

TUGAS AKHIR

**OPTIMASI AGGREGATE PLANNING DENGAN METODE
LEAST COST, VOGEL, DAN STEPPING STONE
DI PT. SINAR SEMESTA CEPER KLATEN**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Industri



Disusun oleh :

CAHYO WIBOWO NUGROHO

00 522 074

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2012

PENGESAHAN

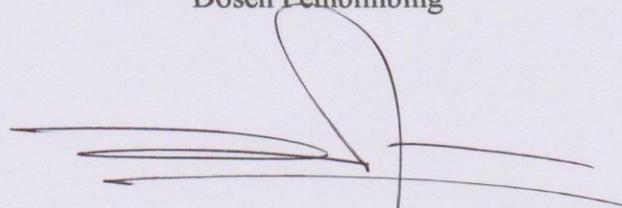
**OPTIMASI AGGREGATE PLANNING DENGAN METODE *LEAST COST*,
VOGEL, DAN *STEPPING STONE*
DI PT. SINAR SEMESTA CEPER KLATEN**

Nama : Cahyo Wibowo Nugroho
Nomor Mahasiswa : 00 522 074
Jurusan : Teknik Industri

Yogyakarta, 12 Maret 2012

Telah disetujui dan disahkan oleh

Dosen Pembimbing



Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc

TUGAS AKHIR

**OPTIMASI AGGREGATE PLANNING DENGAN METODE
LEAST COST, VOGEL, DAN STEPPING STONE
DI PT. SINAR SEMESTA CEPER KLATEN**

Oleh :

Nama : Cahyo Wibowo Nugroho
No. Mahasiswa : 00522074

Telah Dipertahankan di depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, 29 Maret 2012

Tim Penguji

Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc
Ketua

Ir. Sunaryo, MP
Anggota 1

H. Taufik Immawan, ST, MM
Anggota 2

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Drs. HM. Ibnu Mastur, M.Si.E

9
4 2012 .

HALAMAN MOTTO

أَقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ ۝ خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ ۝ اقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ ۝

الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ ۝ عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ ۝

“Bacalah dengan nama Tuhanmu yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah. Yang mengajar dengan Qalam. Dialah yang mengajar manusia segala yang belum diketahui” (Qur’an Surat Al ‘Alaq : 1-5)

إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّى يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ

*“... Sesungguhnya Allah tidak pernah merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri ...”
(Qur’an Surat Ar Ra’du : 11)*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, atas nikmat dari Allah, skripsi dengan judul “OPTIMASI *AGGREGATE PLANNING* DENGAN METODE *LEAST COST*, *VOGEL*, DAN *STEPPING STONE* DI PT. SINAR SEMESTA CEPER KLATEN” dapat penulis selesaikan. Skripsi ini disusun untuk diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata satu pada Universitas Islam Indonesia Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Industri.

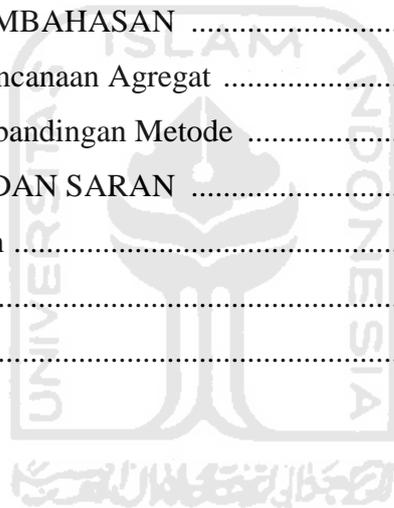
Penulis sangat menyadari atas keterbatasan kemampuan yang dimiliki, sehingga penulis juga menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih sangat jauh dari sempurna. Oleh karena itu dengan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran guna mengoreksi dan memperbaiki atas kekurangan yang ada sehingga mencapai hasil yang lebih baik. Dengan keterbatasan itulah, maka penulis menyadari bahwa skripsi ini bukan semata-mata disusun berdasarkan kemampuan penulis sendiri, melainkan karena mendapatkan bantuan, dukungan, dan semangat dari berbagai pihak sehingga penyusunan ini bisa terselesaikan. Untuk itulah pada kesempatan ini dengan segala ketulusan hati, dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada :

