

SKRIPSI

**ANALISIS PENENTUAN KAPASITAS OPTIMAL UNIT PRODUKSI
DISTILLED WATER UNTUK BERBAGAI PERMINTAAN**

No: TKI 4598T/II-2009/2010/AET/37/12.03/2010



Disusun Oleh:

Galuh Yuli Astrini
06/193891/TK/31691

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA**

2010



UNIVERSITAS GADJAH MADA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN DAN PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

NASKAH SOAL TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Galuh Yuli Astrini
Nomor Mahasiswa : 06/193891/TK/31691
Topik Tugas Akhir : Teknik Produksi
Nomor Persoalan : TKI 4598T/II-2009/2010/AET/37/12.03/2010

**ANALISIS PENENTUAN KAPASITAS OPTIMAL PADA UNIT
PRODUKSI *DISTILLED WATER* UNTUK BERBAGAI PERMINTAAN**

Yogyakarta, 12 Maret 2010

Dosen Pembimbing,

Ir. Alva Edy Tontowi, M.Sc., Ph.D.

NIP : 195906141987031001

PENGESAHAN

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
guna memperoleh gelar **SARJANA**
di Program Studi Teknik Industri
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta

Disusun Oleh:

Nama : GALUH YULI ASTRINI
NIM : 06/193891/TK/31691

Disetujui untuk diuji,
Dosen Pembimbing



Ir. Alva Edy Tontowi, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195906141987031001

PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 29 Juli 2010



GALUH YULI ASTRINI

INTISARI

Mini factory bioceramic merupakan sebuah pabrik skala kecil yang memproduksi hidroksiapatit sebagai bahan *implant* tulang dan gigi. Proses produksi dijalankan dengan menggunakan bahan baku berupa gipsium dan kalsit. Sedangkan bahan baku penunjangnya adalah berupa TSP, DHP, dan aquades. Semua bahan baku didatangkan dalam kondisi siap pakai, sedangkan aquades diproduksi dengan menggunakan unit produksi *distilled water*. Perhitungan mengenai kapasitas produksi optimal dari unit produksi *distilled water* diperlukan untuk mengetahui tingkat pemenuhan kebutuhan aquades dalam proses produksi hidroksiapatit. Jumlah kebutuhan aquades dihitung berdasarkan jumlah aquades yang digunakan untuk proses pengenceran dan pembilasan.

Dalam penelitian ini perhitungan kapasitas produksi optimal dari unit produksi *distilled water* dilakukan menggunakan metode Monte Carlo dimana variabel acaknya berupa jumlah *batch* hidroksiapatit yang dapat diproduksi dan jumlah aquades yang dibutuhkan pada proses pembilasan larutan hingga mencapai PH netral. Simulasi Monte Carlo dilakukan untuk mengetahui kondisi tangki penyimpanan aquades pada periode waktu tertentu.

Hasil analisis yang didapatkan adalah jumlah kebutuhan aquades lebih besar daripada jumlah aquades yang mampu diproduksi. Hal ini dikarenakan kebutuhan aquades yang dihitung dengan menggunakan metode Monte Carlo adalah sebesar 216 L sedangkan kapasitas produksi yang tersedia adalah 160 L. Terdapat tiga macam alternatif penyelesaian masalah pemenuhan kebutuhan aquades ini, yaitu peningkatan kapasitas produksi sebesar 35% menjadi 216 L, Penyesuaian jumlah produksi hidroksiapatit dengan ketersediaan aquades, dan *outsourcing*. Peningkatan kapasitas produksi menyebabkan penambahan biaya utilitas per bulan sebesar Rp. 1.976.400,00 dan investasi alat sebesar Rp 25.000.000,00. Apabila peningkatan kapasitas dilakukan dengan melakukan penambahan jam produksi mesin maka biaya listrik tambahan yang dikeluarkan adalah Rp 494.100,00 sehingga jumlah total biaya listrik adalah Rp. 2.964.600,00 terdiri dari biaya pemakaian listrik sebesar Rp 2.470.500,00 dan biaya beban sebesar Rp 494.100,00. Penyesuaian jumlah produksi hidroksiapatit dapat menurunkan jumlah produksi sebesar 28%. Hal ini menyebabkan *mini factory* kehilangan pendapatan sebesar Rp 101.435.000,00 dan kehilangan keuntungan sekitar Rp 40.794.000,00 setiap bulan dengan harga jual hidroksiapatit sebesar Rp 126.100,00 per kemasan 10 g. Melakukan *outsourcing* aquades dengan biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 1.120.000,00 per bulan .

Kata kunci: *distilled water*, hidroksiapatit, kapasitas, *Monte Carlo*, alternatif penyelesaian

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir dari hasil penelitian di *mini factory Bioceramic* Universitas Gadjah Mada ini dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang studi Strata-I di Program Studi Teknik Industri, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan kerja praktek ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak Oleh karena itu dengan segenap ketulusan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Suhanan, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
2. Bapak Ir. Subagyo, Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
3. Bapak Ir. Alva Edy Tontowi, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Muslim Mahardika, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik, yang senantiasa sabar memberikan arahan dan bimbingan
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin dan Industri
6. Keluarga tercinta di Boyolali, atas dukungan dan doa terhadap penulis
7. Para *Power Rangers* Teknik, Pakde Miftah, Wano, Ashif dan Pram atas segala kebersamaan, ukhuwah, motivasi, perhatian, ilmu, dan semua hal yang diberikan sejak awal kuliah

8. Sahabat tercinta, Ratna, Bonita, Arni, dan Lidya, atas kebersamaan dan perhatian yang diberikan
9. Teman-teman seperjuangan KKN, Pak Raye, Ade, Iyan, Hayu, Ning, Dian, Miftah dan masih banyak lagi nama-nama yang tidak dapat disebutkan satu persatu
10. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir, mb wiwik, hanum, viranda, atas segala motivasi, perhatian, dan kerjasama selama mengerjakan Tugas Akhir.
11. Teman-teman seperjuangan KP PT. Pupuk Kalimantan Timur, Deny, Benny, Tomo, atas segala motivasi yang diberikan
12. Teman-teman di Laboratorium Sistem Produksi, Diana, Rani, Ziaul, Arif, Nino, Ragil yang telah banyak memberikan pengalaman berharga kepada penulis
13. Teman-teman di Jurusan Teknik Industri angkatan 2006, Dewi, Yani, Fitri, Intan, Igna, Dito, Rahmat, dan masih banyak lagi nama-nama yang tidak dapat disebutkan satu persatu
14. Teman-teman kos di Pondok Yasmin,
15. Pihak-pihak lain yang telah banyak memberikan bantuan yang tidak dapat disebutkan satu-persatu

Semoga amal kebaikan bapak, ibu, kedua orangtua penulis, saudara-saudaraku serta rekan-rekan semua mendapat balasan dari Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sekalian sangat penulis harapkan demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan tambahan pengetahuan bagi penulis pada khususnya dan bagi para pembaca sekalian.

Yogyakarta, Juli 2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
INTISARI	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah	6
1.4. Tujuan Penelitian	7
1.5. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
BAB III LANDASAN TEORI	
3.1. Kapasitas Produksi	14
3.1.1 Perencanaan Kapasitas	15
3.1.2 Pengendalian Kapasitas	15
3.1.3 Perhitungan Ketersediaan Kapasitas	16

3.1.4 Strategi Peningkatan Kapasitas	16
3.2. Proses Produksi Hidroksiapatit	17
3.2.1 Proses Produksi Hidroksiapatit	17
3.2.2 Destilasi	18
3.2.3. Prinsip Destilasi Air	18
3.3. Optimasi	19
3.3.1. Langkah Simulasi	21
3.3.2. Simulasi Monte Carlo	23
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	
4.1. Lokasi Penelitian	25
4.2. Obyek Penelitian	25
4.3. Data	25
4.4. Langkah Pengumpulan Data dan Analisis	26
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	
5.1. Perhitungan Kapasitas Produksi Tersedia	31
5.2. Perhitungan Kapasitas Produksi Optimal	32
5.2 Analisis Sistem Penggunaan Air	36
5.3. Alternatif Skenario	41
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan	47
6.2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Diagram pembentukan hidroksiapatit	2
Gambar 1.2.	<i>Plant layout mini factory bioceramics</i>	5
Gambar 3.1.	Gambaran umum proses produksi hidroksiapatit	13
Gambar 3.2.	Level Hirarki Optimasi	19
Gambar 3.3.	Langkah-langkah simulasi	22
Gambar 4.1.	Diagram alir pengumpulan data dan analisis	29
Gambar 5.1.	Diagram alir penggunaan air	30
Gambar 5.2.	Grafik jumlah permintaan terhadap periode waktu	33
Gambar 5.3.	Simulasi kapasitas produksi tersedia	37
Gambar 5.4.	Simulasi dengan kapasitas produksi optimal	39
Gambar 5.5.	Simulasi dengan kondisi awal tangki penuh	40
Gambar 5.6.	Jadwal operasi unit produksi <i>distilled water</i>	41
Gambar 5.7.	Jumlah <i>batch</i> produksi hidroksiapatit	43
Gambar 5.8.	Jumlah <i>batch</i> produksi hidroksiapatit dengan perhitungan biaya	44
Gambar 5.9.	Perbandingan <i>benefit-cost ratio</i> masing-masing alternatif	45

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Data Jumlah penggunaan aquades	4
Tabel 2.1.	Tabel perbandingan penelitian	12
Tabel 5.2.	Perhitungan jumlah permintaan dengan metode Monte carlo	34
Tabel 5.3.	Perhitungan jumlah aquades yang harus tersedia	36
Tabel 5.4.	Simulasi dengan kapasitas produksi tersedia	36
Tabel 5.5.	Simulasi dengan kapasitas produksi optimal	38
Tabel 5.6.	Simulasi dengan kondisi awal tangki penuh	39

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 *Plant Layout Mini factory Bioceramic*
- Lampiran 2 Perhitungan Stoikiometri
- Lampiran 3 Perhitungan Kapasitas Optimal
- Lampiran 4 Simulasi Penggunaan Air
- Lampiran 5 Perhitungan Biaya Bahan Baku

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

PC	=	Kapasitas Produksi
W	=	Jumlah Mesin
H	=	Jumlah jam beroperasi
PR	=	Kecepatan produksi
SW	=	Jumlah <i>shift</i>
ε	=	Tingkat kesalahan
σ	=	Standar deviasi
N	=	Jumlah iterasi
D	=	Jumlah permintaan
X	=	<i>inflow</i>
Z	=	jumlah air yang harus disimpan
V	=	Volume tangki
i	=	Periode waktu
z	=	Jumlah total <i>batch</i> produksi
a	=	Jumlah <i>batch</i> HA bahan baku gipsum
b	=	Jumlah <i>batch</i> HA bahan baku kalsit
SS	=	<i>Safety Stock</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan telah dibukanya pintu perdagangan bebas dibutuhkan kemajuan dalam bidang industri dalam negeri untuk dapat bersaing dengan produk luar negeri yang semakin bebas untuk masuk. Hal ini memacu industri dalam negeri untuk berlomba-lomba menumbuhkan usahanya. Setiap industri bergerak untuk mencapai tujuan yang sama yaitu untuk mendapatkan keuntungan sebanyak-banyaknya dengan biaya produksi minimum. Disamping itu, setiap perusahaan dituntut untuk senantiasa dapat memenuhi kebutuhan konsumen dalam rangka mempertahankan kelangsungan hidupnya.

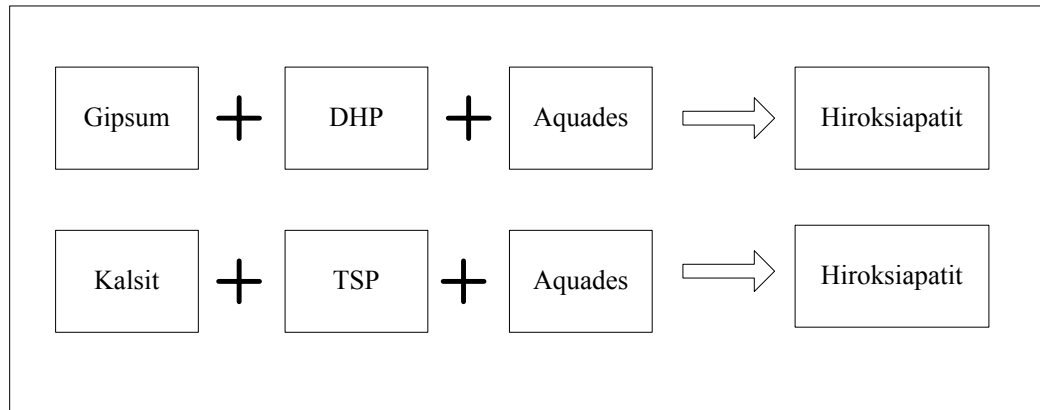
Dalam memenuhi kebutuhan konsumen tersebut, perusahaan akan dihadapkan pada berbagai macam masalah terutama terbatasnya faktor produksi seperti bahan baku, mesin-mesin, sumber daya, dan metode yang digunakan dalam proses produksi. Hal ini mendorong perusahaan untuk dapat melakukan perencanaan produksi yang matang.

Pengambilan keputusan mengenai penentuan kapasitas kemudian menjadi hal yang sangat penting untuk dilakukan. Hal ini disebabkan karena kelebihan kapasitas produksi harus diikuti dengan peningkatan permintaan secara *ekspllosive*. Jika hal ini tidak terjadi maka akan menyebabkan biaya *overhead* per unit akan lebih tinggi. Sebaliknya, apabila terjadi kekurangan kapasitas produksi maka akan menyebabkan rendahnya *customer responsiveness* dari sebuah industri.

Dalam proses pengambilan keputusan mengenai kapasitas ini diperlukan identifikasi permintaan dan sumber daya yang dibutuhkan. Hal yang sangat diperlukan adalah bagaimana membuat kedua komponen ini menjadi seimbang.

Minifactory Bioceramic merupakan salah satu *minifactory* yang dimiliki oleh Jurusan Teknik Mesin dan Industri. *Minifactory* memproduksi *Hidroxyapatite* sebagai salah satu bahan yang digunakan dalam proses rehabilitasi tulang. *Hidroxyapatite* dibuat dengan menggunakan bahan baku gipsum dan

kalsit. Bahan baku penunjang yang digunakan berupa DHP, TSP, dan air. diagram pembentukan *hidroxyapatite* dapat dilihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1. Diagram pembentukan *hidroxyapatite*

Air yang digunakan pada *mini factory Bioceramic* adalah berupa *aquadest*. *Aquadest* diproduksi dengan cara melakukan pemurnian air sumur dengan menggunakan proses destilasi. Destilasi merupakan proses memurnikan air menjadi *aquadest*. Proses pemurnian ini dilakukan dengan cara memisahkan air dengan zat-zat yang terkandung di dalamnya. Pemisahan air dengan zat terlarut dilakukan dengan cara memanaskan air, kemudian zat-zat akan terpisah sesuai dengan titik didihnya. Keluaran dari proses destilasi ini adalah air murni (*aquadest*).

Unit produksi distilled water yang digunakan pada *mini factory Bioceramic* adalah *Unit produksi distilled water TS-20L/H*. Mesin ini merupakan *unit produksi distilled water* yang dirancang untuk dapat menghasilkan keluaran berupa *aquadest*. Proses kondensasi pada mesin ini terjadi di dalam mesin. Kecepatan produksi dari *unit produksi distilled water* ini adalah 20 L setiap jam. *Unit produksi distilled water TS-20L/H* merupakan jenis *unit produksi distilled water* dengan pemanasan secara elektrik sehingga energi yang digunakan untuk proses pemanasan adalah energi listrik. Daya yang diperlukan untuk menjalankan mesin ini adalah 13,5 KW.

Unit produksi distilled water TS-20L/H merupakan satu-satunya mesin yang menentukan jumlah produksi *aquadest* pada *mini factory Bioceramic*

sehingga perhitungan jumlah kapasitas produksi *aquadest* dihitung berdasarkan kecepatan produksi mesin ini.

Identifikasi permintaan sangat penting untuk dilakukan pada unit produksi *distilled water*. Hal ini dimaksudkan untuk dapat mengetahui kebutuhan kapasitas yang harus dipenuhi oleh unit produksi *distilled water*. Permintaan yang harus dipenuhi dapat dihitung dari kebutuhan air masing-masing alat pada *minifactory*. Perhitungan permintaan ini dapat digunakan sebagai dasar penentuan kapasitas optimal.

Sistem yang diteliti adalah sistem penggunaan air pada *mini factory Bioceramic*. Pada *mini factory Bioceramic* ini air digunakan untuk berbagai macam proses antara lain pengenceran dan pembilasan. *Mini factory Bioceramic* mempunyai dua area produksi yaitu area produksi *hidroxyapatite* dengan bahan baku gipsum dan area produksi *hidroxyapatite* dengan bahan baku kalsit. *Mini factory* beroperasi selama 8 jam sehari dan 330 hari dalam 1 tahun (Sutantyo, 2008).

