	300.000	300.000	75%	100%	0,43	2.693
September	600.000	200.000	250.000	650.000	625.000	300.000	300.000	75%	100%	0,40	2.733
Oktober	650.000	200.000	250.000	700.000	675.000	300.000	300.000	75%	100%	0,37	2.773
November	700.000	200.000	250.000	750.000	725.000	300.000	300.000	75%	100%	0,34	2.813
Desember	750.000	200.000	250.000	800.000	775.000	300.000	300.000	75%	100%	0,32	2.823
Periode 2015	DATA FORECAST, PENJUALAN, PRODUKSI DAN COGM										
	Sodium Silicate Liquid										
	Be 53										
	Initial Stock	Forecast	Realisasi Penjualan	Ending Stock	Stock Rata-rata	Rencana Produksi	Realisasi Produksi	% Akurasi Forecast	% Akurasi Rencana	TOR	COGM
Januari	-	4.950	4.950	4.950	2.475	9.900	9.900	100%	100%	2,00	2.749
Februari	4.950	4.950	4.950	9.900	7.425	9.900	9.900	100%	100%	0,67	2.749
Maret	9.900	4.950	4.950	14.850	12.375	9.900	9.900	100%	100%	0,40	2.749
April	14.850	4.950	4.950	14.850	14.850	4.950	4.950	100%	100%	0,33	3.190
Mei	14.850	4.950	4.950	14.850	14.850	4.950	4.950	100%	100%	0,33	3.240
Juni	14.850	4.950	4.950	14.850	14.850	4.950	4.950	100%	100%	0,33	3.270
Juli	14.850	4.950	4.950	14.850	14.850	4.950	4.950	100%	100%	0,33	3.305
Agustus	14.850	4.950	4.950	14.850	14.850	4.950	4.950	100%	100%	0,33	3.345
September	14.850	4.950	4.950	14.850	14.850	4.950	4.950	100%	100%	0,33	3.385
Oktober	14.850	4.950	4.950	14.850	14.850	4.950	4.950	100%	100%	0,33	3.425
November	14.850	4.950	4.950	14.850	14.850	4.950	4.950	100%	100%	0,33	3.465
Desember	14.850	4.950	4.950	14.850	14.850	4.950	4.950	100%	100%	0,33	3.475

Periode 2015	DATA FORECAST, PENJUALAN, PRODUKSI DAN COGM										
	Sodium Silicate Liquid										
	Be 56/57										
	Initial Stock	Forecast	Realisasi Penjualan	Ending Stock	Stock Rata-rata	Rencana Produksi	Realisasi Produksi	% Akurasi Forecast	% Akurasi Rencana	TOR	COGM
Januari	-	6.600	6.600	3.300	1.650	9.900	9.900	100%	100%	4,00	2.737
Februari	3.300	6.600	6.600	6.600	4.950	9.900	9.900	100%	100%	1,33	2.737
Maret	6.600	6.600	6.600	9.900	8.250	9.900	9.900	100%	100%	0,80	2.737
April	9.900	6.600	6.600	9.900	9.900	6.600	6.600	100%	100%	0,67	2.439
Mei	9.900	6.600	6.600	9.900	9.900	6.600	6.600	100%	100%	0,67	2.511
Juni	9.900	6.600	6.600	9.900	9.900	6.600	6.600	100%	100%	0,67	2.567
Juli	9.900	6.600	6.600	9.900	9.900	6.600	6.600	100%	100%	0,67	2.585
Agustus	9.900	6.600	6.600	9.900	9.900	6.600	6.600	100%	100%	0,67	2.612
September	9.900	6.600	6.600	9.900	9.900	6.600	6.600	100%	100%	0,67	2.662
Oktober	9.900	6.600	6.600	9.900	9.900	6.600	6.600	100%	100%	0,67	2.676
November	9.900	6.600	6.600	9.900	9.900	6.600	6.600	100%	100%	0,67	2.679
Desember	9.900	6.600	6.600	9.900	9.900	6.600	6.600	100%	100%	0,67	3.228