1. Ir. Gumbolo Hadi Susanto, M.Sc, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Drs. HM. Ibnu Mastur, M.Si.E, selaku Ketua Prodi Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc, selaku dosen Pembimbing skripsi penulis, atas semangat dan *supportnya*.
4. Drs. Qomaruzzaman selaku Direktur PT. Sinar Semesta, terimakasih atas izin dan waktunya untuk bisa melakukan penelitian disana.
5. H. Nugroho Sukoprihono, AMD, dan Ibu Hj. Tumisah selaku orangtua yang sudah sangat mendukung untuk segera menyelesaikan skripsi ini.
6. Semua rekan-rekan yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu. Terimakasih atas dukungan dan doanya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
ABSTRAKSI	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1. Perencanaan Agregat.....	4
2.1.1. Strategi Perencanaan Agregat	5
2.1.2. Faktor yang berpengaruh dalam Perencanaan Agregat.....	6
2.2. Peramalan	7
2.2.1. Metode Moving Average	8
2.2.2. Metode Exponential Smoothing	8
2.2.3. Pengukuran Error	8
2.3. Model Transportasi.....	9
2.3.1. Metode Least Cost	10
2.3.2. Metode Vogel	10
2.3.3. Evaluasi Solusi	11
2.3.4. Metode Stepping Stone	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1. Obyek Penelitian	13
3.2. Data yang Diperlukan	13
3.3. Metode Pengumpulan Data	13

3.4. Langkah Penelitian	14
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	16
4.1. Pengumpulan Data	16
4.2. Model Transportasi	16
4.3. Least Cost Method	21
4.3.1. Solusi Awal	21
4.3.2. Evaluasi Solusi dan Optimasi dengan Stepping Stone	22
4.4. Vogel Approximation Method	29
4.4.1. Solusi Awal	29
4.4.2. Evaluasi Solusi dan Optimasi dengan Stepping Stone	30
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	34
5.1. Solusi Perencanaan Agregat	34
5.2. Analisa Perbandingan Metode	35
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	37
6.1. Kesimpulan	37
6.2. Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	39



ABSTRAKSI

Perencanaan agregat memiliki peranan penting untuk mengoptimalkan kapasitas produksi yang dimiliki perusahaan dalam memenuhi permintaan konsumen. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, perencanaan agregat dapat dimodelkan dalam bentuk model transportasi. Dalam riset operasi, dikenal tiga metode untuk menyelesaikan model transportasi tersebut, yaitu: Least Cost, Vogel, dan Stepping Stone. Skripsi ini bertujuan untuk melakukan perbandingan efisiensi dari masing-masing metode dalam mencapai solusi optimal dengan menggunakan studi kasus nyata pada pabrik pengecoran. Ditemukan bahwa metode metode *Vogel* memiliki efisiensi yang lebih baik dalam mencapai solusi yang optimal dibandingkan dengan metode *Least Cost*.

Kata kunci: *perencanaan agregat, model transportasi, vogel, least-cost, stepping stone.*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perencanaan produksi, perencanaan agregat memiliki peran yang penting, yaitu untuk dapat memanfaatkan kapasitas produksi perusahaan sedemikian rupa sehingga mampu memenuhi permintaan konsumen. Dalam perusahaan, perencanaan agregat merupakan rencana produksi tingkat teratas yang melibatkan peramalan permintaan dan strategi operasional yang dijadikan acuan dalam menyusun rencana jadwal produksi dan kebutuhan sumber daya ke depan. Perencanaan ini melibatkan penyusunan tingkat produksi, tingkat persediaan, dan tingkat sumber daya sebagai faktor yang berpengaruh dalam penganggaran biaya produksi.

Agar dapat berjalan dengan efektif, perencanaan agregat memerlukan pertimbangan yang matang untuk menemukan titik optimal dari ketiga faktor di atas sehingga dapat menekan total biaya yang diperlukan namun tetap dapat memenuhi permintaan. Salah satu jalan yang dapat ditempuh adalah dengan menggunakan model transportasi.

Model transportasi merupakan model khusus yang berasal dari pengembangan program linear yang berhubungan dengan alokasi sumber daya dari suatu sumber ke daerah tujuan. Tujuannya adalah untuk menentukan strategi alokasi yang optimal sehingga mampu meminimalkan biaya total dengan tetap memenuhi batasan *supply* dan *demand*. Untuk menyelesaikan model transportasi diperlukan suatu solusi awal, dimana solusi tersebut kemudian akan diiterasi sedemikian rupa sehingga hasilnya optimal. Model transportasi memiliki beberapa metode untuk mendapatkan solusi awal, 2 di antaranya adalah *Least Cost Method* dan *Vogel Approximation Method*.

Penelitian ini bermaksud untuk menerapkan model transportasi pada masalah perencanaan agregat. Untuk itu, Metode *Least Cost* dan metode *Vogel*

akan digunakan sebagai metode penyelesaian awal. Sedangkan untuk optimasinya menggunakan metode *Stepping Stone*. Harapannya melalui penelitian ini dapat diketahui metode solusi awal mana yang paling efisien dalam menyelesaikan permasalahan perencanaan agregat di perusahaan.