Penggunaan air pada area produksi *hidroxyapatite* dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pengenceran

Pengenceran dilakukan untuk menghasilkan konsentrasi yang tepat dalam proses produksi sehingga didapatkan hasil yang optimal. Pada proses produksi HA dengan menggunakan bahan baku gipsum, pengenceran dilakukan untuk dapat membentuk larutan DHP 0,5M. Sedangkan pada proses produksi dengan menggunakan bahan baku kalsit, pengenceran dilakukan untuk dapat membentuk larutan kalsit dengan konsentrasi 0,5 M. Perhitungan mengenai jumlah *aquadest* yang diperlukan dalam proses pengenceran dilakukan dengan menggunakan perhitungan stoikiometri. Perhitungan stoikiometri lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2.

2. Pembilasan

Proses pembilasan dilakukan agar larutan gipsum maupun kalsit mencapai PH netral. Jumlah air murni (*aquadest*) yang diperlukan pada

proses pembilasan ini adalah dua sampai enam kali lipat dibandingkan dengan proses pengenceran. Hal ini disebabkan untuk satu *batch* produksi membutuhkan 2-3 kali pembilasan untuk bahan baku gipsum, dan 5-6 kali untuk bahan baku kalsit. Tabel 1.1 akan menyajikan data mengenai jumlah *aquadest* yang dibutuhkan untuk setiap bahan baku untuk setiap *batch* produksi

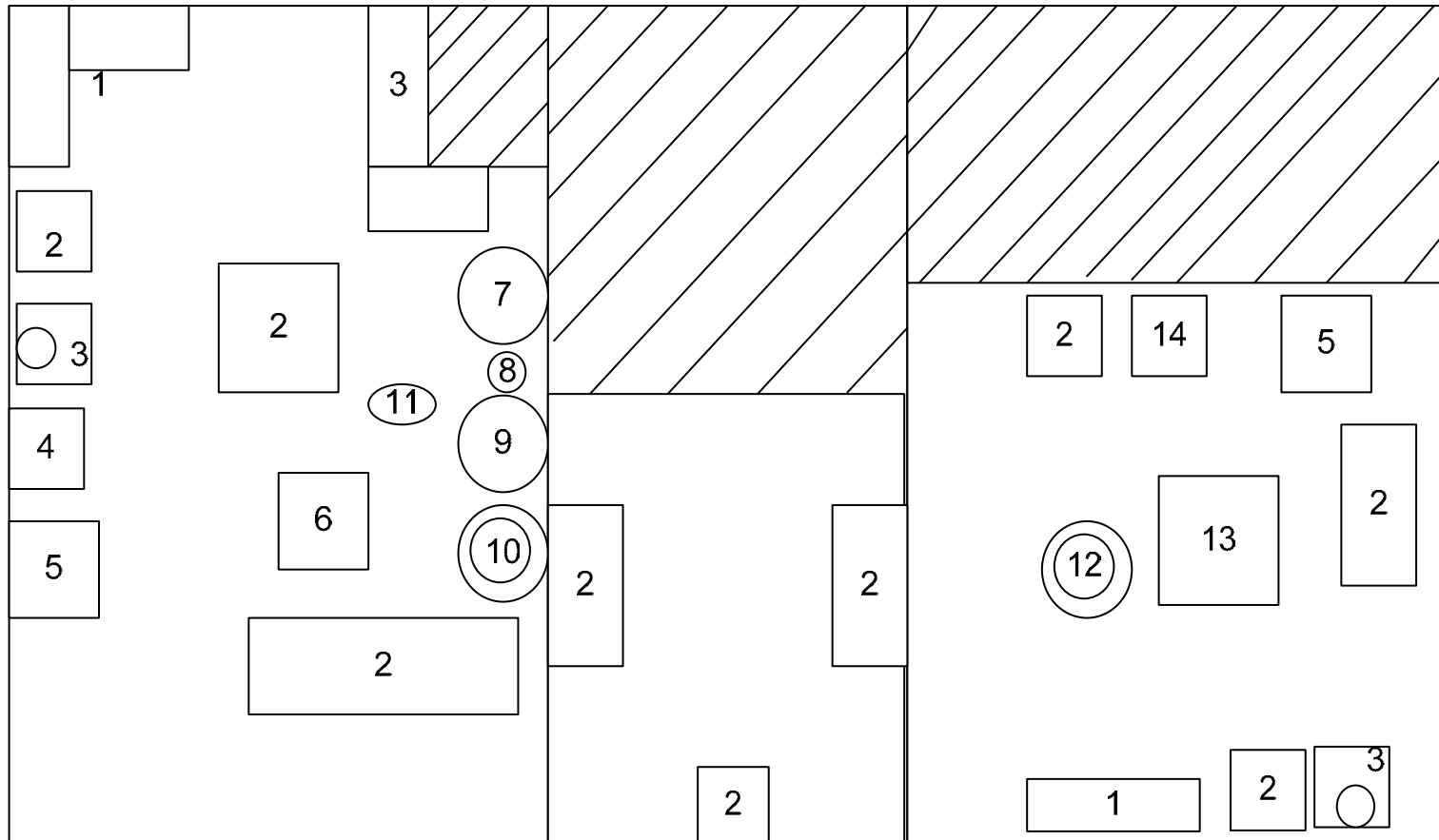
Tabel 1.1 Data Jumlah penggunaan *aquadest*

Bahan Baku	Batch Produksi	Pengenceran	Pembilasan	Total
Gipsum	9,6 g	0,250 L	0,750 L	1 L
Kalsit	9,6 g	0,337 L	2,019 L	2,355 L

Dengan kondisi permintaan yang tidak tetap maka *minifactory* harus mampu memperkirakan jumlah *aquadest* yang harus disimpan dan diproduksi. Hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi *stock out* untuk *aquadest* sehingga proses produksi akan dapat berjalan dengan baik. Perhitungan mengenai jumlah *aquadest* yang harus disimpan dan diproduksi lebih baik dilakukan untuk setiap periode waktu. Hal ini disebabkan karena adanya kemungkinan secara keseluruhan jumlah permintaan terpenuhi, akan tetapi terdapat kondisi dimana dalam satu periode waktu terjadi stok yang berlebihan dan dalam periode yang lain terjadi *stock out*.

Selain itu, perhitungan kapasitas optimal diperlukan untuk dapat mengurangi biaya keseluruhan produksi dan meminimalkan jumlah sumber daya yang digunakan. Apabila tujuan ini tercapai maka diharapkan akan dapat meningkatkan jumlah keuntungan yang diperoleh.

Kapasitas produksi unit produksi *distilled water* yang tersedia adalah sebesar 160 L per hari. Perhitungan kapasitas optimal digunakan untuk menganalisis kebutuhan kapasitas dengan kapasitas tersedia, kemudian dilakukan penyesuaian sehingga didapatkan jadwal operasi yang tepat untuk memenuhi kebutuhan air pada *minifactory*. Tata letak *minifactory* dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. *Plant lay out mini factory bioceramics*

Keterangan:

1. *Microwave reactor*
2. Meja lemari
3. Wastafel
4. Oven elektrik
5. *Powder filling*
6. *Liquid filling*
7. Tangki *raw water*
8. *Water purifier*
9. Tangki *treatment water*
10. Tangki *aquadest*
11. *Destilator*
12. Tangki *aquadest*
13. *Mini batching*
14. Lemari es

1.2. Rumusan Masalah

Keberadaan *aquadest* pada *minifactory bioceramic* yang sangat penting untuk menentukan kelangsungan produksi *hidroxyapatite* ditentukan oleh tingkat produksi unit produksi *distilled water*. Analisis mengenai kapasitas produksi unit *distilled water* perlu dilakukan untuk dapat mengetahui tingkat pemenuhan kebutuhan *aquadest* dalam proses produksi *hidroxyapatite*. Oleh karena itu, rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian adalah sebagai berikut:

Bagaimana menentukan kapasitas produksi yang optimal pada unit produksi *Destil Water* yang mempunyai berbagai macam volume permintaan ?

1.3. Asumsi dan Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan pada unit *Distilled Water* yang ada di *Mini factory Bioceramic* Universitas Gadjah Mada

2. Analisis dilakukan pada sistem yang telah diterapkan pada *Mini factory Bioceramic*
3. Penentuan kapasitas produksi didasarkan pada permintaan yang ada
4. Permintaan ditentukan dengan menghitung kebutuhan air dari masing-masing alat di *Mini factory*
5. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan HA adalah gipsum dan kalsit
6. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan HA adalah bahan baku siap pakai
7. Proses produksi pembuatan HA sama dengan percobaan yang telah dilakukan sebelumnya

1.4. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kapasitas produksi tersedia pada unit produksi *Distilled Water*
2. Mengetahui kapasitas produksi optimal pada unit produksi *Distilled Water* yang mempunyai berbagai permintaan
3. Analisis sistem penggunaan air
4. Mengetahui alternatif solusi untuk menyelesaikan masalah pemenuhan kebutuhan air di *Mini factory Bioceramics*

1.5. Manfaat Penelitian

1. Bagi peneliti

Penelitian ini merupakan sebuah proses untuk mempelajari cara menentukan kapasitas produksi yang optimal pada sebuah unit produksi *Distilled Water* yang mempunyai berbagai permintaan sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi sebuah unit produksi tersebut.

2. Bagi *Minifactory*

Penelitian ini akan memberikan rekomendasi sehingga unit produksi *distilled water* akan dapat men-*supply* air sesuai dengan kebutuhan masing-masing alat dengan tetap memperhatikan efisiensi alat sehingga dapat meminimalkan biaya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Perencanaan kapasitas merupakan hal yang sangat menarik untuk dipelajari dan dikembangkan. Hal ini disebabkan karena perencanaan kapasitas akan menentukan seberapa besar tingkat keluaran yang dapat dihasilkan untuk memenuhi permintaan.

Telah banyak penelitian yang dilakukan mengenai perencanaan kapasitas produksi. Seperti optimasi perencanaan produksi dengan metode *goal programming* yang dilakukan oleh Anis, dkk (2007) yang membuat perencanaan produksi dengan memperhatikan tiga elemen utama yaitu produk, konsumen, dan proses manufaktur. Penggunaan metode *goal programming* dapat membantu pembuatan perencanaan produksi karena mempunyai kemampuan untuk mencapai *trade off* antara aspek-aspek yang bertentangan.

Metode *goal programming* juga diterapkan oleh Priyanto (2004) untuk melakukan perencanaan dan penjadwalan produksi secara efektif dan efisien. Kelebihannya adalah meminimalkan biaya dengan cara mencapai beberapa sasaran secara bersama-sama yaitu meminimalkan sumber daya yang digunakan untuk produksi produk menurut prioritas masing-masing.

Metode *goal programming* banyak digunakan untuk proses optimasi dengan berbagai tujuan sehingga sering disebut *multi objective goal programming*. Penelitian yang dilakukan oleh Wongthatsanekorn (2009) menggunakan goal programming untuk system *recycle* plastic di Thailand. Terdapat dilema dalam menentukan tujuan yang ingin dicapai dalam proses optimasi yang dilakukan yaitu untuk meminimasi cost atau untuk meningkatkan level proteksi terhadap lingkungan. Sehingga metode *goal programming* digunakan untuk dapat mengakomodasi semua tujuan yang ingin dicapai. Penelitian ini akhirnya memasukkan tiga tujuan yaitu menurunkan *total cost*, meningkatkan jumlah plastik yang telah di-*recovery* dan meningkatkan jumlah material plastik yang diinginkan dalam proses daur ulang. Hasil yang didapatkan adalah bahwa diperlukan peningkatan anggaran untuk dapat mencapai target jumlah plastik dan material plastik yang didaur ulang.

Peric (2009) melakukan penelitian mengenai penentuan produksi yang optimal menggunakan *fuzzy multiple criteria programming method*. Langkah-langkah yang dilakukan antara lain: (1) pemilihan kriteria optimasi produksi, (2) penyusunan model umum dari *fuzzy multiple criteria linear programming* untuk menyelesaikan masalah penentuan produksi yang optimal, (3) pendekatan Zimmermann-s untuk menyelesaikan model *fuzzy multiple criteria linear programming*, dan (4) prosedur penyelesaian masalah menggunakan pendekatan Zimmermann-s dan analisis sensitivitas dari solusi optimal yang didapatkan.

Analisis mengenai kapasitas yang tersedia dan kebutuhan kapasitas dilakukan oleh Sari (2007) pada PT. MAK menggunakan *Rough Cut Capacity Planning (RCCP)*. Dilakukan perhitungan kapasitas produksi aktual yang tersedia pada PT. MAK kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan kapasitas menggunakan RCCP. Dalam penelitian ini perhitungan kebutuhan kapasitas didasarkan pada permintaan yang dihitung menggunakan agregasi dan peramalan. Penelitian ini menitikberatkan penentuan kapasitas produksi pada sumber daya tenaga kerja sehingga *constrain* penentuan kapasitasnya adalah jam kerja orang per unit.

Analisis perhitungan juga dilakukan oleh Annisa (2006) pada mesin *moulding* dan *mixing*. Perhitungan kapasitas dilakukan menggunakan data produk *moulding* yang dapat dihasilkan, jam kerja, dan perhitungan waktu baku.

Iritz, dkk (1982) dalam jurnal yang berjudul "*Application of Mathematical Models to Predicting Water Demands, Estimating The Reliability of Supply and Controlling Demand*" menyebutkan bahwa keseimbangan antara *demand* dan *supply* air menjadi hal yang sulit untuk dilakukan. Model stokastik diterapkan untuk meramalkan jumlah permintaan air, hal ini dikarenakan jumlah permintaan air yang tidak menentu dan tergantung pada berbagai macam faktor. Simulasi monte carlo dilakukan untuk dapat mengetahui jumlah air yang harus disimpan untuk memenuhi kebutuhan dalam periode waktu tertentu.

Destilasi merupakan metode pemisahan yang paling banyak digunakan dalam industry. Optimasi destilasi dilakukan untuk mengetahui desain menara destilasi dan kondisi operasi yang paling optimal. Diwekar, dkk (1989) melakukan optimasi pada *batch distillation* menggunakan metode *shortcut* untuk membuat desain yang optimal pada menara destilasi yang beroperasi dengan *reflux* yang konstan maupun variabel



dengan fraksi tunggal maupun ganda. Menggunakan metode shortcut yang menggunakan persamaan aljabar noninteger (jumlah persamaan tidak tergantung dari jumlah *plates*) proses optimasi *batch distillation* menjadi lebih mudah.

Kolmetz, dkk (2005) membuat panduan pembuatan desain menara destilasi yang dapat diplikasikan pada industry petrokimia, pemrosesan gas alam dan *refining*. Hal yang harus dipertimbangkan dalam pembuatan desain adalah penentuan peralatan destilasi yang tepat untuk sebuah kondisi dan lama penggunaan mesin, strategi yang tepat untuk mencapai kestabilan proses operasi, potensi korosi, stabilitas suhu dan kondisi kimia, keandalan dan kemudahan dalam memperbaiki, serta evaluasi solusi yang paling efektif untuk *life cycle cost* yang minimal.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis penentuan kapasitas optimal pada unit produksi *distilled water*. Penentuan kapasitas akan dilakukan berdasarkan permintaan yang dalam penelitian ini adalah kebutuhan air dari mesin-mesin yang terdapat pada laboratorium *Bioceramic*. Metode yang digunakan dalam melakukan analisis adalah metode simulasi Monte Carlo. Hal ini dikarenakan metode simulasi Monte Carlo sangat sesuai digunakan untuk melakukan pendekatan pada sistem stokastik dimana terjadi ketidakpastian faktor. Dalam sistem penggunaan air pada *minifactory bioceramic* ini kondisi ketidakpastian terjadi pada jumlah produksi yang dilakukan setiap periode waktu dan jumlah air yang digunakan dalam proses pencucian larutan hingga mencapai PH netral.