Periode 2015	DATA FORECAST, PENJUALAN, PRODUKSI DAN COGM										
	Sodium Silicate Liquid										
	Be 58										
	Initial Stock	Forecast	Realisasi Penjualan	Ending Stock	Stock Rata-rata	Rencana Produksi	Realisasi Produksi	% Akurasi Forecast	% Akurasi Rencana	TOR	COGM
Januari	-	26.400	19.800	13.200	6.600	33.000	33.000	75%	100%	3,00	2.793
Februari	13.200	26.400	19.800	26.400	19.800	33.000	33.000	75%	100%	1,00	2.793
Maret	26.400	26.400	19.800	39.600	33.000	33.000	33.000	75%	100%	0,60	2.793
April	39.600	26.400	23.100	42.900	41.250	26.400	26.400	88%	100%	0,56	2.820
Mei	42.900	26.400	23.100	46.200	44.550	26.400	26.400	88%	100%	0,52	2.870
Juni	46.200	26.400	23.100	49.500	47.850	26.400	26.400	88%	100%	0,48	2.900
Juli	49.500	26.400	23.100	52.800	51.150	26.400	26.400	88%	100%	0,45	2.935
Agustus	52.800	26.400	23.100	56.100	54.450	26.400	26.400	88%	100%	0,42	2.975
September	56.100	26.400	23.100	59.400	57.750	26.400	26.400	88%	100%	0,40	3.015
Oktober	59.400	26.400	23.100	62.700	61.050	26.400	26.400	88%	100%	0,38	3.055
November	62.700	26.400	23.100	66.000	64.350	26.400	26.400	88%	100%	0,36	3.095
Desember	66.000	26.400	23.100	69.300	67.650	26.400	26.400	88%	100%	0,34	3.105

Lampiran perhitungan nilai COGM untuk kuantitas produksi optimal sodium silicate solid

Perhitungan COGM dari kuantitas produksi sodium silicate solid optimal bulan

Januari 2016:

$$Q^* = 977.184 \text{ Kg}$$

$$D = 650.000 \text{ Kg}$$

$$I2 = \text{Rp } 100.401.663$$

$$I1 = \text{Rp } 120.481.995$$

$$Cs = \text{Rp } 250.000.000 / \text{maintenance atau set-up}$$

$$CM = \text{Rp } 2.008 / \text{Kg}$$

$$CD = \text{Rp } 16.0000.000 / \text{bulan}$$

$$Cg = \text{Rp } 160.000.000 / \text{bulan}$$

$$Cr = \text{Rp } 10.000.000 / \text{bulan}$$

$$Cd = \text{Rp } 166.666.667 / \text{bulan}$$

$$Ch = \text{Rp } 250 / \text{Kg/Bulan}$$

$$\text{Stock bahan jadi} = 327.184 \text{ Kg}$$

$$COGM = \frac{CM + CD + Cg + Cd + Cr + [Cs \times D/Q] + [Ch \times Q/2] + I1 - I2}{Q}$$

$$COGM = \text{Rp } 2.008 + \frac{(\text{Rp } 16.000.000 + \text{Rp } 160.000.000 + \text{Rp } 166.666.667 + \text{Rp } 10.000.000 + \text{Rp } 250.000.000)}{977.184 \text{ Kg}} \\ + \frac{(\text{Rp } 250 \times 327.184 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} + \frac{(\text{Rp } 120.481.995 - \text{Rp } 100.401.663)}{977.184 \text{ Kg}} = \text{Rp } 2.602 / \text{Kg}$$