1.2 Rumusan Masalah

Model transportasi memiliki beberapa metode penyelesaian awal yang berbeda. Dua diantaranya adalah metode *Least Cost* dan metode *Vogel*. Kedua metode tersebut hanya memberikan solusi awal yang belum tentu optimal.. Apakah metode *Least Cost* ataukah metode *Vogel* yang lebih efisien untuk mencapai hasil yang optimal, setelah dilakukan Iterasi dengan metode *stepping stone* ?

1.3 Batasan Masalah

1. Metode yang dibandingkan dalam penelitian ini terbatas pada metode *Least Cost* dan *Vogel* yang merupakan metode untuk menemukan solusi awal dalam model transportasi.
2. Metode yang digunakan untuk iterasi model terbatas pada metode *Stepping Stone*.
3. Perencanaan agregat dipandang sebagai masalah alokasi kapasitas operasi untuk memenuhi permintaan konsumen.
4. Faktor yang berpengaruh dalam perencanaan agregat dibatasi hanya pada kapasitas produksi normal, lembur (*overtime*), dan subkontrak.
5. Jumlah sumber daya selama periode analisis diasumsikan tetap.
6. Permintaan diasumsikan bersifat independen.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menemukan solusi optimal dari permasalahan perencanaan agregat di perusahaan dengan menggunakan model transportasi.
2. Merumuskan jadwal produksi dan alokasi sumber daya berdasarkan rencana agregat yang optimal.
3. Membandingkan efisiensi dari metode *least-cost* dan *Vogel* sebagai solusi awal untuk meraih hasil yang optimal.

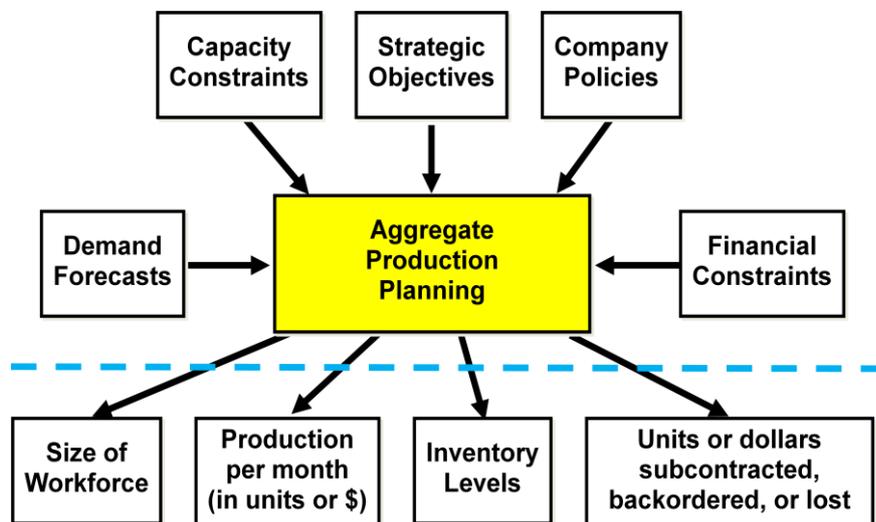
1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan solusi perencanaan agregat yang optimal melalui model transportasi kepada perusahaan.
2. Memberikan alternative metode optimisasi dengan model transportasi yang optimal untuk memecahkan problem aggregate planning (ini based on tujuan poin 3)
3. Memberikan bahan pertimbangan atau referensi dalam menyusun strategi produksi berdasarkan permintaan dan kapasitas perusahaan.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Perencanaan Agregat

Perencanaan agregat adalah suatu aktivitas operasional untuk menentukan jumlah dan waktu produksi dalam periode 3 sampai 18 bulan ke depan. Perencanaan agregat juga merupakan usaha untuk menyamakan tingkat penawaran dengan permintaan melalui pengalokasian sumber daya produksi secara efektif. Tujuan dari perencanaan agregat adalah untuk meminimalkan biaya akhir dengan mengoptimalkan kombinasi dari tingkat produksi, sumber daya, dan tingkat *inventory*. Keputusan menyangkut perumusan rencana bulanan yang mengutamakan masalah kesesuaian tingkat produksi dengan tingkat permintaan yang fluktuatif.



Gambar 2.1 *Input dan Output* dari Perencanaan Agregat

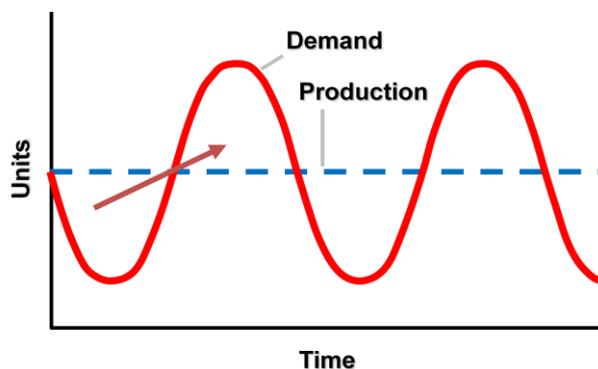
Dasar analisis dalam perencanaan agregat adalah hasil ramalan permintaan (*forecast*) dan target produksi perusahaan. Perencanaan tersebut dilakukan dalam batasan faktor kapasitas produksi, *inventory*, dan finansial perusahaan.