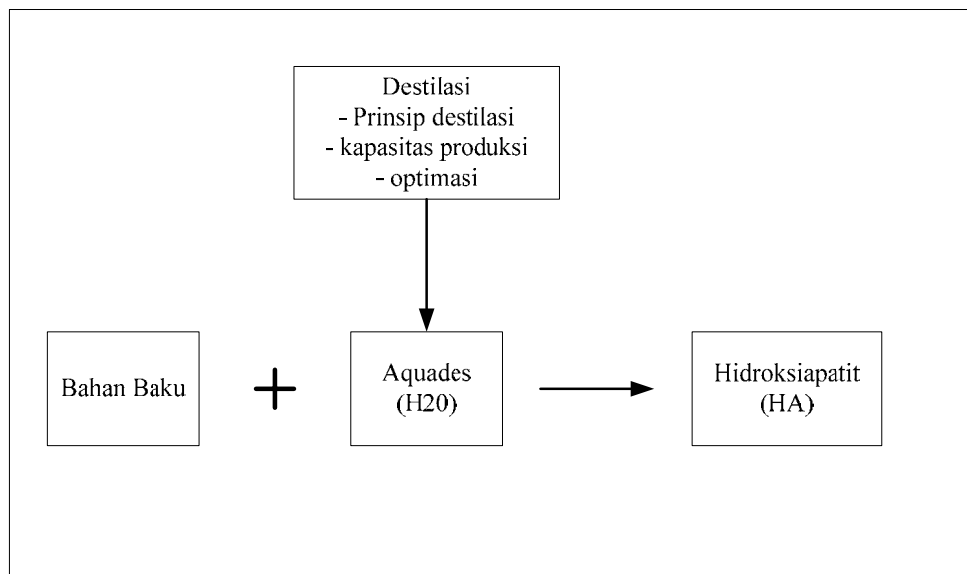
Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian

Tahun	Nama Peneliti	Penelitian
1982	Iritz, dkk	Melakukan peramalan jumlah air yang harus disimpan dalam <i>reservoir</i> untuk memenuhi kebutuhan air dalam kota dengan metode simulasi Monte Carlo
1989	Diwekar, dkk	Melakukan optimasi pada <i>batch distillation</i> menggunakan metode <i>shortcut</i> untuk merancang desain menara destilasi
2004	Priyanto	Melakukan perencanaan dan penjadwalan produksi dengan metode <i>goal programming</i>
2005	Kolmetz, dkk	Membuat panduan perancangan menara destilasi untuk industri petrokimia
2006	Annisa	Melakukan perhitungan kapasitas produksi tersedia pada mesin <i>moulding</i> dan <i>mixing</i>
2007	Anis, dkk	Membuat perencanaan produksi menggunakan <i>goal programming</i>
2007	Sari	Melakukan analisis mengenai kapasitas tersedia dengan kebutuhan kapasitas menggunakan RCCP
2009	Peric	Melakukan penentuan kapasitas produksi optimal menggunakan <i>fuzzy multiple criteria programming method</i>
2009	Wongthatsanekorn	Melakukan optimasi sistem <i>recycle plastic</i> di Thailand dengan metode <i>multi objective goal programming</i>
2010	Astrini (dalam skripsi ini)	Menentukan kapasitas produksi optimal pada unit produksi <i>distilled water</i> menggunakan simulasi Monte Carlo

BAB III

LANDASAN TEORI

Hidroxyapatite merupakan bahan yang digunakan sebagai *implant* tulang dan gigi. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan *hidroxyapatite* antara lain gipsum dan kalsit. Dalam proses produksi *hidroxyapatite* diperlukan *aquadest* untuk mengencerkan bahan baku. *Aquadest* didapatkan dengan cara melakukan pemurnian air sumur menggunakan proses destilasi. Proses destilasi dilakukan menggunakan unit produksi *distilled water* dengan kapasitas produksi tertentu. Kapasitas optimal unit produksi *distilled water* ditentukan dengan melakukan optimasi untuk dapat memenuhi jumlah kebutuhan. Kebutuhan *aquadest* dihitung berdasarkan jumlah *aquadest* yang digunakan dalam proses pengencran dan pembilasan. Gambar 3.1 menjelaskan tentang gambaran umum proses produksi *hidroxyapatite*.



Gam

bar 3.1 Gambaran umum proses produksi *hidroxyapatite*

Dalam landasan teori ini akan dijelaskan teori dari kapasitas produksi, destilasi dan optimasi. Kapaitas produksi mencakup perencanaan kapasiats, pengendalian kapasitas, perhitungan keersediaan kapasitas dan strategi peningkatan kapasitas.

3.1 Kapasitas Produksi

Kapasitas (Sheikh, 2001) adalah sejumlah pekerjaan yang dapat diselesaikan dalam jangka waktu tertentu. Berdasarkan APICS Dictionary, kapasitas dijelaskan sebagai kemampuan dari tenaga kerja, mesin, stasiun kerja, pabrik, atau organisasi untuk menghasilkan *output* setiap periode waktu.

Pengertian kapasitas dilihat dari tiga perspektif (Kusuma, 2004) yaitu:

1. Kapasitas Desain: Menunjukkan output maksimum pada kondisi ideal dimana tidak ada konflik penjadwalan, tidak ada produk yang rusak, perawatan hanya yang rutin, dsb.
2. Kapasitas Efektif: Menunjukkan output maksimum pada tingkat operasi tertentu. Pada umumnya kapasitas efektif lebih rendah daripada kapasitas desain.
3. Kapasitas Aktual: Menunjukkan output nyata yang dapat dihasilkan oleh fasilitas produksi. Kapasitas aktual diusahakan sama dengan kapasitas efektif.

Manajemen kapasitas adalah sebuah fungsi yang digunakan untuk membangun, mengukur, memantau, dan mengatur batasan atau level dari kapasitas yang ditentukan untuk menjalankan seluruh jadwal produksi (APICS *Dictionary*). Terdapat dua komponen dari manajemen kapasitas yaitu perencanaan kapasitas dan pengendalian kapasitas.

Perencanaan kapasitas adalah penentuan jumlah *output* yang diperlukan dari fasilitas pabrik dan dari *supplier*. Sedangkan pengendalian kapasitas adalah membandingkan antara kapasitas yang direncanakan dengan *output* actual yang didapatkan dan mengidentifikasi variasi signifikan yang dapat terjadi di atas atau di bawah rencana.

3.1.1 Perencanaan Kapasitas

Perencanaan kapasitas merupakan proses penentuan kebutuhan sumber daya yang dibutuhkan agar sesuai dengan rencana prioritas dan metode yang dibutuhkan untuk membuat tersedianya kapasitas (Sheikh, 2001).

Perencanaan kapasitas dibedakan menurut jangka waktu (Kusuma, 2004) sebagai berikut:

1. Perencanaan kapasitas Jangka pendek

Perencanaan kapasitas jangka pendek digunakan untuk pengendalian produksi, yaitu untuk melihat apakah pelaksanaan produksi telah sesuai dengan yang direncanakan. Kurun waktu yang dicakup adalah harian sampai mingguan.

2. Perencanaan kapasitas jangka menengah

Perencanaan kapasitas jangka menengah digunakan untuk mengevaluasi apakah fasilitas produksi mampu merealisasikan jadwal induk produksi yang telah ditetapkan. Kurun waktu yang dicakup adalah satu bulan sampai dengan satu tahun.

3. Perencanaan kapasitas jangka panjang

Perencanaan kapasitas jangka panjang digunakan untuk perencanaan ekonomi dari fasilitas produksi. Kurun waktu yang dicakup adalah satu sampai dengan lima tahun.

3.1.2 Pengendalian Kapasitas

Pengendalian kapasitas merupakan proses mencatat keluaran produksi, membandingkan dengan rencana kapasitas, dan mengevaluasi pelaksanaannya apabila dibutuhkan.

3.1.3 Perhitungan Ketersediaan Kapasitas

Rumus yang digunakan untuk menghitung ketersediaan kapasitas adalah:

$$\text{Kapasitas tersedia} = \text{Waktu tersedia} + \text{Efisiensi} + \text{Utilisasi} \quad (3.1)$$

Pada kenyataannya, kapasitas merupakan bilangan acak. Walaupun waktu tersedia dapat dianggap konstan akan tetapi efisiensi dan utilisasi merupakan variable acak. Efisiensi merupakan variable acak karena kecepatan pekerja tidak dapat disamaratakan antara satu dengan yang lain. Utilisasi merupakan variable acak karena sulit untuk ditentukan sebuah mesin idle karena rusak atau karena tidak digunakan. Sehingga, besaran kapasitas tidak mungkin dinyatakan dalam angka yang mutlak akan tetapi hanya perkiraan saja.

3.1.4 Strategi Peningkatan Kapasitas

Ada tiga macam dasar strategi kapasitas yang berhubungan dengan pertumbuhan permintaan yaitu:

1. *Capacity Lead Strategy*, merupakan perluasan kapasitas untuk mengantisipasi pertumbuhan pasar. Strategi ini bertujuan untuk mengikat pelanggan dari competitor yang memiliki keterbatasan kapasitas.
2. *Capacity Lag Strategy*, terdapat peningkatan kapasitas setelah terjadi peningkatan permintaan di pasar. Strategi ini digunakan pada industry dengan produk yang standard an mempertimbangkan biaya maupun jumlah competitor yang sedikit di pasar.
3. *Average Capacity Strategy*, perluasan kapasitas untuk menyesuaikan dengan permintaan rata-rata yang diharapkan. Alternative untuk memperluas kapasitas adalah dengan melakukan *outsourcing*, dimana *supplier* menanggung ketidakpastian permintaan.

3.2 Proses Produksi *Hidroxyapatite*

3.2.1 Proses Produksi *Hidroxyapatite*

Hidroxyapatite $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ merupakan bahan yang sering digunakan sebagai *implant* untuk gigi dan tulang. Penggunaan *hidroxyapatite* kemudian berkembang di dunia medis bukan hanya sebagai *implant* tulang namun juga untuk kepentingan lain seperti untuk menyerap senyawa kimia organik, menggunakan ion Ca^{3+} untuk menukar dengan logam berat. Proses produksi hidksiapatit menggunakan bahan baku gipsum adalah sebagai berikut:

1. Menimbang DHP kemudian di buat larutan dengan konsentrasi 0,5 M
2. Menimbang gypsum sebesar 0,5 g kemudian dicampurkan dengan 40 ml DHP
3. Memanaskan larutan gypsum dan DHP pada suhu 100^0 C
4. Mencuci larutan yang sudah dipanaskan menggunakan *aquadest*
5. Menyaring larutan yang telah dicuci. Pencucian dilakukan sampai larutan mempunyai pH netral
6. Mengeringkan larutan dengan cara memanaskan menggunakan *microwave* pada suhu 80^0 C

Proses produksi *hidroxyapatite* menggunakan bahan baku kalsit adalah sebagai berikut:

1. Menimbang Kalsium Karbonat
2. Menimbang Trisodium Fosfat Dekahidrat
3. Pengenceran Trisodium Fosfat Dekahidrat
4. Pencampuran larutan Trisodium Fosfat Dekahidrat dengan Kalsium Karbonat
5. Memanaskan campuran pada suhu 200^0 C
6. Mencuci larutan yang sudah dipanaskan menggunakan *aquadest*
7. Menyaring larutan yang telah dicuci. Pencucian dilakukan sampai larutan mempunyai pH netral
8. Mengeringkan larutan dengan cara memanaskan menggunakan *microwave* pada suhu 100^0 C

3.2.2. Destilasi

Destilasi merupakan salah satu bagian dari *separation process* yang paling banyak dipakai pada industri. Destilasi merupakan penguapan. *Fractional Distillation* merupakan penguapan dua atau lebih cairan dari campuran induknya dengan memanfaatkan perbedaan titik didih. Kedua proses tersebut diperlukan untuk pemisahan dan pemurnian.

Pada prakteknya, proses destilasi mempunyai dua metode yang utama. Metode yang pertama adalah berdasarkan pada produksi *vapor* dengan cara memanaskan larutan yang akan dipisahkan dan mengkonsensasikan *vapor* tanpa menyertakan cairan. Pada metode ini tidak akan digunakan *reflux*. Metode yang kedua adalah memanaskan larutan yang akan dipisahkan menjadi *vapor* kemudian mengkonsensasikan *vapor* dengan cara membuat kontak antara *vapor* dengan *condensate*. Kedua metode ini dapat dioperasikan secara *continuous* maupun *batch*.

3.2.3. Prinsip Destilasi Air

Air dapat berada pada tiga kondisi yaitu sebagai benda padat (es), sebagai benda cair, dan sebagai uap. Kondisi ini dipengaruhi oleh temperatur yang dimiliki air. Temperatur dimana sebuah zat berubah dari kondisi cair menuju kondisi gas disebut dengan titik didih (*boiling point*). Besar dari titik didih ini berbeda untuk setiap zat. Perbedaan titik didih inilah yang digunakan untuk memisahkan zat satu dengan yang lain.

Proses yang dilakukan untuk melakukan destilasi air sangat sederhana antara lain:

1. Memanaskan air yang kotor (yang akan dimurnikan) samapi pada titik didihnya sehingga air akan berubah kondisi menjadi uap
2. Pada saat yang sama, zat lain yang terkandung dalam air masih berada dalam kondisi solid di dalam *boiler*.
3. Uap air dialirkan ke pendingin untuk dilakukan kondensasi sehingga menjadi cair kembali. Air yang dihasilkan adalah air yang tidak mengandung zat terlarut.

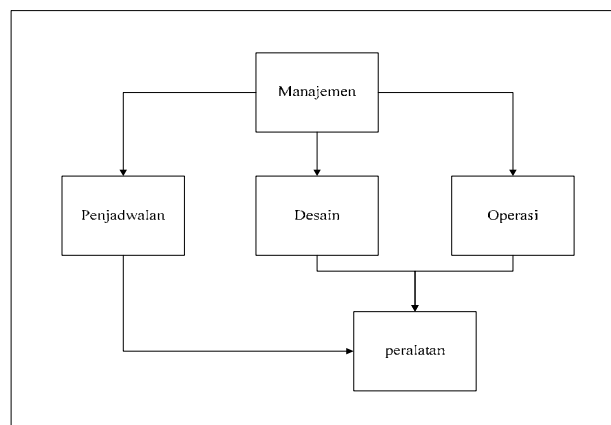
Destilasi akan memisahkan air dengan hamper semua zat bahkan logam berat, racun, bakteri dan virus. Akan tetapi, destilasi tidak akan memisahkan air dari zat yang

mempunyai titik didih lebih rendah dari air seperti minyak, petroleum, alkohol, dan beberapa zat yang serupa yang pada beberapa kasus tidak dapat bercampur dengan air.

3.3 Optimasi

Optimasi merupakan penggunaan metode tertentu untuk menentukan solusi yang paling efisien dan efektif untuk sebuah masalah atau desain sebuah proses. Optimasi banyak digunakan dalam bidang *engineering* dan bisnis. Dalam bidang *engineering* optimasi digunakan dalam desain sebuah proses. Misalnya, sebuah proses dideskripsikan menggunakan berbagai persamaan yang mengandung beberapa variabel. Kemudian ditentukan tujuan optimasi adalah untuk meminimalkan biaya maka optimasi digunakan untuk menentukan besaran dari masing-masing variabel sehingga didapatkan biaya yang paling rendah.

Optimasi dapat dilakukan pada semua level dalam perusahaan. Lingkup dari optimasi dapat berupa keseluruhan perusahaan, sebuah proses, sebuah unit operasi, maupun sebuah mesin. Pada sebuah industry, optimasi dapat dilakukan pada tiga area yaitu: (1) manajemen, (2) desain proses dan spesifikasi peralatan, (3) operasional *Plant*. Gambar 3.2 menjelaskan level hirarki optimasi pada sebuah perusahaan.



Gambar 3.2 Level hirarki optimasi

Salah satu jenis metode optimasi adalah menggunakan simulasi. Simulasi (Winston, 2004) merupakan sebuah teknik yang menyerupai operasi dari system yang sebenarnya. Model simulasi diambil dari asumsi yang dibuat dari system dan



diekspesikan secara logis maupun matematis. Dalam model matematis solusi didapatkan dengan cara melakukan analisis, sedangkan dalam simulasi, solusi didapatkan dengan cara melakukan eksekusi dari model dengan periode waktu tertentu.

Seperti metode yang lain, terdapat keuntungan dan kerugian dalam melakukan simulasi sebagai penentuan solusi yang optimal. Keuntungannya adalah lebih mudah diaplikasikan daripada model analitis. Ketika model analitis membutuhkan berbagai macam pendeskripsian asumsi, simulasi akan sedikit membatasi. Apabila terlalu banyak asumsi maka simulasi akan semakin jauh dari keadaan sebenarnya. Hal ini membuat simulasi lebih fleksibel. Sekali membuat model simulasi maka akan dapat digunakan untuk berbagai macam kondisi dan parameter.