Perhitungan COGM dari kuantitas produksi sodium silicate solid optimal bulan

Februari 2016:

$$Q^* = 977.184 \text{ Kg}$$

$$D = 650.000 \text{ Kg}$$

$$I2 = \text{Rp } 120.481.995$$

$$I1 = \text{Rp } 140.562.328$$

$$Cs = \text{Rp } 0 \rightarrow \text{Set-up atau maintenance sudah dilaksanakan pada bulan januari}$$

$$CM = \text{Rp } 2.008 / \text{Kg}$$

$$CD = \text{Rp } 16.0000.000 / \text{bulan}$$

Cg =Rp 160.000.000/bulan

Cr =Rp10.000.000/bulan

Cd =Rp 166.666.667/bulan

Ch =Rp 250 /Kg/Bulan

Stock bahan jadi =654.368 Kg

$$\begin{aligned} \text{COGM} &= \text{Rp } 2.008 + \frac{(\text{Rp } 16.000.000+ \text{Rp } 160.000.000+\text{Rp } 166.666.667+\text{Rp } 10.000.000)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &+ \frac{(\text{Rp } 250 \times 654.368 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} + \frac{(\text{Rp } 140.562.328- \text{Rp } 120.481.995)}{977.184 \text{ Kg}} = \text{Rp } 2.473 /\text{Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan COGM dari kuantitas produksi sodium silicate solid optimal bulan Maret 2016:

Q* = 0 Kg → dilakukan *Set-up* atau *maintenance*

D = 650.000 Kg

I2 = Rp 140.562.328

I1 = Rp 140.562.328

Cs =Rp 250.000.000

CM =Rp 2.008/Kg

CD =Rp 16.0000.000/bulan

Cg =Rp 160.000.000/bulan

Cr =Rp10.000.000/bulan

Cd =Rp 166.666.667/bulan

Ch =Rp 250 /Kg/Bulan

Stock bahan jadi =4.368 Kg

$$\begin{aligned} \text{COGM} &= \text{Rp } 2.008 + \frac{(\text{Rp } 16.000.000+ \text{Rp } 160.000.000+\text{Rp } 10.000.000+ \text{Rp } 250.000.000)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &+ \frac{(\text{Rp } 250 \times 4.368 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} - \frac{(\text{Rp } 250 \times 654.368 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} + \frac{(\text{Rp } 140.562.328- \text{Rp } 140.562.328)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &= \text{Rp } 2.390/\text{Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan COGM dari kuantitas produksi sodium silicate solid optimal bulan April 2016:

Q* = 977.184 Kg

D = 650.000 Kg

I2 = Rp 100.401.663

I1 = Rp 120.481.995

Cs =Rp 250.000.000/*maintenance* atau *set-up*

$$CM = \text{Rp } 2.008/\text{Kg}$$

$$CD = \text{Rp } 16.0000.000/\text{bulan}$$

$$Cg = \text{Rp } 160.000.000/\text{bulan}$$

$$Cr = \text{Rp } 10.000.000/\text{bulan}$$

$$Cd = \text{Rp } 166.666.667/\text{bulan}$$

$$Ch = \text{Rp } 250 / \text{Kg}/\text{Bulan}$$

$$\text{Stock bahan jadi} = 331.552 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{COGM} &= \text{Rp } 2.008 + \frac{(\text{Rp } 16.000.000 + \text{Rp } 160.000.000 + \text{Rp } 166.666.667 + \text{Rp } 10.000.000 + \text{Rp } 250.000.000)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &+ \frac{(\text{Rp } 250 \times 331.552 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} + \frac{(\text{Rp } 120.481.995 - \text{Rp } 100.401.663)}{977.184 \text{ Kg}} = \text{Rp } 2.602/\text{Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan COGM dari kuantitas produksi sodium silicate solid optimal bulan Mei 2016:

$$Q^* = 977.184 \text{ Kg}$$

$$D = 650.000 \text{ Kg}$$

$$I2 = \text{Rp } 120.481.995$$

$$I1 = \text{Rp } 140.562.328$$

$$Cs = \text{Rp } 0 \rightarrow \text{Set-up atau maintenance sudah dilaksanakan pada bulan april}$$