2.1.1 Strategi Perencanaan Agregat

Pada umumnya, dalam melakukan perencanaan agregat, terdapat 3 strategi yang dapat digunakan, yaitu:

1. *Level Production*

Strategi ini dilakukan dengan mengatur laju produksi dan tingkat persediaan produk pada level tertentu. Cara ini banyak digunakan oleh perusahaan yang memiliki serikat buruh karena selain memberikan kestabilan jumlah produksi, cara ini juga menjaga kestabilan jumlah tenaga kerja. Kekurangan dari strategi ini adalah menimbulkan biaya penyimpanan persediaan yang relatif tinggi.

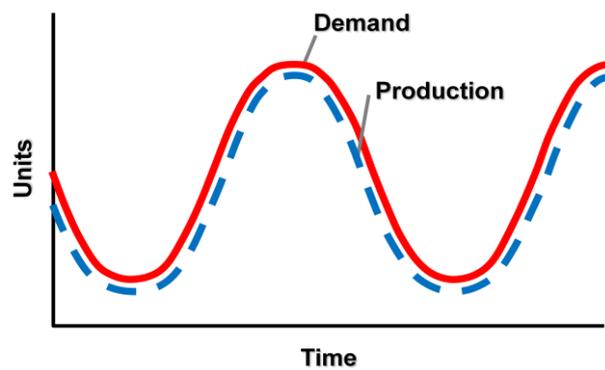


Gambar 2.2 Strategi *Level Production*

2. *Chase Demand*

Strategi ini dilakukan dengan menyesuaikan tingkat produksi dengan permintaan yang ada. Kelebihan dari strategi ini adalah berkurangnya biaya akibat penyimpanan persediaan. Cara ini dilakukan dengan merubah

jumlah pekerja atau dapat juga dilakukan dengan mengatur jam kerja sesuai dengan periode produksinya. Cara lainnya adalah dengan melakukan subkontrak. Kekurangan strategi ini adalah dapat memicu potensi moral negatif dari tenaga kerja yang digunakan.



Gambar 2.3 Strategi *Chase Demand*

3. *Mixed Strategy*

Strategi ini merupakan campuran dari dua strategi sebelumnya, yaitu *production level* dan *chase demand*. Strategi ini dilakukan dengan mengubah atau mengatur variabel terkontrol, seperti:

- tingkat persediaan,
- tingkat produksi,
- jumlah sumber daya,
- jam kerja, dan
- nilai subkontrak.

2.1.2 Faktor yang Berpengaruh dalam Perencanaan Agregat

Dalam perencanaan agregat terdapat beberapa hal yang perlu dijadikan pertimbangan, yaitu:

Tabel 2.1 Faktor yang Berpengaruh dalam Perencanaan Agregat

Production	Workforce	Inventory
<ul style="list-style-type: none">• Kapasitas Produksi• Permintaan Pasar• Biaya Bahan Baku• Biaya Tenaga Kerja• Biaya Tak Langsung• Biaya Perawatan	<ul style="list-style-type: none">• Kapasitas Sumber Daya• Biaya Subkontrak• Biaya Lembur• Biaya Sewa• Biaya Pesangon	<ul style="list-style-type: none">• Kapasitas Persediaan• Biaya Penyimpanan

2.2 Peramalan

Peramalan dilakukan untuk memprediksi kondisi di masa depan. Tujuan peramalan adalah untuk mengurangi kisaran ketidakpastian ketika suatu keputusan manajemen harus diambil. Dalam perencanaan produksi peramalan berguna untuk memprediksi permintaan produk, ketersediaan sumber daya, dan jumlah bahan baku yang diperlukan. Namun perlu diketahui juga bahwa hasil dari peramalan biasanya salah, selain itu akurasi semakin menurun ketika peramalan semakin jauh dilakukan ke depan. Adapun proses peramalan dilakukan sebagai berikut:

1. Perumusan masalah dan pengumpulan data,
2. Penyaringan kelayakan data,
3. Penyusunan model dan evaluasi,
4. Implementasi model untuk melakukan peramalan ke depan,
5. Evaluasi hasil peramalan.

Secara kuantitatif, metode peramalan diklasifikasikan menjadi dua, yaitu:

1. Metode *Time Series*

Metode ini beranggapan bahwa data merupakan susunan deret waktu yang akan berulang di masa mendatang. Beberapa metode *time series* adalah *Moving Average*, *Exponential Smoothing*, dan Dekomposisi.