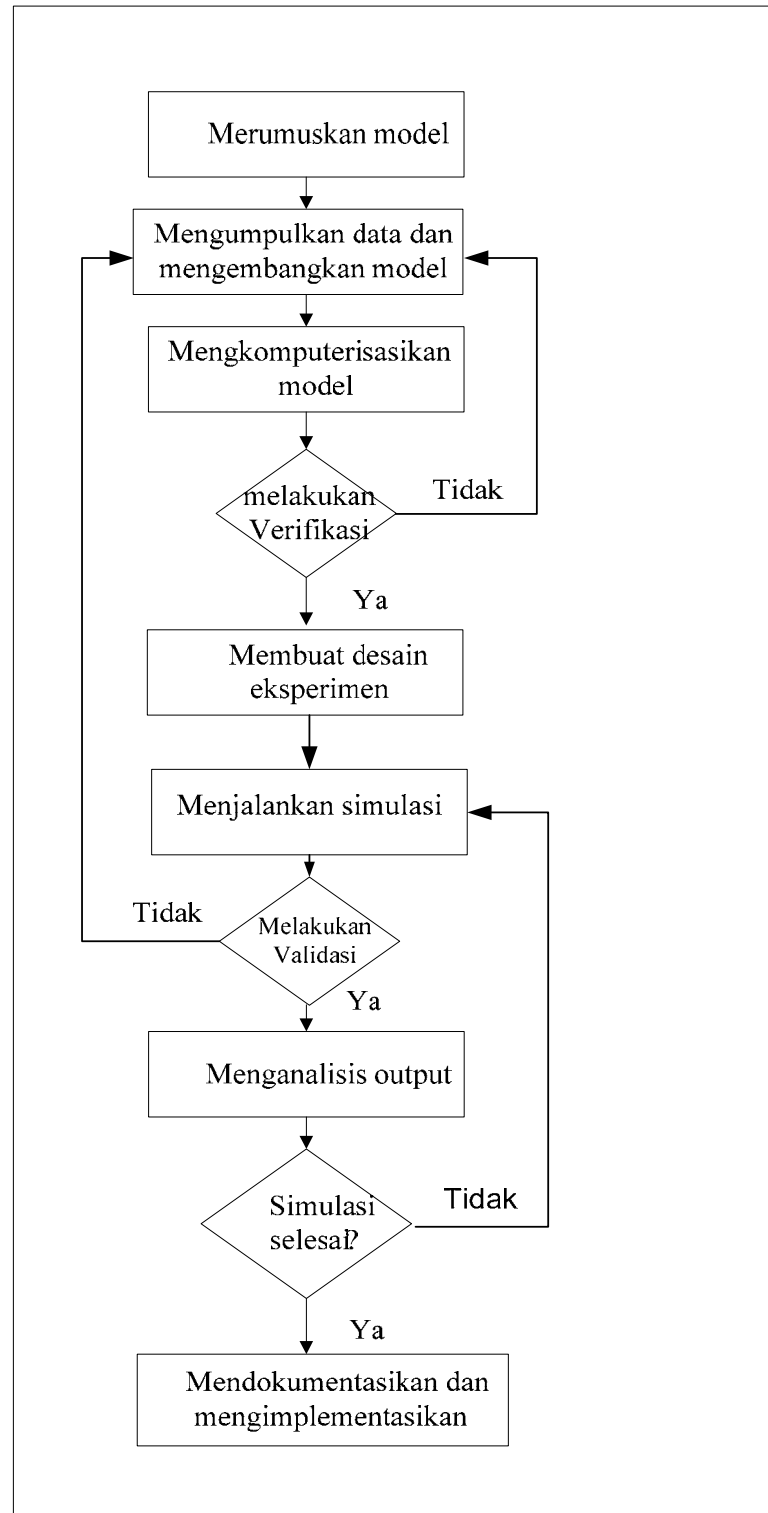
Simulasi dapat dibagi menjadi simulasi deterministik dan simulasi stokastik. Simulasi deterministik merupakan simulasi yang tidak mengandung *random variable*. Simulasi stokastik merupakan simulasi yang mengandung satu atau lebih *random variable*. Simulasi dapat juga dibagi menjadi simulasi diskrit dan kontinyu. Simulasi diskrit merupakan simulasi yang menyatakan perubahan variabel pada waktu tertentu. Simulasi kontinyu merupakan simulasi yang menyatakan perubahan kondisi variabel secara terus-menerus sepanjang waktu. Model simulasi dapat dibedakan menjadi model simulasi statis dan dinamis. Model simulasi statis mewakili kondisi system pada saat tertentu. Dalam model ini variabel waktu tidak diperhatikan. Model simulasi dinamis mewakili system yang berubah sepanjang waktu.

3.3.1 Langkah Simulasi

Simulasi dimulai dengan cara mendeskripsikan masalah dan diakhiri dengan analisis dan kesimpulan yang dapat diambil. Diagram alir penyelesaian masalah menggunakan simulasi adalah sebagai berikut (Winston, 2004):

Simulasi dimulai dengan membuat rumusan model dari sistem yang akan dianalisis. Perumusan sistem ini menjadi sangat penting karena akan menentukan keakuratan simulasi dengan sistem nyata. Apabila model yang dirumuskan salah maka akan menyebabkan simulasi tidak sesuai dengan sistem nyata. Kemudian simulasi dilanjutkan dengan mengumpulkan data dan mengembangkan model. Data diperlukan untuk membuat model berjalan menyerupai sistem yang nyata.

Langkah selanjutnya adalah melakukan komputerisasi model. Komputerisasi model dapat dilakukan untuk melakukan verifikasi dan validasi model. Setelah didapatkan model yang valid, dibuat desain eksperimen sehingga didapatkan hasil yang sesuai dengan yang diinginkan. Kemudian dilakukan running simulasi sesuai dengan desain eksperimen yang telah dibuat. Hal terakhir yang dilakukan adalah analisis hasil eksperimen dan dokumentasi hasil simulasi. Penjelasan mengenai langkah-langkah simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Langkah-langkah simulasi

1. Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo adalah sebuah teknik untuk mengetahui dampak dari resiko dan ketidakpastian pada keuangan, manajemen proyek, biaya, dan model peramalan yang lain. Simulasi Monte Carlo merupakan simulasi stokastik dimana terdapat komponen yang tidak pasti. Sehingga, simulasi Monte Carlo ini erat kaitannya dengan generasi bilangan acak.

Metode Monte Carlo didasarkan pada generasi *trial* untuk menentukan nilai yang diinginkan dari sebuah *random variable*. Dasar dari metode ini dapat digambarkan sebagai berikut:

$$Pr \left\{ \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \epsilon - \mu \right| < \frac{3\sigma}{\sqrt{N}} \right\} \approx 99,8 \% \quad (4.1)$$

Terdapat berbagai macam perangkat lunak yang dapat digunakan untuk menjalankan simulasi Monte Carlo. Salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan adalah MS EXCEL. Dalam perangkat lunak ini, simulasi dapat dijalankan dengan mudah.

Secara umum langkah simulasi menggunakan metode Monte Carlo adalah sebagai berikut:

2. Melakukan pembangkitan bilangan acak

Pembangkitan bilangan acak dilakukan menggunakan formula RAND() pada MS EXCEL. Dengan algoritma ini akan didapatkan bilangan acak dengan interval (0,1). Bilangan acak akan didapatkan dengan mengalikan hasil generasi dengan batas maksimum dan minimum yang telah ditentukan. Jumlah bilangan acak yang harus didapatkan dihitung dengan persamaan berikut:

$$N = \left(\frac{3\sigma}{\epsilon} \right)^2 \quad (4.2)$$

N merupakan jumlah iterasi atau jumlah bilangan acak, σ merupakan standar deviasi, dan ϵ adalah tingkat *error*.

3. Memasukkan bilangan acak ke dalam model

Bilangan acak yang telah didapatkan dimasukkan ke dalam persamaan model yang telah dibuat sehingga akan didapatkan hasil sesuai dengan jumlah iterasi yang dilakukan.

4. Menentukan hasil dengan merata-rata hasil yang didapatkan



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

ANALISIS PENENTUAN KAPASITAS OPTIMAL UNIT PRODUKSI DISTILLED WATER UNTUK BERBAGAI PERMINTAAN

Galuh Yuli Astrini, Prof. Ir. Alva Edy Tantowi, M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng

Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Langkah terakhir adalah menentukan hasil dengan cara melakukan rata-rata dari hasil yang telah didapatkan.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian menjelaskan mengenai lokasi penelitian, obyek penelitian, data, dan langkah-langkah pengumpulan data, pembuatan diagram alir serta perhitungan kapasitas optimal.

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di unit produksi *distilled water, minifactory Bioceramics* yang berada di Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

4.2 Obyek Penelitian

Obyek yang akan diteliti dalam penelitian adalah kapasitas unit produksi *distilled water* dan jumlah kebutuhan *aquadest* dalam proses produksi *hidroxyapatite* di *mini factory Bioceramics*.

4.3 Data

Data yang dibutuhkan dalam proses analisis kapasitas produksi *Distilled Water* berupa:

1. Aliran proses produksi *Hidroxyapatite*
2. Kebutuhan air proses pencucian dan pembilasan
3. Tata letak *mini factory bioceramics*
4. Kapasitas tangki
5. Harga dan spesifikasi mesin destilasi

4.4 Langkah Pengumpulan Data dan Analisis

Langkah pengumpulan data dan analisis adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data yang diperlukan dalam penelitian. Data mengenai aliran proses produksi *hidroxyapatite* diperoleh dari makalah yang dipublikasikan oleh Sedyono. Data mengenai kebutuhan air pada proses pencucian dan pembilasan diperoleh dengan cara melakukan perhitungan stoikiometri. Hasil perhitungan stoikiometri dapat dilihat pada Lampiran 1. Data mengenai tata letak *mini factory* diperoleh dengan cara menggambar secara langsung tata letak yang ada pada *mini factory*. Data mengenai spesifikasi mesin destilasi dan kapasitas tangki diperoleh dari *name plate* yang terpasang pada masing-masing peralatan. Sedangkan data mengenai harga mesin diperoleh dari laporan keuangan *mini factory* kepada bendahara dana masyarakat Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
2. Membuat diagram alir penggunaan air. Pembuatan diagram alir penggunaan air dilakukan berdasarkan pada proses produksi *hidroxyapatite* dan *plant layout minifactory bioceramic*. *Plant layout minifactory bioceramic* dapat dilihat pada Bab Pendahuluan.
3. Menghitung kapasitas tersedia dari mesin destilasi. Kapasitas tersedia mesin destilasi dihitung dengan asumsi bahwa mesin destilasi beroperasi dengan 1 shift yaitu 8 jam per hari tanpa mengalami *breakdown* (Sutantyo, 2008). Perhitungan kapasitas tersedia dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$PC = W \times H \times PR \times SW \quad (4.1)$$

dimana, PC : Kapasitas Produksi
 W : Jumlah Mesin
 H : Jumlah jam beroperasi
 PR : Kecepatan produksi
 SW : Jumlah *shift*

4. Menghitung kebutuhan kapasitas dengan menggunakan pendekatan metode Monte Carlo. Kapasitas optimal dihitung berdasarkan jumlah permintaan *aquadest* yang datang pada mesin destilasi dalam waktu satu hari. Langkah awal dari metode Monte Carlo adalah menentukan variabel acak. variabel acak yang digunakan dalam perhitungan jumlah kapasitas produksi mesin destilasi adalah jumlah *hidroxyapatite* yang diproduksi dalam waktu 1 hari dan jumlah *aquadest* yang digunakan dalam proses pembilasan larutan hingga mencapai pH netral. Jumlah total kebutuhan *aquadest* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Z = a(x_1 + y_1) + b(x_2 + y_2) \quad (4.2)$$

dimana,

- Z = jumlah total kebutuhan air
- a = jumlah batch HA gipsium yang diproduksi
- b = jumlah batch HA kalsit yang diproduksi
- x = jumlah *aquadest* untuk pengenceran
- y = jumlah *aquadest* untuk pembilasan

Proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan dengan data pemakaian *aquadest* pada *mini factory hidroxy apatite* selama tahap percobaan.

5. Mengimplementasikan kedua model dalam simulasi. Sehingga diperoleh jadwal produksi dari mesin destilasi. Simulasi dijalankan dengan menggunakan algoritma sebagai berikut (Iritz, 1982):

$$Z_i = \max(0, Z) + X_i - D_i \text{ jika } v > Z_i + X_i - D_i \quad (4.3)$$

$$Z_i = v \text{ jika } v \leq Z_i + X_i - D_i \quad (4.4)$$

dimana,

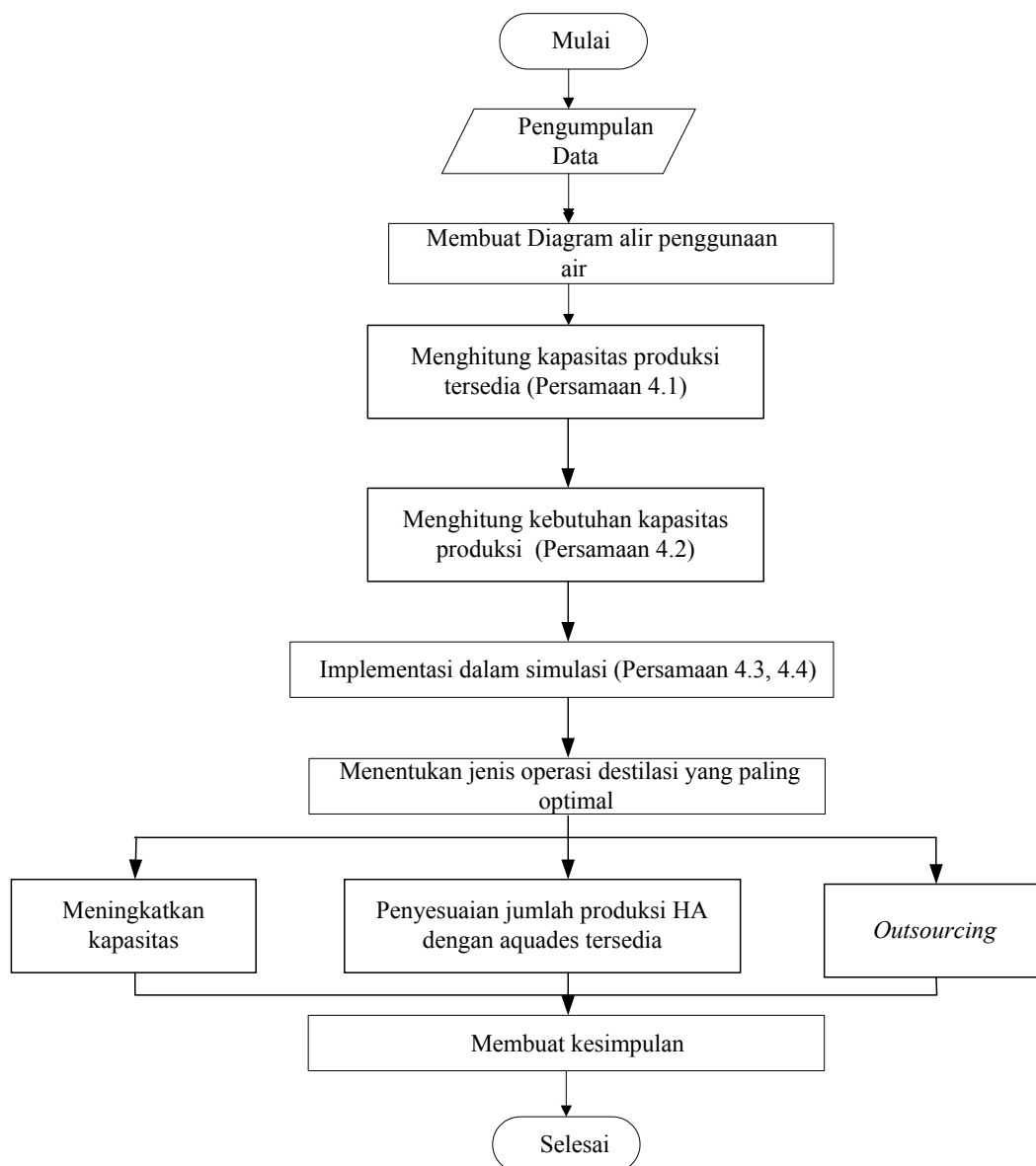
- D = jumlah permintaan
- X = *inflow*
- Z = jumlah air yang harus disimpan
- V = volume tangki
- i = hari

Simulasi dijalankan dengan kondisi awal tangki kosong. Hal ini dilakukan untuk mengetahui periode penuhnya tangki *aquadest*. Kemudian simulasi dijalankan dengan kondisi awal tangki penuh. Hal ini dilakukan untuk dapat

mengetahui periode waktu habis *aquadest* dalam tangki. Dengan menjalankan simulasi ini maka akan didapatkan jadwal produksi dari unit produksi *distilled water* pada *minifactory bioceramic*.

6. Menentukan jenis operasi mesin destilasi yang paling optimal. Penentuan jenis operasi optimal ini dilakukan dengan mengimplementasikan tiga alternatif skenario. Analisis biaya dilakukan pada masing-masing skenario untuk dapat mengetahui skenario yang paling baik.

Penjelasan mengenai alur pengumpulan data dan analisis dapat dilihat pada Gambar 4.1.



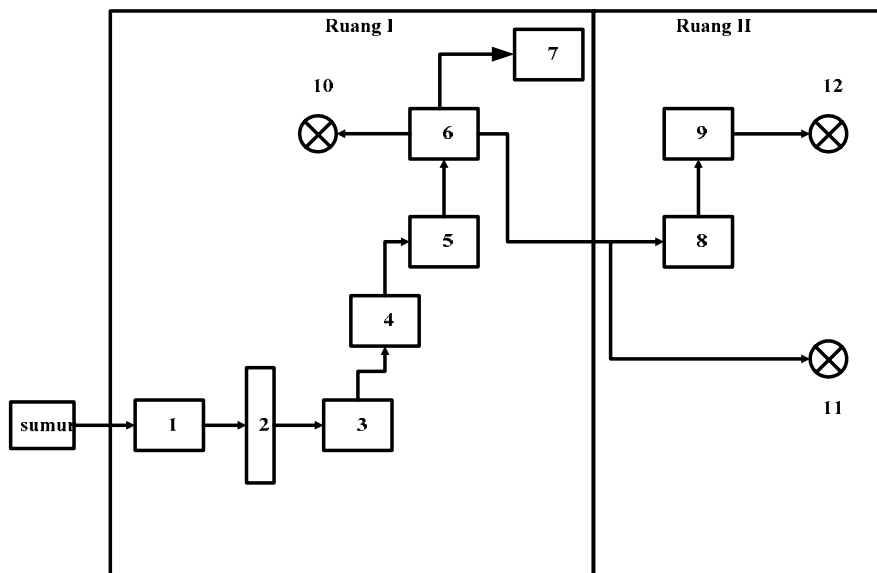
Gambar 4.1 Diagram alir pengumpulan data dan analisis

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini antara lain kapasitas produksi tersedia unit produksi *distilled water*, kapasitas produksi optimal unit produksi *distilled water*, analisis sistem penggunaan *aquadest*, dan alternatif solusi penyelesaian masalah.