$$CM = \text{Rp } 2.008/\text{Kg}$$

$$CD = \text{Rp } 16.0000.000/\text{bulan}$$

$$Cg = \text{Rp } 160.000.000/\text{bulan}$$

$$Cr = \text{Rp } 10.000.000/\text{bulan}$$

$$Cd = \text{Rp } 166.666.667/\text{bulan}$$

$$Ch = \text{Rp } 250 / \text{Kg}/\text{Bulan}$$

$$\text{Stock bahan jadi} = 658.736 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{COGM} &= \text{Rp } 2.008 + \frac{(\text{Rp } 16.000.000 + \text{Rp } 160.000.000 + \text{Rp } 166.666.667 + \text{Rp } 10.000.000)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &+ \frac{(\text{Rp } 250 \times 658.736 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} + \frac{(\text{Rp } 140.562.328 - \text{Rp } 120.481.995)}{977.184 \text{ Kg}} = \text{Rp } 2.474 / \text{Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan COGM dari kuantitas produksi sodium silicate solid optimal bulan Juni

2016:

Q* = 0 Kg → dilakukan *Set-up* atau *maintenance*

D = 650.000 Kg

I2 = Rp 140.562.328

I1 = Rp 140.562.328

Cs =Rp 250.000.000

CM =Rp 2.008/Kg

CD =Rp 16.0000.000/bulan

Cg =Rp 160.000.000/bulan

Cr =Rp10.000.000/bulan

Cd =Rp 166.666.667/bulan

Ch =Rp 250 /Kg/Bulan

Stock bahan jadi =8.736 Kg

$$\begin{aligned} \text{COGM} &= \text{Rp } 2.008 + \frac{(\text{Rp } 16.000.000 + \text{Rp } 160.000.000 + \text{Rp } 10.000.000 + \text{Rp } 250.000.000)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &+ \frac{(\text{Rp } 250 \times 8.736 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} - \frac{(\text{Rp } 250 \times 658.736 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} + \frac{(\text{Rp } 140.562.328 - \text{Rp } 140.562.328)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &= \text{Rp } 2.391/\text{Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan COGM dari kuantitas produksi sodium silicate solid optimal bulan Juli

2016:

Q* = 977.184 Kg

D = 650.000 Kg

I2 = Rp 100.401.663

I1 = Rp 120.481.995

Cs =Rp 250.000.000/*maintenance* atau *set-up*

CM =Rp 2.008/Kg

CD =Rp 16.0000.000/bulan

Cg =Rp 160.000.000/bulan

Cr =Rp10.000.000/bulan

Cd =Rp 166.666.667/bulan

Ch =Rp 250 /Kg/Bulan

Stock bahan jadi =335.920 Kg

$$\begin{aligned} \text{COGM} &= \text{Rp } 2.008 + \frac{(\text{Rp } 16.000.000+ \text{Rp } 160.000.000+\text{Rp } 166.666.667+\text{Rp } 10.000.000+ \text{Rp } 250.000.000)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &+ \frac{(\text{Rp } 250 \times 335.920 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} + \frac{(\text{Rp } 120.481.995- \text{Rp } 100.401.663)}{977.184 \text{ Kg}} = \text{Rp } 2.603/\text{Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan COGM dari kuantitas produksi sodium silicate solid optimal bulan

Agustus 2016:

Q* = 977.184 Kg

D = 650.000 Kg

I2 = Rp 120.481.995

I1 = Rp 140.562.328

Cs =Rp 0 → *Set-up* atau *maintenance* sudah dilaksanakan pada bulan Juli

CM =Rp 2.008/Kg

CD =Rp 16.0000.000/bulan

Cg =Rp 160.000.000/bulan

Cr =Rp10.000.000/bulan

Cd =Rp 166.666.667/bulan

Ch =Rp 250 /Kg/Bulan

Stock bahan jadi =663.104 Kg

$$\begin{aligned} \text{COGM} &= \text{Rp } 2.008 + \frac{(\text{Rp } 16.000.000+ \text{Rp } 160.000.000+\text{Rp } 166.666.667+\text{Rp } 10.000.000)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &+ \frac{(\text{Rp } 250 \times 663.104 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} + \frac{(\text{Rp } 140.562.328- \text{Rp } 120.481.995)}{977.184 \text{ Kg}} = \text{Rp } 2.474 /\text{Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan COGM dari kuantitas produksi sodium silicate solid optimal bulan