2. Peramalan Kausal

Metode ini beranggapan bahwa sesuatu terjadi karena adanya faktor penyebab tertentu dan akan berulang apabila faktor tersebut muncul. Metode kausal yang biasa digunakan antara lain analisis regresi dan ARIMA.

2.2.1 Metode *Moving Average*

Moving Average (MA) adalah metode peramalan berbasis deret waktu yang dilakukan berdasarkan nilai rerata dari nilai data/observasi sebelumnya.

$$s_t = \frac{1}{k} \sum_{n=0}^{k-1} x_{t-n} = \frac{x_t + x_{t-1} + x_{t-2} + \dots + x_{t-k+1}}{k} = s_{t-1} + \frac{x_t - x_{t-k}}{k},$$

2.2.2 Metode *Exponential Smoothing*

Exponential Smoothing (ES) adalah Peramalan yang dilakukan berdasarkan rerata nilai data sebelumnya dengan bobot yang semakin menurun secara eksponensial.

$$\begin{aligned} s_t &= \alpha x_t + (1 - \alpha)s_{t-1} \\ &= \alpha x_t + \alpha(1 - \alpha)x_{t-1} + (1 - \alpha)^2 s_{t-2} \\ &= \alpha [x_t + (1 - \alpha)x_{t-1} + (1 - \alpha)^2 x_{t-2} + (1 - \alpha)^3 x_{t-3} + \dots] + (1 - \alpha)^t x_0. \end{aligned}$$

2.2.3 Pengukuran *Error*

Error merupakan nilai penyimpangan hasil peramalan dengan data aktual. Suatu metode peramalan dikatakan secara teknis lebih baik ketika memiliki nilai *error* yang lebih kecil. Beberapa metode dalam pengukuran *error* adalah sebagai berikut:

- a. *Mean Absolute Deviation* (MAD)

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |A_t - F_t|}{n}$$

b. *Mean Square Error* (MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}$$

c. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|}{n} \times 100\%$$

2.3 Model Transportasi

Model transportasi merupakan suatu model riset operasi dari program linear yang diselesaikan dengan algoritma tertentu. Model biasanya berupa matriks *supply* dan *demand*. Dalam model transportasi, pengiriman produk dari suatu produsen ke konsumen memerlukan biaya tertentu. Untuk mendapatkan keuntungan yang maksimal maka biaya transportasi yang dikeluarkan harus seminimal mungkin, namun harus tetap dapat memenuhi permintaan yang ada.

Tabel 2.2 Model Tabel Transportasi

DESTINATION		I	II	III	SUPPLY
SOURCE	A	X_{11} C_{11}	X_{12} C_{12}	X_{13} C_{13}	S1
	B	X_{21} C_{21}	X_{22} C_{22}	X_{23} C_{23}	S2
	C	X_{31} C_{31}	X_{32} C_{32}	X_{33} C_{34}	S3
DEMAND		D1	D2	D3	

Untuk menyelesaikan model transportasi tersebut diperlukan suatu solusi awal, dimana solusi tersebut kemudian akan diiterasi sedemikian rupa sehingga hasilnya optimal. Metode algoritma solusi awal yang biasa digunakan adalah metode *Least Cost* dan *Vogel*. Sedangkan untuk proses iterasinya, bisa menggunakan metode *Stepping Stone*.

2.3.1 Metode *Least Cost*

Prinsip kerja dari metode ini adalah dengan memprioritaskan proses pada biaya yang terkecil. Metode ini dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

1. Cari biaya pengiriman terkecil
2. Periksa apakah tujuan sudah terisi penuh atau belum. Jika belum lanjutkan proses ke langkah 3. Jika penuh kembali ke langkah 1.
3. Periksa apakah himpunan solusi sudah sesuai dengan spesifikasi yang diberikan. Jika belum kembali ke langkah 1. Jika sudah sesuai keluar dari program.

2.3.2 Metode *Vogel*

Prinsip kerja dari metode ini adalah dengan mencari nilai penalti tiap baris dan kolom pada matriks transportasi. Setelah itu, matriks transportasi diperkecil dengan menandai baris atau kolomnya. Baris atau kolom yang ditandai akan dipilih berdasarkan kriteria tertentu. Hal ini terus dilakukan sampai ukuran matriks terkecil. Proses ini merupakan proses iteratif. Berikut adalah langkah-langkah dalam metode *Vogel*:

1. Hitung penalti untuk tiap kolom dan baris. Penalti adalah selisih biaya terkecil dengan biaya terkecil kedua.
2. Cari baris/kolom dengan penalti terbesar dan alokasikan sebanyak mungkin pada sel dengan biaya terkecil pada baris atau kolom tersebut. Sesuaikan *supply* dan *demand* pada sel itu. Lalu tandai baris atau kolom tersebut.
3. Langkah selanjutnya:

- a. Bila tinggal satu kolom/baris yang belum ditandai maka proses dapat dihentikan.
- b. Bila tinggal satu kolom/baris dengan *supply/demand* yang belum ditandai, tentukan variabel basis dengan menggunakan metode *Least Cost*.
- c. Bila semua baris dan kolom yang belum ditandai mempunyai *supply* dan *demand* sama dengan nol, tentukan variabel basis yang berharga nol dengan metode *Least Cost*.
- d. Jika langkah 3a, 3b, dan 3c tidak terjadi, hitung kembali nilai penalti untuk baris/kolom yang belum ditandai kemudian kembali ke langkah 2.