Selengkapnya diagram alir penggunaan air pada area produksi *mini factory Bioceramic* dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Diagram alir penggunaan air

Keterangan:

1. Tangki 1 (*raw water tank*), kapasitas 500 L
2. *Water Purifier*
3. Tangki 2 (*treatment water tank*) kapasitas 500 L
4. Mesin destilasi
5. Tangki 3 (Tangki *aquadest*) kapasitas 500 L
6. Tangki 4 (Tangki *aquadest*) kapasitas 500 L
7. *Magnetic stirrer* 1
8. Tangki 5 (Tangki *aquadest*) kapasitas 500 L



9. Tangki 6 (Tangki *aquadest*) kapasitas 500 L
10. Kran pencucian 1
11. Kran pencucian 2
12. *Magnetic stirrer* 2

5.1 Hasil Perhitungan Kapasitas Produksi Tersedia

Kapasitas produksi mesin destilasi TS-20L/H dihitung berdasarkan kecepatan produksi mesin karena mesin ini bekerja secara kontinyu. Kapasitas produksi tersedia mesin dapat dihitung dengan Persamaan 4.1 sebagai berikut:

$$PC = W \times H \times PR \times SW \quad (4.1)$$

dimana, PC : Kapasitas Produksi
 W : Jumlah Mesin
 H : Jumlah jam beroperasi
 PR : Kecepatan produksi
 SW : Jumlah *shift*

Kapasitas produksi tersedia mesin destilasi TS-20L/H per hari dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.1 sebagai berikut:

$$PC = 1 \times 8 \times 20 \times 1$$

$$PC = 160L$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, didapatkan bahwa kapasitas produksi mesin destilasi adalah 160 L dalam satu hari. Sehingga kapasitas produksi dalam 1 tahun adalah 49500 L. Kondisi operasi yang digunakan sama dengan perencanaan bisnis yang dilakukan oleh Sutantyo (2008), dimana minifactory *hidroxy apatite* beroperasi selama 1 *shift* (8 jam) dalam satu hari, dan 5 hari dalam satu minggu.

Penggunaan cara yang sama dilakukan untuk menghitung kapasitas produksi hidoksiapatit dalam periode waktu satu tahun. Untuk melakukan perhitungan tersebut perlu diketahui kecepatan produksi dari *mini factory*. Kecepatan produksi ini dihitung



berdasarkan waktu siklus proses produksi *hidroxy apatite*. Kecepatan produksi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

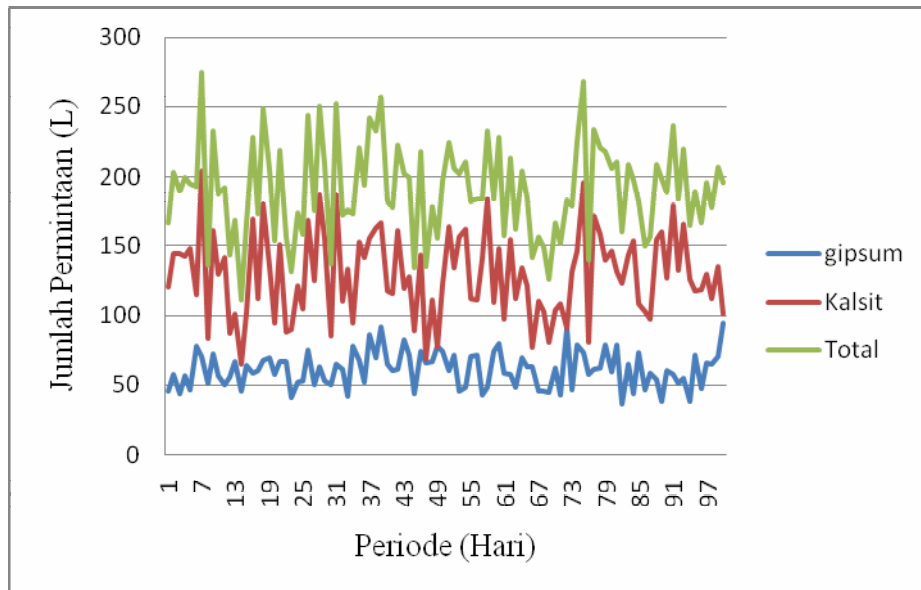
$$\text{Production rate} = \frac{1}{\text{cycle time}} \quad (5.2)$$

Waktu siklus merupakan waktu antara keluarnya produk pertama dengan produk setelahnya. Waktu siklus didapatkan dari waktu proses terlama dari masing-masing proses. Dengan demikian waktu siklus proses produksi hidroksiapatit dengan bahan baku gipsum adalah 5 menit. Waktu 5 menit ini adalah waktu yang diperlukan untuk mengeringkan *hidroxy apatite* didalam *microwave*. Sedangkan untuk *hidroxy apatite* menggunakan bahan baku kalsit memiliki waktu siklus 5. Dengan demikian kecepatan produksi *hidroxy apatite* dengan bahan baku gipsum yang dihitung menggunakan Persamaan 5.2 adalah 12 batch/ jam atau sebesar 115,2 g/ jam. Kecepatan produksi dengan bahan baku kalsit sama dengan bahan baku gipsum.

5.2 Hasil Perhitungan Kapasitas Produksi Optimal

Kapasitas produksi optimal dari unit produksi *Distilled water* TS-20L/H dihitung dengan mempertimbangkan jumlah permintaan yang terjadi pada periode waktu tertentu. Berdasarkan perbandingan perhitungan kapasitas desain dengan jumlah permintaan yang datang, maka jumlah *aquadest* yang diproduksi tidak mampu mencukupi jumlah permintaan yang datang.

Perhitungan jumlah permintaan *aquadest* dilakukan menggunakan metode Monte Carlo dimana beberapa variabel merupakan variabel acak. Variabel acak tersebut antara lain jumlah yang hidroksiapatit yang diproduksi dalam 1 hari. Ketidakpastian disebabkan oleh proses produksi yang manual dan tidak pasti, misalnya jumlah pembilasan tidak pasti karena parameter yang digunakan adalah pH larutan yang mempunyai perbedaan antara satu larutan dengan yang lain. Perhitungan secara detail menggunakan metode Monte Carlo dapat dilihat pada Lampiran 2. Gambar 5.2 menggambarkan grafik jumlah permintaan air terhadap periode waktu.



Gambar 5.2. Grafik jumlah permintaan terhadap periode waktu

Tabel 5.2 menjelaskan hasil perhitungan kebutuhan *aquadest* pada *mini factory bioceramics* menggunakan metode Monte Carlo.

Tabel. 5.2 Perhitungan jumlah permintaan menggunakan metode Monte carlo

	Batch		Pembilasan				Pengenceran				Total (L)	
	Gipsum	Kalsit	Gipsum		Kalsit		Gipsum		Kalsit			
min	48	48	0,75	36	1,0095	48,456	0,25	12	0,337	16,176	112,632	
maks	96	96	0,5	48	2,019	193,824	0,25	24	0,337	32,352	298,176	
	56	67	0,584144	32,93337	1,683824	113,4975	0,25	14,09471	0,337	22,71536	183,2409	
	63	79	=RAND()*(\$C\$5-\$C\$4)+\$C\$4				156,2358	0,25	=K6+I6+G6+E6		5,55339	243,0231
	90	58	0,699197	32,66194	1,715551	84,41034	0,25	22,41298	0,337	19,70604	189,2137	
	56	77	0,63385	35,66821	1,254958	96,60816	0,25	14,06808	0,337	25,94265	172,2871	
	84	93	0,614621	51,57032	1,288048	120,0967	0,25	20,97646	0,337	31,42164	224,0651	
	56	62	0,681902	38,49263	1,518684	93,73322	0,25	14,11223	0,337	20,79965	167,1377	
	58	64	0,701482	40,75067	1,977794	126,4495	0,25	14,52306	0,337	21,54597	203,2692	
	64	49	0,55416	35,33131	1,031068	50,37096	0,25	15,93912	0,337	16,46353	118,1049	
	61	80	0,524434	32,12526	1,646893	131,1146	0,25	15,31425	0,337	26,82969	205,3838	
	65	85	0,531591	34,31685	1,756971	149,669	0,25	16,13875	0,337	28,70762	228,8322	

Tingkat kesalahan metode Monte Carlo ini dapat dihitung menggunakan Persamaan 5.3 berikut:

$$\varepsilon = \left(\frac{3\sigma}{N} \right)^2 \quad (5.3)$$

dimana: ε : tingkat kesalahan
 σ : standar deviasi
 N : jumlah iterasi

Jumlah iterasi yang harus dilakukan dalam metode Monte Carlo ini adalah sebanyak 3066 kali untuk tingkat kesalahan yang diinginkan kurang dari 2%,. Berdasarkan hasil iterasi tersebut, didapatkan jumlah *aquadestt* yang diperlukan dalam waktu 1 hari adalah sebanyak 195,0773L. Berdasarkan data perhitungan yang dihasilkan, maka kapasitas desain dari mesin destilasi yang digunakan tidak dapat memenuhi jumlah permintaan.

Tingkat kesalahan dari perhitungan yang dilakukan dihitung dengan menggunakan persamaan 5.3. Hasil yang didapatkan adalah 0,96 %.

Sebelum dilakukan perhitungan mengenai kapasitas optimal perlu dilakukan penetapan mengenai jumlah *safety stock aquadestt* yang harus tersedia untuk menghindari terjadinya *stock out*. Jumlah *aquadestt* yang harus disimpan dihitung berdasarkan Persamaan 4.3 dan 4.4 berikut:

$$Z_i = \max(0, Z_i + X_i - D_i) \text{ jika } v > Z_i + X_i - D_i \quad (4.3)$$

$$Z_i = v \text{ jika } v \leq Z_i + X_i - D_i \quad (4.4)$$

dimana, D = jumlah permintaan
 X = *inflow*
 Z = jumlah air yang harus disimpan
 V = volume tangki
 i = hari

Jumlah *safety stock* yang ditetapkan adalah 20 L. pertimbangan yang digunakan adalah pada jam pertama ketika mesin destilasi sedang beroperasi, dan belum menghasilkan *aquadestt*, maka proses produksi *hidroxy apatite* sudah dapat berjalan karena ada persediaan paling tidak sebesar 20 L. Perhitungan menggunakan metode Monte Carlo dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Perhitungan jumlah *aquadest* yang harus tersedia

	SS (L)	<i>Demand</i> (L)	<i>Storage</i> (L)
min	20	112,632	132,632
maks	20	298,176	318,176
	20	201,218	221,218
	20	274,418	294,418
	20	255,661	275,661
	20	187,85	207,85

Hasil yang diperoleh dari perhitungan menggunakan Monte Carlo ini sebesar 215,5 L *aquadestt* harus tersedia pada setiap hari untuk dapat memenuhi jumlah permintaan.. Kapasitas produksi *aquadestt* yang seharusnya dimiliki oleh mesin destilasi untuk memenuhi jumlah permintaan minimal sebesar jumlah permintaan ditambah dengan *safety stock*. Sehingga, kapasitas produksi minimal yang harus tersedia adalah sebesar 215,5 L per hari atau 27 L per jam.

5.3 Analisis Sistem Penggunaan Air

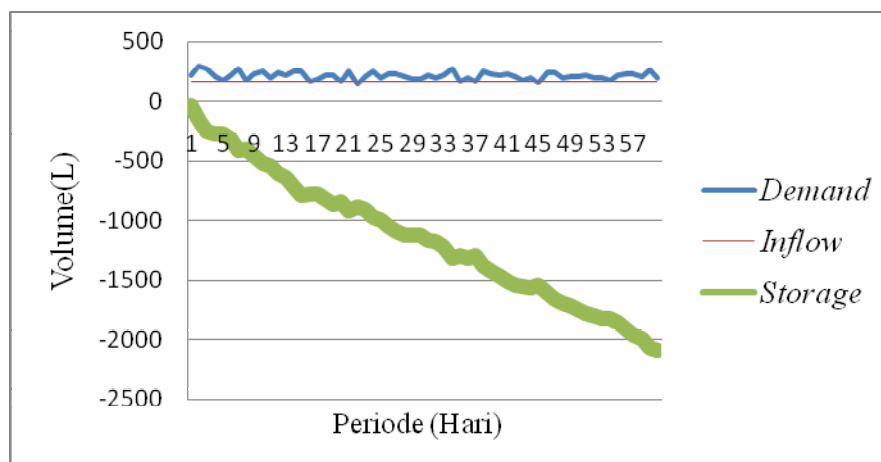
Simulasi menggunakan MS Excel dilakukan untuk dapat mengetahui periode waktu yang mengalami *stock out*. Pada simulasi menggunakan kapasitas destilasi yang tersedia dapat diketahui bahwa *stock out* terjadi sebagian besar periode. Hal ini dikarenakan kapasitas destilasi tidak mampu mencukupi kebutuhan *aquadestt* setiap periode waktu. Simulasi menggunakan kapasitas produksi mesin destilasi tersedia secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3. Tabel 5.5 dan Gambar 5.3 menjelaskan pelaksanaan simulasi menggunakan kapasitas produksi mesin destilasi tersedia selama 1 bulan.

Tabel 5.4 Simulasi dengan kapasitas produksi tersedia

	SS (L)	<i>Demand</i> (L)	D+SS(L)	<i>Inflow</i> (L)	<i>Storage</i> (L)
min	20	112.632	132,632	160	27,368
maks	20	298,176	318,176	160	-158,18
	20	201,22	221,22	160	-41,22

Tabel 5.4 Simulasi dengan Kapasitas produksi tersedia (Lanjutan)

	SS (L)	<i>Demand</i> (L)	D+SS(L)	<i>Inflow</i> (L)	<i>Storage</i> (L)
	20	274,42	294,42	160	-155,64
	20	255,66	275,66	160	-251,30
	20	187,85	207,85	160	-279,15
	20	159,89	179,89	160	-279,04
	20	200,67	220,67	160	-319,71
	20	252,79	272,79	160	-412,49
	20	154,12	174,12	160	-406,61
	20	210,40	230,40	160	-457,01
	20	227,96	247,96	160	-524,97
	20	181,31	201,31	160	-546,28
	20	217,94	237,94	160	-604,22
	20	200,68	220,68	160	-644,91
	20	227,39	247,39	160	-712,30
	20	237,15	257,15	160	-789,44
	20	149,58	169,58	160	-779,02
	20	163,32	183,32	160	-782,34
	20	198,37	218,37	160	-820,71
	20	200,34	220,34	160	-861,05
	20	142,07	162,07	160	-843,12
	20	232,52	252,52	160	-915,64

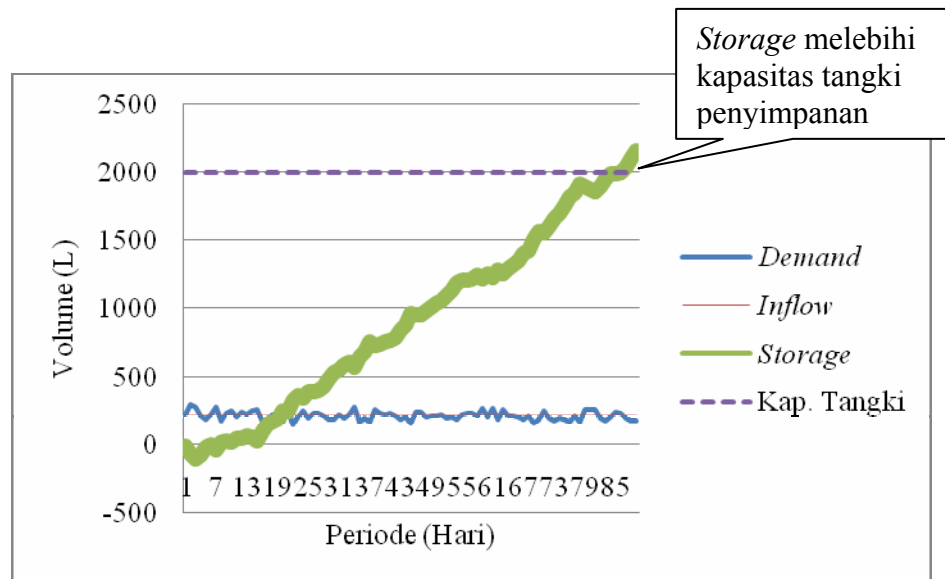


Gambar 5.3 Simulasi kapasitas produksi tersedia

Pada simulasi menggunakan kapasitas produksi optimal, dapat diketahui bahwa jumlah stock out dapat dikurangi secara signifikan. Sehingga, proses produksi *hidroxy apatite* dapat terus dilakukan tanpa ada kendala pada kekurangan jumlah *aquadestt*. Simulasi menggunakan kapasitas produksi mesin destilasi optimal secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4. Tabel 5.6 dan Gambar 5.4 menjelaskan pelaksanaan simulasi menggunakan kapasitas produksi optimal mesin destilasi.