September 2016:

Q* = 0 Kg → dilakukan *Set-up* atau *maintenance*

D = 650.000 Kg

I2 = Rp 140.562.328

I1 = Rp 140.562.328

Cs =Rp 250.000.000

CM =Rp 2.008/Kg

CD =Rp 16.0000.000/bulan

Cg =Rp 160.000.000/bulan

Cr =Rp10.000.000/bulan

Cd =Rp 166.666.667/bulan

Ch =Rp 250 /Kg/Bulan

Stock bahan jadi =13.104 Kg

$$\begin{aligned} \text{COGM} &= \text{Rp } 2.008 + \frac{(\text{Rp } 16.000.000+ \text{Rp } 160.000.000+\text{Rp } 10.000.000+ \text{Rp } 250.000.000)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &+ \frac{(\text{Rp } 250 \times 13.104 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} - \frac{(\text{Rp } 250 \times 663.104 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} + \frac{(\text{Rp } 140.562.328 - \text{Rp } 140.562.328)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &= \text{Rp } 2.391/\text{Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan COGM dari kuantitas produksi sodium silicate solid optimal bulan

Oktober 2016:

Q* = 977.184 Kg

D = 650.000 Kg

I2 = Rp 100.401.663

I1 = Rp 120.481.995

Cs =Rp 250.000.000/*maintenance* atau *set-up*

CM =Rp 2.008/Kg

CD =Rp 16.0000.000/bulan

Cg =Rp 160.000.000/bulan

Cr =Rp10.000.000/bulan

Cd =Rp 166.666.667/bulan

Ch =Rp 250 /Kg/Bulan

Stock bahan jadi =340.228 Kg

$$\begin{aligned} \text{COGM} &= \text{Rp } 2.008 + \frac{(\text{Rp } 16.000.000+ \text{Rp } 160.000.000+\text{Rp } 166.666.667+\text{Rp } 10.000.000+ \text{Rp } 250.000.000)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &+ \frac{(\text{Rp } 250 \times 340.228 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} + \frac{(\text{Rp } 120.481.995 - \text{Rp } 100.401.663)}{977.184 \text{ Kg}} = \text{Rp } 2.603/\text{Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan COGM dari kuantitas produksi sodium silicate solid optimal bulan

November 2016:

Q* = 977.184 Kg

D = 650.000 Kg

I2 = Rp 120.481.995

$$I1 = \text{Rp } 140.562.328$$

Cs =Rp 0 → *Set-up* atau *maintenance* sudah dilaksanakan pada bulan Juli

$$CM = \text{Rp } 2.008/\text{Kg}$$

$$CD = \text{Rp } 16.0000.000/\text{bulan}$$

$$Cg = \text{Rp } 160.000.000/\text{bulan}$$

$$Cr = \text{Rp } 10.000.000/\text{bulan}$$

$$Cd = \text{Rp } 166.666.667/\text{bulan}$$

$$Ch = \text{Rp } 250 /\text{Kg}/\text{Bulan}$$

Stock bahan jadi =667.472 Kg

$$\begin{aligned} \text{COGM} &= \text{Rp } 2.008 + \frac{(\text{Rp } 16.000.000+ \text{Rp } 160.000.000+\text{Rp } 166.666.667+\text{Rp } 10.000.000)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &+ \frac{(\text{Rp } 250 \times 667.472 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} + \frac{(\text{Rp } 140.562.328- \text{Rp } 120.481.995)}{977.184 \text{ Kg}} = \text{Rp } 2.475 /\text{Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan COGM dari kuantitas produksi sodium silicate solid optimal bulan

Desember 2016:

Q* = 0 Kg → dilakukan *Set-up* atau *maintenance*

$$D = 650.000 \text{ Kg}$$

$$I2 = \text{Rp } 140.562.328$$

$$I1 = \text{Rp } 140.562.328$$

$$Cs = \text{Rp } 250.000.000$$

$$CM = \text{Rp } 2.008/\text{Kg}$$

$$CD = \text{Rp } 16.0000.000/\text{bulan}$$

$$Cg = \text{Rp } 160.000.000/\text{bulan}$$

$$Cr = \text{Rp } 10.000.000/\text{bulan}$$

$$Cd = \text{Rp } 166.666.667/\text{bulan}$$

$$Ch = \text{Rp } 250 /\text{Kg}/\text{Bulan}$$

Stock bahan jadi =17.472 Kg

$$\begin{aligned} \text{COGM} &= \text{Rp } 2.008 + \frac{(\text{Rp } 16.000.000+ \text{Rp } 160.000.000+\text{Rp } 10.000.000+ \text{Rp } 250.000.000)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &+ \frac{(\text{Rp } 250 \times 17.472 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} - \frac{(\text{Rp } 250 \times 667.472 \text{ Kg}/2)}{977.184 \text{ Kg}} + \frac{(\text{Rp } 140.562.328- \text{Rp } 140.562.328)}{977.184 \text{ Kg}} \\ &= \text{Rp } 2.392/\text{Kg} \end{aligned}$$

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan serta analisis diatas kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komponen *COGM* yang ada dalam obyek penelitian adalah sebagaimana sesuai dengan landasan teori yaitu : biaya bahan baku langsung, biaya tenaga kerja langsung, nilai *inventory* awal ,nilai *inventory* akhir dan biaya biaya overhead produksi yang mana untuk dalam hal ini pada obyek penelitian biaya overhead produksi dibagi menjadi dua yaitu biaya *overhead* produksi tetap dan biaya *overhead* produksi variabel , untuk produk sodium silicate solid biaya overhead tetap meliputi biaya gas, biaya depresiasi, biaya repair, dan biaya *maintenance (Set-up)* sedangkan untuk produk *sodium silicate liquid* biaya overhead produksi tetap ialah sebagaimana biaya overhead tetap pada produk *sodium silicate solid* namun pada produk *sodium silicate liquid* tidak terdapat biaya gas.

Adapun formulasi dari *COGM* adalah sebagai berikut:

Formulasi *COGM* untuk produk *sodium silicate solid*:

$$COGM = \frac{CM + CD + C_g + C_d + C_r + [C_s \times D/Q] + [C_h \times (1-D/P) \times Q/2]}{Q} + I_1 - I_2$$

Formulasi *COGM* untuk produk *sodium silicate liquid*:

$$COGM = \sum CM_i/T_i + \sum CD_i/T_i + \sum C_{di}/T_i + \sum C_r/T_i + C_s \times T_i + \sum [C_h \times (1-D/P) \times D/2 \times T_i] + \sum I_1/T_i - \sum I_2/T_i$$

Dimana :

COGM : *Cost of Goods Manufacturing* (Rp)

CM : Biaya bahan baku langsung (Rp/tahun)

CD : Biaya tenaga kerja langsung (Rp/tahun)

Ch : Biaya simpan 1 tahun (Rp/tahun)

Cg : Biaya gas 1 tahun (Rp/tahun)

Cd : Biaya depresiasi 1 tahun (Rp/tahun)

Cr : Biaya *repair* dan *maintenance* (Rp/tahun)

Cs	: Biaya <i>Set-up</i> (Rp/ <i>set-up</i> atau Rp/siklus)
D	: Laju permintaan 1 tahun (Kg/tahun)
P	: Laju produksi 1 tahun (Kg/tahun)
Q	: Jumlah Produksi (Kg)
I1	: Nilai <i>inventory</i> WIP (<i>work in process</i>) awal (Rp)
I2	: Nilai <i>inventory</i> WIP (<i>work in process</i>) akhir (Rp)
Tj	: Jumlah siklus produksi untuk produk j

2. Dalam membuat model untuk menentukan jumlah produksi optimal berdasarkan fungsi tujuan berupa *COGM* serta *constrain* dari obyek penelitian adalah digunakan pendekatan *GAMS* (*general algebraic modeling system*) dengan menggunakan *derivative method* terhadap fungsi tujuan yang dioptimalkan dalam hal ini adalah *COGM* dan berikut hasil dari penurunan fungsi tujuan yang merupakan formulasi dalam penentuan kuantitas produksi optimal dengan menggunakan *derivative method*.