2.3.3 Evaluasi Solusi

Untuk mengetahui apakah suatu solusi telah optimal atau belum, maka perlu dilakukan suatu proses evaluasi. Proses ini memanfaatkan variabel masuk dan variabel keluar sebagaimana dalam metode *simplex*. Namun untuk model transportasi, proses perhitungannya dapat lebih sederhana. Metode evaluasi ini disebut juga dengan metode *multipliers*.

Dalam metode *multipliers*, baris i dan kolom j pada tabel transportasi diasosiasikan menjadi u_i dan v_j . Untuk setiap variabel dasar, nilai u_i dan v_j harus memenuhi persamaan: $u_i + v_j = c_{ij}$. Sedangkan untuk setiap variabel non-dasar, nilai u_i dan v_j harus memenuhi persamaan $u_i + v_j - c_{ij}$.

Variabel dasar adalah variabel yang memiliki alokasi sumber daya dari solusi sebelumnya. Sedangkan variabel non dasar adalah variabel yang kosong, tidak memiliki alokasi sumber daya.

Solusi dikatakan sudah optimal apabila nilai variabel non-dasarnya telah bernilai negatif atau sama dengan nol. Apabila terdapat variabel non-dasar yang bernilai positif maka solusi tersebut masih dapat dioptimalkan. Salah satu caranya adalah melalui proses iterasi seperti pada metode *Stepping Stone*.

2.3.4 Metode *Stepping Stone*

Metode *Stepping Stone* merupakan cara merubah solusi awal untuk mencapai solusi yang optimal. Cara ini digunakan untuk mengoptimasi biaya transportasi dengan merubah rute yang belum terpakai. Langkah yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pilihlah sel yang belum terpakai.
2. Berawal dari sel ini, lacaklah kotak awal dengan melewati kotal yang sekarang terpakai.
3. Berilah tanda plus pada kotak yang tak terpakai, dan berilah tanda minus pada kotak yang terpakai.
4. Buatlah indeks dengan menambah biaya pada tanda plus dan mengurangi biaya pada tanda minus.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Obyek Penelitian

Obyek dalam penelitian ini adalah perencanaan produksi jangka menengah (3 bulan) pada PT. Sinar Semesta yang berlokasi di Klepu, Ceper, Klaten, Jawa Tengah. PT. Sinar Semesta merupakan industri pengecoran logam skala kecil dan menengah yang memproduksi produk berdasarkan pesanan seperti *counter weight*, *forklift*, blok rem, roda roli, hingga jangkar kapal.

3.2 Data yang Diperlukan

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

1. Data penjualan perusahaan
2. Data sistem perencanaan produksi perusahaan.
3. Data kapasitas produksi dan gudang penyimpanan.
4. Data anggaran biaya yang meliputi:
 - a. biaya produksi,
 - b. biaya lembur,
 - c. biaya penyimpanan persediaan,
 - d. biaya subkontrak, dan