Tabel 5.5 Simulasi dengan kapasitas produksi optimal

	SS (L)	<i>Demand</i> (L)		<i>Inflow</i> (L)	<i>Storage</i> (L)
min	20	112,632	132,632	216	83,368
maks	20	298,176	318,176	216	-102,18
	20	201,218	221,218	216	-5,2179
	20	274,418	294,418	216	-63,636
	20	255,661	275,661	216	-103,3
	20	187,85	207,85	216	-75,147
	20	159,889	179,889	216	-19,036
	20	200,673	220,673	216	-3,7085
	20	252,786	272,786	216	-40,494
	20	154,12	174,12	216	21,3859
	20	210,399	230,399	216	26,9867
	20	227,958	247,958	216	15,0287
	20	181,312	201,312	216	49,7169
	20	217,938	237,938	216	47,7789
	20	200,685	220,685	216	63,0944
	20	227,393	247,393	216	51,7015
	20	237,146	257,146	216	30,556
	20	149,58	169,58	216	96,9758
	20	163,319	183,319	216	149,657
	20	198,37	218,37	216	167,287
	20	200,337	220,337	216	182,95
	20	142,068	162,068	216	256,882
	20	232,518	252,518	216	240,365



Gambar 5.4. Simulasi dengan kapasitas produksi optimal

Menggunakan simulasi ini, didapatkan periode dimana jumlah storage melebihi volume tangki penyimpanan yang tersedia. Sehingga, dalam keadaan tersebut mesin destilasi tidak akan dioperasikan. Kebutuhan *aquadest* akan dicukupi dari *aquadest* yang telah tersimpan dalam tangki penyimpanan. Kondisi ini terjadi pada periode ke-87 dimana jumlah storage mencapai 2035 L. Mesin destilasi harus dimatikan pada periode ke-86.

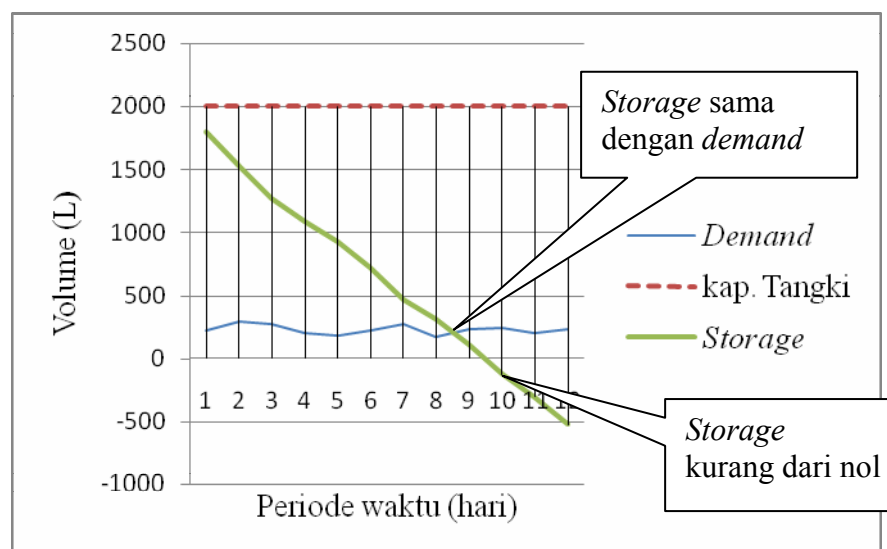
Simulasi dilakukan menggunakan kondisi awal tangki penuh untuk mengetahui jumlah periode yang mampu *disupply* oleh *aquadest* yang disimpan di dalam tangki. Hasil yang didapatkan adalah bahwa pada periode ke-10 jumlah air yang tersimpan adalah -124,9 L dan jumlah *storage* setelah periode 8 adalah sama dengan *demand*. Sehingga pada periode ke-9 mesin destilasi kembali dioperasikan. Tabel 5.7 dan Gambar 5.5 menggambarkan simulasi yang dilakukan dengan kondisi awal tangki penuh.

Tabel 5.6 Simulasi dengan kondisi awal tangki penuh

	SS(L)	<i>Demand</i> (L)	Total (L)	Kap. Tangki (L)	<i>Storage</i> (L)
min	20	112,632	132,632		83,368
maks	20	298,176	318,176		-102,176
1	20	2,012,179	2,212,179	2000	1,798,782

Tabel 5.6 Simulasi dengan kondisi awal tangki penuh (Lanjutan)

	SS(L)	<i>Demand</i> (L)	Total (L)	Kap. Tangki (L)	<i>Storage</i> (L)
2	20	2,744,182	2,944,182		1,524,364
3	20	2,556,605	2,756,605		1,268,703
4	20	1,878,502	2,078,502		1,080,853
5	20	1,598,889	1,798,889		920,9644
6	20	2,006,729	2,206,729		720,2915
7	20	2,527,857	2,727,857		467,5059
8	20	154,12	174,12		313,3859
9	20	2,103,992	2,303,992		102,9867
10	20	227,958	247,958		-124,971
11	20	1,813,118	2,013,118		-306,283
12	20	217,938	237,938		-524,221



Gambar 5.5. Simulasi dengan kondisi awal tangki penuh

Simulasi menggunakan metode monte carlo ini dapat menghasilkan jadwal produksi bagi mesin destilasi. Mesin destilasi harus melakukan produksi sampai pada periode ke-86 kemudian akan dimatikan. Setelah melewati 9 periode, mesin destilasi akan dioperasikan kembali. Dengan demikian mesin destilasi mampu

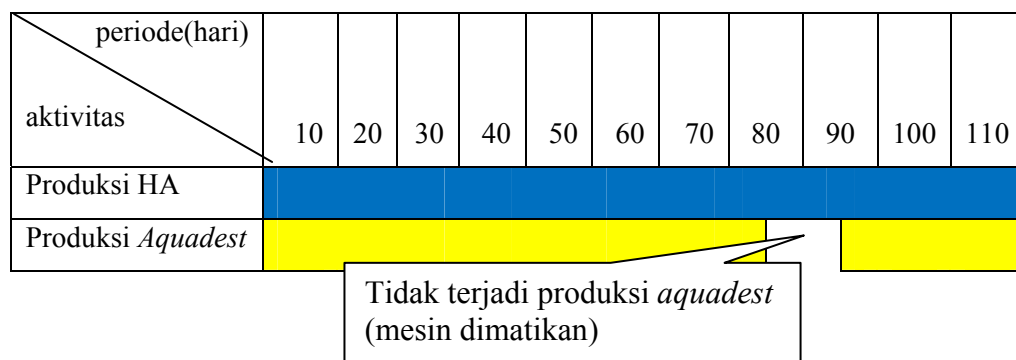
memenuhi permintaan dan dapat menjaga jumlah *aquadest* yang disimpan sehingga tidak melebihi volume tangki penyimpanan yang tersedia.

5.4 Alternatif Skenario

Hasil perhitungan kapasitas produksi dan simulasi menunjukkan bahwa kapasitas produksi unit produksi *distilled water* yang ada tidak mampu mencukupi kebutuhan *aquadest* pada *mini factory bioceramic*. Hal ini menyebabkan ketidaklancaran proses produksi *hidroxy apatite* yang terjadi di dalam *mini factory*. Terdapat tiga macam alternatif solusi dalam menyelesaikan masalah kekurangan *aquadest* dalam *mini factory*, yaitu:

1. Meningkatkan kapasitas produksi

Alternatif solusi yang pertama adalah peningkatan kapasitas produksi unit produksi *distilled water* sebesar 35% menjadi 216 L. Dengan peningkatan kapasitas produksi ini, kebutuhan *aquadest* di dalam *mini factory* dapat terpenuhi. Penjadwalan operasi dari unit produksi *distilled water* perlu dilakukan untuk menjaga tingkat penyimpanan *aquadest* di dalam tangki penyimpanan sehingga tidak terjadi kelebihan *stock* hingga melebihi kapasitas tangki dan tidak terjadi *stock out*. Gambar 5.6 menjelaskan mengenai jadwal operasi unit produksi *distilled water* dengan kapasitas produksi sebesar 216 L.



Gambar 5.6. Jadwal operasi unit produksi *distilled water*

Gambar 5.6 menjelaskan bahwa produksi *hidroxy apatite* akan dilakukan secara kontinyu. Mesin destilasi akan dioperasikan sampai

periode ke-86 kemudian dimatikan selama 9 periode. Hal ini dikarenakan jumlah stock *aquadest* yang telah melebihi kapasitas penyimpanan pada periode 87. Mesin destilasi akan dioperasikan kembali pada periode ke-95.

Akibat yang ditimbulkan dari peningkatan kapasitas produksi adalah harus adanya investasi dari *mini factory*. Besarnya investasi akan menjadi pertimbangan dalam pengambilan keputusan peningkatan kapasitas produksi. Dengan sudah tersedianya satu unit produksi *distilled water* dengan kapasitas produksi 160 L, maka perlu ditambahkan satu buah unit produksi dengan kapasitas 56 L untuk mencapai kapasitas optimal.

Investasi awal dari peningkatan kapasitas produksi ini adalah sebesar Rp. 25.000.000,00 yang merupakan biaya pembelian mesin destilasi. Biaya tambahan yang akan dikeluarkan dalam waktu satu bulan adalah berupa biaya utilitas mesin yang dihitung dari jumlah energi listrik yang digunakan dalam proses produksi. Jumlah energi listrik yang digunakan oleh satu unit produksi *distilled water* adalah sebesar 108 kwh dalam satu hari. Sehingga jumlah total biaya energi listrik dalam satu bulan dengan tarif dasar listrik Rp 915,00 per kwh adalah Rp. 1.976.400,00.

Apabila peningkatan kapasitas produksi dilakukan dengan cara menambah jam kerja dari mesin destilasi selama 2 jam setiap hari, maka diperlukan penambahan biaya pemakaian listrik sebesar Rp 494.100,00 sehingga jumlah total biaya listrik adalah Rp. 2.964.600,00 terdiri dari biaya pemakaian listrik sebesar Rp 2.470.500,00 dan biaya beban sebesar Rp 494.100,00.

2. Penyesuaian jumlah produksi *hidroxy apatite*

Alternatif solusi yang kedua adalah tetap menggunakan kapasitas produksi tersedia, namun jadwal produksi *hidroxy apatite* yang disesuaikan dengan ketersediaan *aquadest*. Dengan demikian, jumlah *aquadest* yang digunakan untuk periode waktu satu hari adalah sebesar 160 L.

Penentuan jumlah batch yang diproduksi dilakukan berdasarkan jumlah *aquadest* yang tersedia dengan asumsi penggunaan *aquadest* untuk proses pembilasan adalah tetap. Sehingga penentuan jumlah *batch* produksi *hidroxy apatite* kalsit maupun gipsum dilakukan menggunakan pendekatan algoritma *mix production* sebagai berikut:

$$\text{maks } Z = a + b \quad (5.6)$$

$$a + 2,355b \leq 160 \quad (5.7)$$

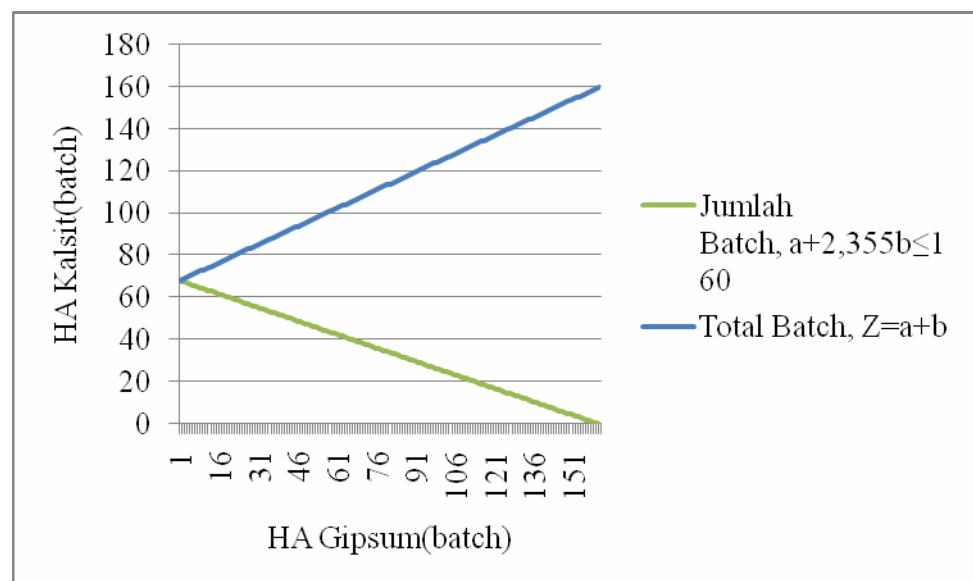
$$a, b \geq 0 \quad (5.8)$$

dimana,

z = jumlah total *batch* produksi

a = jumlah *batch* HA bahan baku gipsum

b = jumlah *batch* HA bahan baku kalsit



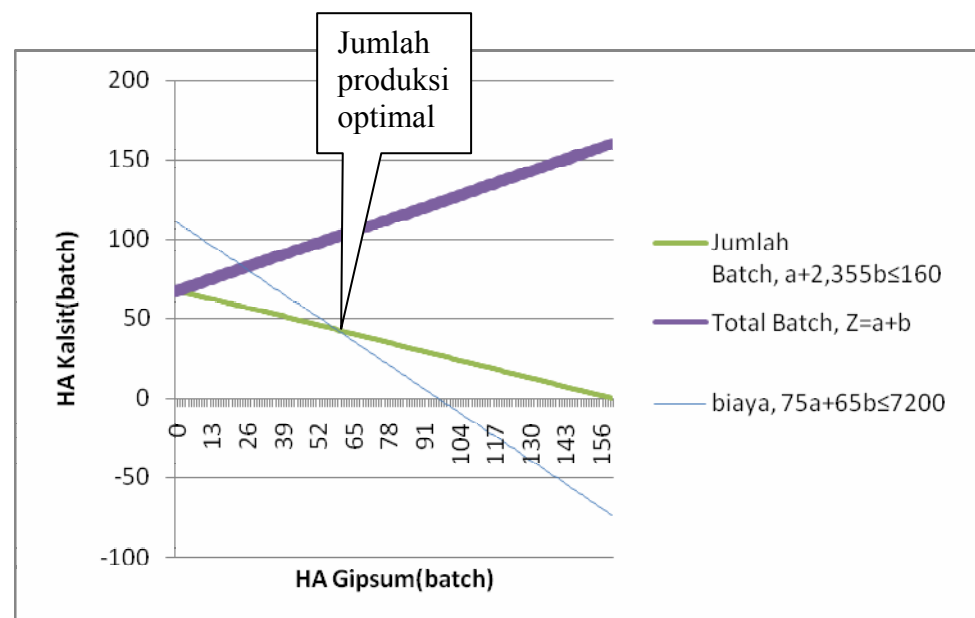
Gambar 5.7 Jumlah *batch* produksi *hidroxy apatite*

Berdasarkan Gambar 5.7 didapatkan bahwa jumlah total produksi maksimal dicapai pada saat produksi *hidroxy apatite* dengan bahan baku gipsum adalah 160 *batch* sedangkan bahan baku kalsit adalah 0 *batch*. Dengan demikian, apabila perhitungan jumlah produksi *hidroxy apatite* hanya didasarkan pada jumlah *aquadest* yang dibutuhkan, maka tidak perlu dilakukan produksi *hidroxy apatite* menggunakan bahan baku kalsit.

Akan tetapi, pada kenyataannya jumlah *hidroxy apatite* yang diproduksi tidak hanya berdasarkan pada jumlah *aquadest* yang dibutuhkan namun juga pada harga bahan baku yang digunakan.

Dengan adanya perhitungan harga bahan baku produksi, maka algoritma penentuan jumlah *batch* yang harus diproduksi ditambah dengan persamaan berikut:

$$75a + 65b \leq 7200 \quad (5.9)$$



Gambar 5.8 Jumlah *batch* produksi *hidroxy apatite* dengan perhitungan biaya

Berdasarkan Gambar 5.8 yang merupakan grafik *mix production* yang mempertimbangkan jumlah *aquadest* yang dibutuhkan dan harga bahan baku didapatkan bahwa dengan mempertahankan kapasitas produksi yang tersedia, maka jumlah *hidroxy apatite* yang diproduksi optimal adalah pada periode ke-59 yaitu sebesar 102 *batch* yang terdiri dari 59 *batch* dengan bahan baku gipsum dan 43 *batch* dengan bahan baku kalsit.