Hasil *derivative method* serta formulasi penentuan kuantitas produksi optimal untuk *sodium silicate solid*:

$$Q^* = [2C_s \times D] / [CM + CD + C_g + C_d + C_r + I1 - I2]$$

Hasil *derivative method* serta formulasi penentuan kuantitas produksi optimal untuk *sodium silicate liquid* :

$$T_j = \sqrt{\frac{[CM_j + CD_j + \sum C_{d_i} + \sum C_{s_{ij}} + \sum I1 - \sum I2]}{\sum [C_{h_j} \times (1 - D_j/P_j) \times D_j / 2]}}$$

3. Dalam penentuan kuantitas produksi *sodium silicate* optimal digunakan formulasi hasil pendekatan *GAMS* dengan *derivative method* yang telah diberikan formulasinya pada kesimpulan nomor dua, yang mana untuk produk *sodium silicate solid* dapat langsung dicari nilai kuantitas produksi optimalnya, sedangkan untuk produksi *sodium silicate liquid* dicari terlebih dahulu jumlah siklus optimal kemudian dilakukan pembagian antara jumlah *demand* satu tahun dengan jumlah siklus optimal, perbedaan ini dikarenakan terdapat perbedaan karakteristik proses dan produk dari

sodium silicate solid dan *sodium silicate liquid* , yang mana pada *sodium silicate solid* merupakan jenis produk dengan jenis single produk (tidak ada variasi) serta dikerjakan dalam satu line produksi (*single machine/production*) sedangkan pada *sodium silicate liquid* memiliki variasi jenis produk sebanyak sembilan produk (*multi product*) dan diproduksi dengan beberapa line produksi (*multi machine/production*).

Dari hasil optimasi didapat kuantitas produksi optimal adalah sebagai berikut:

Sodium silicate solid : 977.184 Kg → total produksi 1 tahun :7.817.472 Kg.

Jumlah Siklus produksi *sodium silicate liquid* : 6 siklus

Sodium silicate liquid Be 38 :11.200 Kg → total produksi 1 tahun:67.200 Kg.

Sodium silicate liquid Be 42 :50.000 Kg → total produksi 1 tahun:300.000 Kg.

Sodium silicate liquid Be 45 :100.000 Kg → total produksi 1 tahun:600.000 Kg.

Sodium silicate liquid Be 50 :40.000 Kg → total produksi 1 tahun:240.000 Kg.

Sodium silicate liquid Be 51 :700.000 Kg → total produksi 1 tahun:4.200.000 Kg.

Sodium silicate liquid Be 52 :500.000 Kg → total produksi 1 tahun:3.000.000 Kg.

Sodium silicate liquid Be 53 :9.900 Kg → total produksi 1 tahun:59.400 Kg.

Sodium silicate liquid Be 56/57 :13.200 Kg → total produksi 1 tahun:79.200 Kg.

Sodium silicate liquid Be 58 :46.200 Kg → total produksi 1 tahun:277.200 Kg.

4. Dari evaluasi serta analisis terkait dengan perbedaan *COGM* antara kondisi optimal dengan kondisi exiting adalah dapat disimpulkan bahwa

COGM kondisi optimal lebih baik dari kondisi existing dalam arti kondisi optimal memiliki jumlah produksi lebih rendah jika dibandingkan dengan *COGM* kondisi existing baik untuk produk *sodium silicate solid* maupun *sodium silicate liquid*.