3.3 Metode Pengumpulan Data

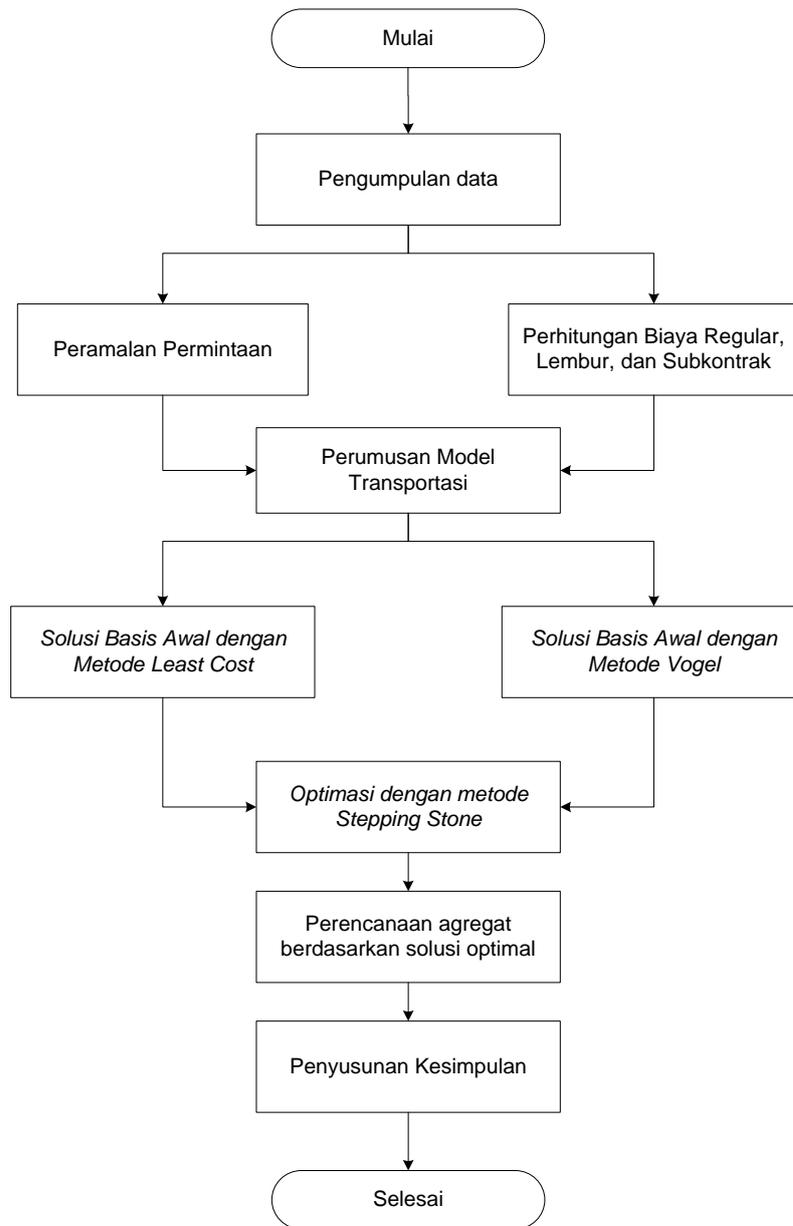
Pengumpulan data penelitian dilakukan dengan dua metode, yaitu:

1. Dokumentasi. Yaitu dengan melakukan pencatatan data yang telah didokumentasikan oleh perusahaan.
2. Wawancara. Yaitu dengan melakukan proses tanya-jawab dengan pihak yang terkait untuk mendapatkan informasi tambahan yang mungkin tidak didapatkan dalam proses dokumentasi.

3.4 Langkah Penelitian

Penelitian dilakukan dengan langkah sebagai berikut (lihat gambar 3.1):

1. Pengumpulan data yang berkaitan dengan penelitian.
2. Perhitungan biaya produksi regular, lembur, dan subkontrak berdasarkan data perusahaan.
3. Perumusan model transportasi untuk perencanaan agregat.
4. Penentuan solusi awal model transportasi dengan menggunakan metode *Least Cost* dan *Vogel*.
5. Optimasi solusi awal melalui proses iterasi dengan metode *Stepping Stone*.
6. Menentukan model perencanaan agregat berdasarkan solusi optimal dari model transportasi yang dirumuskan.
7. Melakukan perbandingan efisiensi solusi awal dari metode *Least Cost* dan *Vogel* untuk mencapai solusi optimal.
8. Penyusunan kesimpulan dan saran penelitian.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGHITUNGAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Dari data yang didapat di PT. Sinar Semesta memiliki biaya produksi Rp. 6500/kg, dengan kapasitas produksi normal per bulan mencapai 40 ton. Untuk meningkatkan kapasitas produksi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu lembur (over time) dan sub-kontrak. Kerja lembur meningkatkan biaya produksi menjadi Rp. 6700/kg dengan kapasitas maksimal 10 ton per bulan. Sedangkan dengan sub-kontrak ke perusahaan lain memakan biaya Rp.6900/kg dengan kapasitas maksimal pesanan 20 ton per bulan.

4.2 Model Transportasi

Untuk menghitung *demand* (permintaan) produksi 3 bulan ke depan digunakan metode Forecasting (peramalan) yaitu dengan membandingkan metode *Naive Method*, *Moving Average*, dan metode *Exponential Smoothing*, dipilih jumlah total kuadrat residual error minimum (*Sum Squares of Errors* atau *SSE*) yang paling kecil.