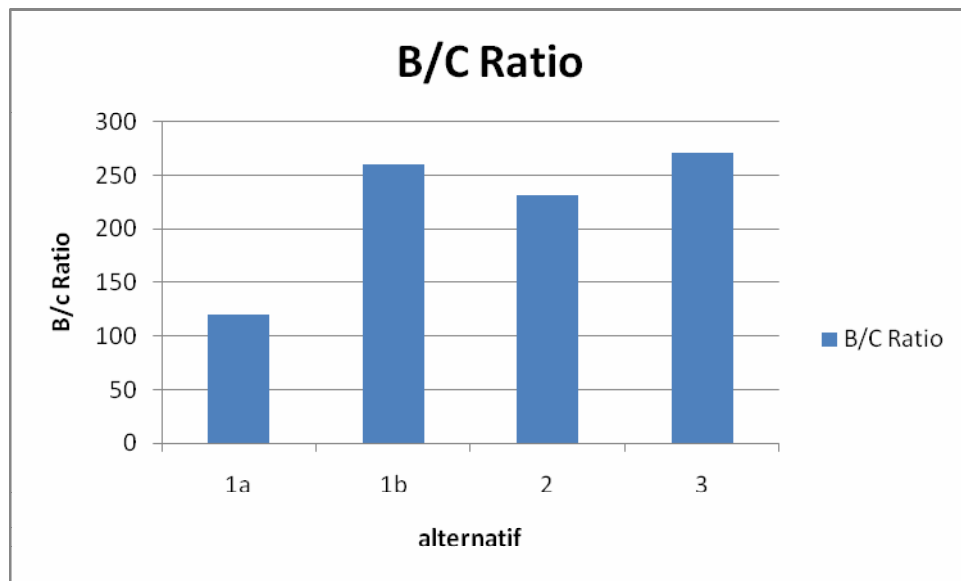
Dengan demikian jumlah produksi *hidroxy apatite* mengalami penurunan sebesar 29% dibandingkan dengan skenario pertama.

Akibat dari penurunan kapasitas produksi ini adalah penurunan jumlah keuntungan yang didapatkan oleh *mini factory*. Dalam satu bulan penurunan produksi mencapai 839 *batch*. Hal ini menyebabkan *mini factory* kehilangan pendapatan sebesar Rp 101.435.000,00 dan kehilangan keuntungan sekitar Rp 40.794.000,00 dengan harga jual *hidroxy apatite* sebesar Rp 126.100,00 per kemasan 10 g.

3. *Outsourcing*

Alternatif solusi yang ketiga adalah dengan tetap menggunakan kapasitas produksi yang tersedia kemudian memenuhi kekurangan dengan membeli *aquadest* dari luar. Apabila alternatif ini dilakukan, maka biaya tambahan yang harus dikeluarkan adalah berupa biaya pembelian *aquadest* yaitu sebesar Rp. 1.000,00 per liter. Berdasarkan rata-rata kekurangan *aquadest* per hari yaitu sebesar 56 L, maka biaya yang dikeluarkan per hari adalah sebesar Rp 56.000,00. Sehingga dalam proses produksi selama satu bulan, biaya yang dikeluarkan untuk pengadaan *aquadest* adalah sebesar Rp. 1.120.000,00.

Keputusan untuk memilih alternatif solusi yang terbaik dilakukan dengan melakukan *benefit-cost analysis*. Perbandingan alternatif dengan menggunakan *benefit-cost analysis* dapat dilihat pada Gambar 5.9. perhitungan *benefit-cost analysis* dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 5.9. Perbandingan *benefit-cost ratio* masing-masing alternatif

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa alternatif solusi yang paling baik menurut *benefit-cost analysis* adalah alternatif ke-3 yaitu *outsourcing*. Akan tetapi perbedaan ratio antara alternatif 3 dan 1b tidak terlalu signifikan. Sehingga diperlukan adanya pertimbangan lain dalam menentukan keputusan yang paling baik. Alternatif 1b dipilih karena lebih mudah diaplikasikan dibandingkan dengan alternatif 3. Hal ini dikarenakan alternatif 3 dapat menyebabkan ketergantungan *mini factory* dengan pihak lain secara berkepanjangan.

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

1. Kapasitas yang tersedia dari mesin destilasi tidak mampu memenuhi permintaan aquades yang datang. Perlu dilakukan penambahan kapasitas menjadi 216 L per hari untuk dapat memenuhi jumlah permintaan
2. Terdapat tiga macam alternatif solusi yaitu peningkatan kapasitas produksi, penjadwalan produksi hidroksiapatit yang disesuaikan dengan ketersediaan aquades, dan *outsourcing*.
 - 2.1. Dengan peningkatan kapasitas menjadi 216 L atau sebesar 35 % dari kapasitas tersedia diketahui bahwa pada periode 87 Tangki penyimpanan tidak mampu menampung jumlah aquades yang diproduksi. Dengan kondisi awal tangki penuh, kebutuhan aquades mampu dipenuhi selama 9 periode tanpa perlu melakukan produksi aquades. Sehingga mesin destilasi dioperasikan selama 86 periode kemudian dimatikan, dan dioperasikan kembali pada periode ke 95. Tambahan biaya operasional yang harus dikeluarkan adalah sebesar Rp. 3.024.000,00 per bulan.
 - 2.2. Penyesuaian jumlah produksi hidroksiapatit sesuai dengan ketersediaan kapasitas unit produksi *distilled water* dapat menurunkan kapasitas produksi hidroksiapatit sebesar 28%. Hal ini menyebabkan *mini factory* kehilangan pendapatan sebesar Rp 101.435.000,00 dan kehilangan keuntungan sekitar Rp 40.794.000,00 setiap bulan dengan harga jual hidroksiapatit sebesar Rp 126.100,00 per kemasan 10 g.
 - 2.3. Melakukan *outsourcing* aquades. Jumlah aquades yang dibeli adalah sama dengan kekurangan jumlah aquades yang dibutuhkan pada *mini factory*. Biaya yang dikeluarkan untuk melakukan *outsourcing* adalah sebesar Rp. 1.120.000,00 per bulan .

3. Alternatif yang paling baik menurut *benefit-cost analysis* adalah *outsourcing*. Akan tetapi perbedaan dengan alternatif penambahan kapasitas melalui penambahan jam kerja tidak terlalu signifikan. Sehingga alternative solusi yang dipilih adalah penambahan kapasitas dengan menambah jam kerja mesin per hari.

6.2. Saran

Perlu dilakukan perhitungan biaya dan kerugian yang mungkin ditimbulkan secara detail untuk setiap alternative solusi. Sehingga dapat diketahui alternative solusi yang paling optimal untuk dapat memaksimalkan keuntungan yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

Anis, M., Nandiroh,S., dan Utami, A.D., 2007, *Optimasi Perencanaan Produksi dengan Metode Goal Programming*, Jurnal Ilmiah Teknologi Industri Vol. 5 no. 3 April 2007, hal 133-143

Azhar, A., 2002, *Model Optimasi Perencanaan Investasi Galangan Kapal Dengan Pendekatan Programasi Tujuan Ganda*, Jurnal Makara Teknologi vol 6 no 3 Desember 2002

Devor, R.E., Chang, T.H, dan Sutherland, J.W., 1992, *Statistical quality design and control: contemporary concepts and method*, Macmillan Publishing Company: New York.

Diwekar. U.M., Madhavan, dan K.P., Swaney, R.E., 1989, *Optimization of Multi Component Batch Distillation Column*, Industrial & Engineering Chemical Research 1989, 28, 1011-1017.

Furuta, S., Katsuki, H., dan Komarmeni, S. 1998. *Porous Hidroxyapatite monolith From Gypsum Waste*, J. Mater Chan.8:2803-6.

Iritz, L., Kelemen, L., dan Szollosi-Nagy, A., 1982, *Application of mathematical models to predicting water demands, estimating the reliability of supply and controlling demands*, Optimal Allocation of Water Resources (Proceedings of the Exeter Symposium,July 1982).IAHS Publ.no.135.

Kolmetz, K., Summers, D.R., dan Soyza, C.A., 2005, *Optimize Distillation Column Design for Improve Reliability in Operation and Maintenance*, Kolmetz.com., *accessed*: 10 Juni 2010.

Mc Cabe, W. L., 2001, *Unit Operation of Chemical Engineering*, Mc Graw Hill: New York

Peric, T., 2009, *Determining Optimal Production Program with Fuzzy Multiple Criteria Programming Method*, Preceding of the international Multiconference of engineer and computer scientist 2009 Vol II

Priyanto, A., 2004, *Penentuan Kapasitas Produksi yang Optimal dengan Pendekatan Metode Goal Programming*, Skripsi Universitas Ahmad Dahlan

Sari, W.T.P., 2009, *Analisis Kapasitas Produksi Tersedia dan Kebutuhan Kapasitas Produksi dengan Menggunakan Rough-Cut Capacity Planning (RCCP) di Setiap Work Station (PT. Mega Andalan Kalasan, Yogyakarta)*, Skripsi Universitas Gadjah Mada

Sheikh, K., 2001, *Manufacturing Resource Planning (MRP II) with introduction to ERP, SCM, and RCM*, Mc Graw Hill: Singapore

Sutantyo, H., 2008, *Perencanaan Bisnis Pabrik Skala Kecil (minifactory) 2010 gr/batch Penghasil Hidroksiapatit Sintetis dengan Bahan Baku Kalsium Karbonat ($CaCO_3$)*, Skripsi Universitas Gadjah Mada

Ridha, V.H., 2009, *Pendekatan Model Fuzzy Goal Programming Dalam Penetapan Pembobotan Prioritas Dari Metode AHP*, Skripsi Universitas Sumatra Utara

Taha, H.A., 2003, *Operation Research an Introduction*, Pearson Education. Inc Upper Saddle River : New Jersey

Wongthatsanekorn, W., 2009, *A goal Programming Approach for Plastic Recycling System in Thailand*, World Academy of Science, Engineering, and Technology (49)

Winston, L. W., 2004, *Operation Research application and algorithms*, Thomson Learning: Singapura.

Yamit, Z., 2005, *Manajemen Produksi dan Operasi*. Ekonisia: Yogyakarta

Lampiran 1

Perhitungan Bahan Baku Produksi

Massa HA per reaksi (<i>Batch</i>)	9.6 gram
Mr HA	1004.62
Mol HA	0.009555852 mol
Mol Kalsit (dari persamaan reaksi)	0.09555852 mol
Mol TSP dodekahidrat (dari persamaan reaksi)	0.057335112 mol
Mr Kalsit	100.09
Massa kalsit	9.564452231 gram
Massa jenis kalsit	125 lbs/ft ³
	2002310 g/m ³
Volume Kalsit	4.776709016 ml
Mr TSP dodekahidrat	380.132
Massa TSP dodekahidrat	21.79491071 gram
Mr TSP	163.94
mol TSP tanpa dodekahidrat	0.024442848 mol
massa TSP tanpa dodekahidrat	4.007160459 gram
massa jenis serbuk TSP	1620 kg/m ³
Volume Serbuk TSP	2.473555839 ml
Perbandingan massa TSP dan TSP dodekahidrat	0.183857622
Konsentrasi Larutan TSP	0.5 Molar
Vol Larutan TSP	114.6702236 ml
Kebutuhan Aquades untuk pengenceran	112.1966677 ml

KEBUTUHAN BAHAN BAKU	
Serbuk kalsit	9.564 gram
Serbuk TSP	2.474 gram
Larutan TSP Dodekahidrat	21.795 gram
Air untuk pengenceran TSP	112.197 ml
Kebutuhan real larutan TSP dodekahidrat	65.385 gram
Kebutuhan real serbuk TSP	7.421 gram
Kebutuhan real aquades untuk pengenceran	336.590 ml
volume real larutan TSP 0.5M	344.011 ml
Kebutuhan real serbuk kalsit	28.693 gram
Kebutuhan aquades untuk pencucian	2019.064 ml

Lampiran 2

Perhitungan jumlah permintaan menggunakan metode Monte Carlo

	<i>Batch</i>		Pembilasan				Pengenceran				Total (L)
	Gipsum	Kalsit	Gipsum		Kalsit		Gipsum		Kalsit		
min	48	48	0,75	36	1,0095	48,456	0,25	12	0,337	16,176	112,632
maks	96	96	0,5	48	2,019	193,824	0,25	24	0,337	32,352	298,176
	56	67	0,584144	32,93337	1,683824	113,4975	0,25	14,09471	0,337	22,71536	183,2409
	63	79	0,709808	44,5449	1,982852	156,2358	0,25	15,68906	0,337	26,55339	243,0231
	90	58	0,699197	62,68434	1,443531	84,41034	0,25	22,41298	0,337	19,70604	189,2137
	56	77	0,63385	35,66821	1,254958	96,60816	0,25	14,06808	0,337	25,94265	172,2871
	84	93	0,614621	51,57032	1,288048	120,0967	0,25	20,97646	0,337	31,42164	224,0651
	56	62	0,681902	38,49263	1,518684	93,73322	0,25	14,11223	0,337	20,79965	167,1377
	58	64	0,701482	40,75067	1,977794	126,4495	0,25	14,52306	0,337	21,54597	203,2692
	64	49	0,55416	35,33131	1,031068	50,37096	0,25	15,93912	0,337	16,46353	118,1049
	61	80	0,524434	32,12526	1,646893	131,1146	0,25	15,31425	0,337	26,82969	205,3838
	65	85	0,531591	34,31685	1,756971	149,669	0,25	16,13875	0,337	28,70762	228,8322

	Batch		Pencucian				Pengenceran				Total
	Gypsum	Kalsit	Gypsum		Kalsit		Gypsum		Kalsit		
	83	87	0,558832	46,1098	1,691886	147,1996	0,25	20,62777	0,337	29,32009	243,2573
	86	81	0,545081	46,62878	1,398555	113,0526	0,25	21,38618	0,337	27,24147	208,309
	49	59	0,515477	25,3368	1,543163	91,08128	0,25	12,28803	0,337	19,89057	148,5967
	77	72	0,706604	54,39552	1,232716	88,22081	0,25	19,2454	0,337	24,11781	185,9795
	89	86	0,541429	48,30956	2,007881	172,6352	0,25	22,30649	0,337	28,97485	272,226
	94	83	0,636125	59,58374	1,945059	162,2729	0,25	23,41668	0,337	28,11532	273,3886
	75	59	0,516199	38,64101	1,076485	64,02141	0,25	18,7142	0,337	20,04229	141,4189
	67	93	0,648459	43,22083	1,984807	184,1906	0,25	16,66289	0,337	31,27368	275,348
	52	82	0,706405	36,56382	1,885368	154,5921	0,25	12,94011	0,337	27,63254	231,7285
	88	71	0,513255	44,99558	1,164399	82,39579	0,25	21,91675	0,337	23,84697	173,1551
	88	95	0,535448	47,28214	1,108239	104,9656	0,25	22,07598	0,337	31,91857	206,2423
	89	87	0,534918	47,51049	1,719678	149,2827	0,25	22,20455	0,337	29,25446	248,2522
	73	94	0,622562	45,40962	1,663947	155,824	0,25	18,23499	0,337	31,55912	251,0277
	67	64	0,693491	46,75284	1,187407	76,36256	0,25	16,85416	0,337	21,67259	161,6422
	91	84	0,741023	67,27969	1,221797	102,1175	0,25	22,69824	0,337	28,16638	220,2618

	Batch		Pencucian (L)				Pengenceran (L)				Total(L)
	Gypsum	Kalsit	Gypsum		Kalsit		Gypsum		Kalsit		
	69	94	0,611604	42,4456	1,065038	100,3071	0,25	17,35011	0,337	31,73924	191,842
	79	94	0,720222	57,18628	1,231948	115,3232	0,25	19,85022	0,337	31,54674	223,9065
	74	63	0,523363	38,80488	1,100526	68,88908	0,25	18,53631	0,337	21,09503	147,3253
	49	63	0,635467	30,89204	1,815807	115,0784	0,25	12,15328	0,337	21,35768	179,4814
	66	74	0,731905	48,50836	1,872818	138,7217	0,25	16,56921	0,337	24,96197	228,7612
	88	79	0,546012	48,17688	1,758075	138,1348	0,25	22,05853	0,337	26,47864	234,8488
	65	60	0,689168	44,76029	1,492169	89,63776	0,25	16,23708	0,337	20,24431	170,8794
	88	57	0,735152	64,65042	1,243017	71,21026	0,25	21,98538	0,337	19,30613	177,1522
	66	55	0,642533	42,19183	1,214927	66,65276	0,25	16,4162	0,337	18,48834	143,7491
	96	71	0,713115	68,36808	1,321887	94,21784	0,25	23,9681	0,337	24,01977	210,5738
	53	90	0,700367	36,77774	1,323374	119,4017	0,25	13,12802	0,337	30,40589	199,7133
	89	81	0,608046	54,3491	1,487811	119,8068	0,25	22,34579	0,337	27,1371	223,6388
	70	52	0,685675	47,78943	1,987523	103,8845	0,25	17,42422	0,337	17,61443	186,7126
	75	75	0,52441	39,09681	1,466694	110,7203	0,25	18,63849	0,337	25,44004	193,8957
	92	57	0,550402	50,59287	1,646609	94,24747	0,25	22,97997	0,337	19,28897	187,1093