Untuk *COGM* produk *sodium silicate solid* perbedaan tersebut terjadi dikarenakan kuantitas produksi pada kondisi optimal berbeda dengan kuantitas produksi pada kondisi existing yang mana pada kondisi optimal kuantitas produksi ditentukan berdasarkan hasil optimasi yang berorientasikan fungsi tujuannya yang berupa *COGM* itu sendiri, serta pada kondisi optimal penentuan kuantitas produksi juga berorientasikan pada *constrain* berupa keterbatasan *inventory* sedangkan untuk kondisi existing penentuan kuantitas produksi ditentukan berdasarkan kapasitas produksi maksimal sehingga dengan kapasitas produksi maksimal yang melebihi dari jumlah *demand* akan menumpuk banyak *inventory* di tiap periodenya hal tersebut membuat biaya *inventory* semakin meningkat di tiap periodenya walaupun pada produksi dengan kapasitas maksimal hanya melakukan *set-up* atau *maintenance* satu kali, namun efek dari penumpukan *inventory* pada kondisi existing berdampak signifikan terhadap biaya *inventory* yang pada akhirnya berdampak pada nilai *COGM* produk.

Sedangkan untuk produk *sodium silicate liquid* perbedaan *COGM* terjadi dikarenakan dua hal, hal yang pertama adalah sebagaimana yang telah terjadi dalam pada produk sodium silicate solid yaitu penentuan kuantitas produksi kondisi existing juga ditentukan berdasarkan kapasitas produksi maksimal yang dampak dari kondisi tersebut adalah pada penumpukan *inventory*. sedangkan hal yang ke dua adalah jumlah siklus produksi pada kondisi optimal lebih sedikit dibanding dengan jumlah siklus pada kondisi existing, sehingga besarnya nilai *COGM* pada kondisi existing jika dibanding dengan *COGM* pada kondisi optimal dikarenakan jumlah siklus yang berdampak pada jumlah *set-up* yang lebih banyak untuk kondisi existing sehingga dengan banyaknya *set-up/ maintenance* yang dilakukan biaya yang dikeluarkan untuk *set-up* dan *maintenance* juga semakin

meningkat yang berujung pada meningkatnya nilai *COGM* dari produk *sodium silicate liquid* pada kondisi existing.

DAFTAR PUSTAKA

- Bustami & Nurlela.(2006).Akuntansi biaya.Graha Ilmu:Yogyakarta.
- Carter, William K.(2009).Akuntansi Biaya”.Salemba Empat:Jakarta
- Charles T. Horngren, Srikant M. Datar, Madhav Rajan.(2012).*Cost Accounting A Managerial Emphasis*.Pearson:New Jersey.
- Hansen, Mowen,(2004).”Akuntansi Manajerial”.Salemba Empat:Jakarta
- Gaspersz, V. (2012). *Production and Inventory Management For Supply Chain Professional*. Bogor: Vinchrsto Publication.
- Nahmias, S. (2009). *Production and Operation Analysis Sixth Edition*. North America: MCGraw Hill.
- Tersine, J Richrad. (1994), *Principles of Inventory and Materials Management*, Fourth Edition, Prentice-Hall International Inc, United States.
- Krishnamoorthi,C dan Panayappan, S. (2012), “*An Model With Imperfect Production Systems With Rework of Regular Production and Sales Return*”, *American Journal of Operations Research*, Vol.-, No.2, (2012) hal. 225 - 234.
- Chiu,Y.-S.P et al. (2015), “*A simplified approach to the multi-item economic production quantity model with scrap, rework, and multi - delivery*”, *Journal of Applied Research and Technology*, Vol.-, No.13, (2015) hal. 472 - 476.
- Haidar, M Lama. (2015), “*Production lot sizing with quality screening and rework*”, *Applied Mathematical Modelling*, Vol.-, No.40, (2016) hal. 3242-3256.

Nobil, Hossein Smir. (2016), "*A multi – machine multi – product EPQ problem for an imperfect manufactured system considering utilization an allocation decisions*", *Expert System With Applications*, Accepted March 8th 2016