	Batch		Pencucian(L)				Pengenceran(L)				Total(L)
	Gypsum	Kalsit	Gypsum		Kalsit		Gypsum		Kalsit		
	82	84	0,69632	56,93342	1,543387	129,7379	0,25	20,44081	0,337	28,32838	235,4405
	85	96	0,526061	44,73726	1,047116	100,0576	0,25	21,2605	0,337	32,20216	198,2575
	72	76	0,621102	44,98773	1,829145	139,5936	0,25	18,10802	0,337	25,7186	228,408
	54	92	0,566261	30,42005	1,295116	119,5251	0,25	13,43022	0,337	31,10141	194,4768
	85	73	0,544491	46,32279	1,11721	81,51037	0,25	21,26886	0,337	24,58714	173,6892
	77	90	0,521603	40,20209	1,081457	97,712	0,25	19,26851	0,337	30,4487	187,6313
	54	72	0,630878	34,36737	1,592505	115,2898	0,25	13,61887	0,337	24,3972	187,6733
	55	62	0,522247	28,48494	1,172706	72,45211	0,25	13,63577	0,337	20,82054	135,3934
	91	62	0,56969	51,66252	1,427864	88,27295	0,25	22,67131	0,337	20,83391	183,4407
	85	59	0,707446	60,09887	1,201525	70,75192	0,25	21,23797	0,337	19,84428	171,933
	53	72	0,514367	27,27458	1,571969	113,4336	0,25	13,25638	0,337	24,31799	178,2826
	87	70	0,746553	64,82499	1,670439	116,1643	0,25	21,70809	0,337	23,43538	226,1328
	60	86	0,553072	33,24465	1,338224	115,0756	0,25	15,02726	0,337	28,97908	192,3266
	73	76	0,595099	43,61748	1,035654	78,51788	0,25	18,32363	0,337	25,54958	166,0086
	60	78	0,626043	37,82381	1,105625	86,71231	0,25	15,10432	0,337	26,43035	166,0708

	Batch		Pencucian(L)				Pengenceran(L)				Total(L)
	Gypsum	Kalsit	Gypsum		Kalsit		Gypsum		Kalsit		
	55	54	0,618917	33,9263	1,407986	76,58043	0,25	13,7039	0,337	18,32945	142,5401
	60	68	0,718184	42,76383	1,529588	103,4184	0,25	14,88609	0,337	22,78522	183,8535
	81	49	0,667354	54,28542	1,068115	52,21847	0,25	20,33608	0,337	16,47541	143,3154
	56	62	0,645824	35,97677	1,640588	102,2813	0,25	13,9267	0,337	21,01004	173,1949
	52	58	0,547094	28,66685	1,3172	76,44918	0,25	13,09959	0,337	19,5592	137,7748
	74	50	0,527708	39,08988	1,943154	97,37137	0,25	18,51871	0,337	16,88705	171,867
	63	59	0,63675	39,8284	1,537547	89,97541	0,25	15,63738	0,337	19,72084	165,162
	53	67	0,552437	29,4475	1,876597	126,089	0,25	13,32619	0,337	22,64311	191,5058
	95	64	0,522012	49,61241	1,09204	69,84672	0,25	23,76019	0,337	21,55446	164,7738
	96	78	0,683012	65,31884	1,883837	147,3614	0,25	23,90836	0,337	26,3615	262,9501
	73	77	0,526129	38,48605	1,956221	151,11	0,25	18,28735	0,337	26,03186	233,9153
	81	89	0,659459	53,73987	1,411099	124,9471	0,25	20,3727	0,337	29,84	228,8997
	75	53	0,502964	37,92385	1,810418	95,66319	0,25	18,85018	0,337	17,80721	170,2444
	84	93	0,653977	55,16684	1,831398	169,6458	0,25	21,08899	0,337	31,21694	277,1186
	89	92	0,649882	57,62704	1,999614	183,6065	0,25	22,16826	0,337	30,94367	294,3455

	Batch		Pencucian(L)				Pengenceran(L)				Total(L)
	Gypsum	Kalsit	Gypsum		Kalsit		Gypsum		Kalsit		
	76	55	0,557172	42,25379	1,481573	81,57155	0,25	18,95905	0,337	18,55435	161,3387
	93	53	0,526631	48,9105	1,647651	86,86543	0,25	23,21859	0,337	17,7669	176,7614
	59	67	0,696176	41,08979	1,553602	103,5294	0,25	14,75554	0,337	22,45711	181,8319
	95	57	0,582014	55,04499	1,349901	76,36755	0,25	23,6442	0,337	19,065	174,1217
	80	93	0,633047	50,88341	1,981657	184,0478	0,25	20,09463	0,337	31,29912	286,325
	57	49	0,652836	37,05397	1,859534	90,47867	0,25	14,18961	0,337	16,39728	158,1195
	89	80	0,515072	45,91275	1,63433	131,3404	0,25	22,28464	0,337	27,08249	226,6203
	56	82	0,57984	32,54429	1,751552	143,2874	0,25	14,03158	0,337	27,56861	217,4319
	73	87	0,635062	46,38333	1,926055	167,5608	0,25	18,25937	0,337	29,31795	261,5214
	70	79	0,622284	43,76579	1,564173	123,23	0,25	17,58272	0,337	26,54982	211,1283
	63	59	0,558692	35,18883	1,888819	111,246	0,25	15,74608	0,337	19,84832	182,0292
	70	85	0,618526	43,03357	1,10571	94,19525	0,25	17,39358	0,337	28,70898	183,3314
	73	87	0,654947	47,77699	1,370512	118,7131	0,25	18,23697	0,337	29,19077	213,9178
	71	88	0,74901	52,96496	1,727825	152,5048	0,25	17,67832	0,337	29,74499	252,8931
	70	86	0,50918	35,73047	1,451645	124,6205	0,25	17,54316	0,337	28,93069	206,8248
	80	53	0,685563	54,58368	1,306718	68,8951	0,25	19,9047	0,337	17,76791	161,1514



	Batch		Pencucian				Pengenceran				Total
	Gypsum	Kalsit	Gypsum		Kalsit		Gypsum		Kalsit		
	63	62	0,736343	46,18321	1,81723	112,3738	0,25	15,67991	0,337	20,83939	195,0763
	71	52	0,515932	36,44693	1,486041	77,36897	0,25	17,66073	0,337	17,54551	149,0221
	59	74	0,608226	35,69422	1,269041	93,62828	0,25	14,67145	0,337	24,86345	168,8574
	95	94	0,660182	62,85851	2,010216	188,3647	0,25	23,80347	0,337	31,57815	306,6048
	83	67	0,52695	43,80166	1,771917	118,5897	0,25	20,78073	0,337	22,55451	205,7266
	83	83	0,640243	53,12625	1,845665	152,6994	0,25	20,74457	0,337	27,88139	254,4516
	77	83	0,646931	49,49926	1,167207	96,95558	0,25	19,1285	0,337	27,99334	193,5767
	90	67	0,523193	46,89954	1,56872	104,4588	0,25	22,41027	0,337	22,44035	196,209
	66	49	0,603225	39,73587	1,39437	68,57307	0,25	16,46811	0,337	16,57317	141,3502
	58	90	0,664685	38,71766	1,137239	102,7623	0,25	14,5624	0,337	30,45172	186,4941
	79	65	0,564004	44,40413	1,155359	75,61624	0,25	19,68255	0,337	22,05606	161,759
	92	75	0,644112	59,41765	1,288943	96,39459	0,25	23,06185	0,337	25,20281	204,0769
	91	92	0,744667	67,66637	1,617437	148,0169	0,25	22,71698	0,337	30,83996	269,2402
	78	61	0,649373	50,62653	1,874654	114,332	0,25	19,49055	0,337	20,55306	205,0021
	94	94	0,507078	47,56314	1,304095	122,8635	0,25	23,44962	0,337	31,74998	225,6262

Lampiran 3

Tabel Simulasi dengan Kapasitas produksi tersedia

	SS (L)	<i>Demand</i> (L)		<i>Inflow</i> (L)	<i>Storage</i> (L)
min	20	112,632	132,632	160	27,368
maks	20	298,176	318,176	160	-158,18
	20	201,22	221,22	160	-41,22
	20	274,42	294,42	160	-155,64
	20	255,66	275,66	160	-251,30
	20	187,85	207,85	160	-279,15
	20	159,89	179,89	160	-279,04
	20	200,67	220,67	160	-319,71
	20	252,79	272,79	160	-412,49
	20	154,12	174,12	160	-406,61
	20	210,40	230,40	160	-457,01
	20	227,96	247,96	160	-524,97
	20	181,31	201,31	160	-546,28
	20	217,94	237,94	160	-604,22
	20	200,68	220,68	160	-644,91
	20	227,39	247,39	160	-712,30
	20	237,15	257,15	160	-789,44
	20	149,58	169,58	160	-779,02
	20	163,32	183,32	160	-782,34
	20	198,37	218,37	160	-820,71
	20	200,34	220,34	160	-861,05
	20	142,07	162,07	160	-843,12
	20	232,52	252,52	160	-915,64
	20	125,86	145,86	160	-881,5
	20	185,347	205,347	160	-906,84
	20	229,902	249,902	160	-976,74
	20	174,792	194,792	160	-991,54
	20	212,347	232,347	160	-1043,9
	20	206,19	226,19	160	-1090,1
	20	187,772	207,772	160	-1117,8
	20	164,088	184,088	160	-1121,9



	20	163,997	183,997	160	-1125,9
	20	198,644	218,644	160	-1164,6
	20	175,189	195,189	160	-1179,8
	20	199,17	219,17	160	-1218,9
	20	253,489	273,489	160	-1312,4
	20	144,978	164,978	160	-1297,4
	20	176,669	196,669	160	-1314,1
	20	142,621	162,621	160	-1296,7
	20	237,095	257,095	160	-1373,8
	20	206,557	226,557	160	-1420,3
	20	201,282	221,282	160	-1461,6
	20	208,767	228,767	160	-1510,4
	20	192,261	212,261	160	-1542,7
	20	161,492	181,492	160	-1544,1
	20	177,269	197,269	160	-1561,4
	20	137,891	157,891	160	-1539,3
	20	217,64	237,64	160	-1596,9
	20	221,881	241,881	160	-1658,8
	20	183,807	203,807	160	-1682,6
	20	186,923	206,923	160	-1709,6
	20	191,398	211,398	160	-1741
	20	196,376	216,376	160	-1777,3
	20	176,822	196,822	160	-1794,2
	20	179,32	199,32	160	-1813,5
	20	160,502	180,502	160	-1814
	20	198,437	218,437	160	-1852,4
	20	212,171	232,171	160	-1904,6
	20	207,48	227,48	160	-1952,1
	20	190,435	210,435	160	-1982,5
	20	243,482	263,482	160	-2066
	20	177,432	197,432	160	-2083,4
	20	248,28	268,28	160	-2171,7
	20	158,5	178,5	160	-2170,2
	20	239,675	259,675	160	-2249,9
	20	186,477	206,477	160	-2276,3
	20	187,355	207,355	160	-2303,7



	20	182,818	202,818	160	-2326,5
	20	163,588	183,588	160	-2330,1
	20	191,484	211,484	160	-2361,6
	20	131,352	151,352	160	-2332,9
	20	164,321	184,321	160	-2337,3
	20	228,632	248,632	160	-2405,9
	20	168,375	188,375	160	-2414,3
	20	157,456	177,456	160	-2411,7
	20	173,178	193,178	160	-2424,9
	20	163,758	183,758	160	-2428,7
	20	148,993	168,993	160	-2417,7
	20	193,715	213,715	160	-2451,4
	20	143,774	163,774	160	-2435,1
	20	238,586	258,586	160	-2513,7
	20	233,003	253,003	160	-2586,7
	20	238,081	258,081	160	-2664,8
	20	173,927	193,927	160	-2678,7
	20	157,093	177,093	160	-2675,8
	20	185,117	205,117	160	-2700,9
	20	216,748	236,748	160	-2757,7
	20	204,853	224,853	160	-2802,5
	20	173,515	193,515	160	-2816,1
	20	156,991	176,991	160	-2813,1
	20	157,104	177,104	160	-2810,2
	20	133,814	153,814	160	-2784

Lampiran 4

Simulasi dengan kapasitas produksi optimal

	SS (L)	Demand (L)		Inflow(L)	Storage(L)
min	20	112.632	132,632	160	27,368
maks	20	298,176	318,176	160	-158,18
min	20	112.63	132.63	216	83.37
maks	20	298.18	318.18	216	-102.18
	20	201.22	221.22	216	-5.22
	20	274.42	294.42	216	-63.64
	20	255.66	275.66	216	-103.30
	20	187.85	207.85	216	-75.15
	20	159.89	179.89	216	-19.04
	20	200.67	220.67	216	-3.71
	20	252.79	272.79	216	-40.49
	20	154.12	174.12	216	21.39
	20	210.40	230.40	216	26.99
	20	227.96	247.96	216	15.03
	20	181.31	201.31	216	49.72
	20	217.94	237.94	216	47.78
	20	200.68	220.68	216	63.09
	20	227.39	247.39	216	51.70
	20	237.15	257.15	216	30.56
	20	149.58	169.58	216	96.98
	20	163.32	183.32	216	149.66
	20	198.37	218.37	216	167.29
	20	200.34	220.34	216	182.95
	20	142.067	162.067	216	256.882
	20	232.518	252.518	216	240.365
	20	125.86	145.86	216	330.505
	20	185.347	205.347	216	361.158
	20	229.902	249.902	216	347.256
	20	174.792	194.792	216	388.464
	20	212.347	232.347	216	392.117
	20	206.19	226.19	216	401.928



	20	187.772	207.772	216	430.156
	20	164.088	184.088	216	482.068
	20	163.997	183.997	216	534.071
	20	198.644	218.644	216	551.427
	20	175.189	195.189	216	592.239
	20	199.17	219.17	216	609.068
	20	253.489	273.489	216	571.58
	20	144.978	164.978	216	642.601
	20	176.669	196.669	216	681.933
	20	142.621	162.621	216	755.312
	20	237.095	257.095	216	734.217
	20	206.557	226.557	216	743.66
	20	201.282	221.282	216	758.378
	20	208.767	228.767	216	765.611
	20	192.261	212.261	216	789.35
	20	161.492	181.492	216	843.858
	20	177.269	197.269	216	882.589
	20	137.891	157.891	216	960.697
	20	217.64	237.64	216	959.058
	20	221.881	241.881	216	953.176
	20	183.807	203.807	216	985.369
	20	186.923	206.923	216	1014.45
	20	191.398	211.398	216	1039.05
	20	196.376	216.376	216	1058.67
	20	176.822	196.822	216	1097.85
	20	179.32	199.32	216	1134.53
	20	160.502	180.502	216	1190.03
	20	198.437	218.437	216	1207.59
	20	212.171	232.171	216	1211.42
	20	207.48	227.48	216	1219.94
	20	190.435	210.435	216	1245.5
	20	243.482	263.482	216	1218.02
	20	177.432	197.432	216	1256.59
	20	248.28	268.28	216	1224.31
	20	158.5	178.5	216	1281.81
	20	239.675	259.675	216	1258.13



	20	186.477	206.477	216	1287.66
	20	187.355	207.355	216	1316.3
	20	182.818	202.818	216	1349.48
	20	163.588	183.588	216	1401.9
	20	191.484	211.484	216	1426.41
	20	131.352	151.352	216	1511.06
	20	164.321	184.321	216	1562.74
	20	228.632	248.632	216	1550.11
	20	168.375	188.375	216	1597.73
	20	157.456	177.456	216	1656.28
	20	173.178	193.178	216	1699.1
	20	163.758	183.758	216	1751.34
	20	148.993	168.993	216	1818.35
	20	193.715	213.715	216	1840.63
	20	143.774	163.774	216	1912.86
	20	238.586	258.586	216	1890.27
	20	233.003	253.003	216	1873.27
	20	238.081	258.081	216	1851.19
	20	173.927	193.927	216	1893.26
	20	157.093	177.093	216	1952.17
	20	185.117	205.117	216	1983.05
	20	216.748	236.748	216	1982.3
	20	204.853	224.853	216	1993.45

Lampiran 5

Perhitungan B/C Ratio

alternatif 1a						
	benefit					
Tahun		1	2	3	4	5
		4,183,695,360.00	5020434432	6024521318	7229425582	8675310698
PV						total
4.184E+09		4365595158	4555403643	4753464671	4960137048	22818295881.43
	cost					
Tahun		1	2	3	4	5
		86288000	36288000	36288000	36288000	36288000
PV						
86288000		31554782.61	27438941.4	23859949.04	20747781.78	189889454.8
	B/C Ratio					
		120.17				

alternatif 1b					
	benefit				
Tahun	1.00	2	3	4	5
	4183695360.00	5020434432	6024521318	7229425582	8675310698
PV					total
4.184E+09	4365595158.26	4555403643	4753464671	4960137048	22818295881
	cost				
Tahun	1.00	2	3	4	5
	22680000.00	22680000	22680000	22680000	22680000
PV					
22680000	19721739.13	17149338.37	14912468.15	12967363.61	87430909.27
	B/C Ratio				
	260.99				

alternatif 2					
	benefit				
Tahun	1	2	3	4	5
	2963450880	3556141056	4267369267	5120843121	6145011745
PV					
2.963E+09	3092296570	3226744247	3367037476	3513430409	16162959583
	cost				
Tahun	1	2	3	4	5
	18144000	18144000	18144000	18144000	18144000

PV	18144000	15777391.3	13719470.7	11929974.52	10373890.89	69944727.41
		B/C Ratio				
		231.0818868				

alernatif 3						
	benefit					
		4183695360	5020434432	6024521318	7229425582	8675310698
PV						
4.184E+09		4365595158	4555403643	4753464671	4960137048	22818295881
	cost					
		19464000	19152000	21840000	24528000	27216000
PV						
19464000		16653913.04	16514177.69	16127558.15	15560836.33	84320485.22
	B/C Ratio					
		270.61				