NAIVE METHOD

Month	Sales	NAIVE	SSE
1	25		
2	34	25	81
3	38	34	16
4	31	38	49
5	29	31	4
6	32	29	9
7	36	32	16
8	35	36	1
9	36	35	1
10	37	36	1
11	37	37	0
12	39	37	4
13	42	39	9
14	43	42	1
15	52	43	81
16	60	52	64
17	58	60	4
18	61	58	9
19	68	61	49
20	75	68	49
21	81	75	36
22	66	81	225
23	79	66	169
24	61	79	324
	61	61	52,26
	61	61	
		61	
		183	

MOVING AVERAGE

Month	Sales	MA (3)	SSE
1	25		
2	34		
3	38		
4	31	33	4
5	29	35	36
6	32	33	1
7	36	31	25
8	35	33	4
9	36	35	1
10	37	36	1
11	37	36	1
12	39	37	4
13	42	38	16
14	43	40	9
15	52	42	100
16	60	46	196
17	58	52	36
18	61	57	16
19	68	60	64
20	75	63	144
21	81	68	169
22	66	75	81
23	79	74	25
24	61	76	225
	69	69	55,14
	70	70	
		67	
		206	

EXPONENTIAL SMOOTHING

a 0,3				a 0,5				a 0,7			
Month	Sales	ES (a=0.3)	SSE	Month	Sales	ES (a=0.3)	SSE	Month	Sales	ES (a=0.3)	SSE
1	25	25	0	1	25	25	0	1	25	25	0
2	34	25	81	2	34	25	81	2	34	25	81
3	38	28	100	3	38	30	64	3	38	32	36
4	31	31	0	4	31	34	9	4	31	37	36
5	29	31	4	5	29	33	16	5	29	33	16
6	32	31	1	6	32	31	1	6	32	31	1
7	36	32	16	7	36	32	16	7	36	32	16
8	35	34	1	8	35	34	1	8	35	35	0
9	36	35	1	9	36	35	1	9	36	35	1
10	37	36	1	10	37	36	1	10	37	36	1
11	37	37	0	11	37	37	0	11	37	37	0
12	39	37	4	12	39	37	4	12	39	37	4
13	42	38	16	13	42	38	16	13	42	39	9
14	43	40	9	14	43	40	9	14	43	42	1
15	52	41	121	15	52	42	100	15	52	43	81
16	60	45	225	16	60	47	169	16	60	50	100
17	58	50	64	17	58	54	16	17	58	57	1
18	61	53	64	18	61	56	25	18	61	58	9
19	68	56	144	19	68	59	81	19	68	61	49
20	75	60	225	20	75	64	121	20	75	66	81
21	81	65	256	21	81	70	121	21	81	73	64
22	66	70	16	22	66	76	100	22	66	79	169
23	79	69	100	23	79	71	64	23	79	70	81
24	61	72	121	24	61	75	196	24	61	77	256
	72	69	68,26		75	68	52,70		77	54	47,52
	69	70			68	72			66	66	
		70				70				80	
		209				210				209	

Dari data di atas diketahui bahwa nilai SSE yang paling kecil adalah pada metode Exponential Smoothing pada nilai eror 0,7, sehingga didapatkan *demand* atau permintaan produksi untuk 3 bulan ke depan adalah sebesar 66 ton, 74 ton, dan 69 ton

Konsumen PT.Sinar Semesta tidak menerima back-order sehingga permintaan yang tidak dapat dipenuhi akan hilang. Persediaan adalah hal yang tidak diinginkan, karena merupakan barang non-produktif. Selain itu gudang persediaan memiliki kapasitas yang terbatas. Sehingga setiap persediaan yang ada dikenakan biaya 10% dari biaya produksi. Gambar 4.1 adalah model transportasi untuk perencanaan agregat jangka menengah di PT. Sinar Semesta.

Tujuan dari model transportasi ini adalah untuk meminimalkan total biaya produksi dengan tetap memenuhi permintaan sesuai kapasitas yang ada. Dengan demikian, kapasitas produksi perusahaan harus lebih besar atau sama dengan permintaan. Jika tidak maka perusahaan tidak akan dapat memenuhi permintaan konsumen. Model matematika dari model transportasi tersebut adalah sebagai berikut:

Variabel:

X_{ij} = alokasi sumber daya dari strategi produksi i pada periode j

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9; \quad j = 1, 2, 3$

$X_{ij} \geq 0; \quad X_{ij} \in \mathbb{R};$

Fungsi Tujuan:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z &= 65X_{11} + 71.5X_{12} + 78X_{13} + 67X_{21} + 73.7X_{22} + 80.4X_{23} + \\ &68X_{31} + 74.8X_{32} + 81.6X_{33} + 65X_{42} + 71.5X_{43} + 67X_{52} + \\ &73.7X_{53} + 69X_{62} + 75.9X_{63} + 65X_{73} + 67X_{83} + 69X_{93} \end{aligned}$$

Kendala Kapasitas:

$$\sum X_{1j}, \sum X_{4j}, \sum X_{7j}, \leq 40; \quad \sum X_{2j}, \sum X_{5j}, \sum X_{8j}, \leq 10;$$

$$\sum X_{3j}, \sum X_{6j}, \sum X_{9j}, \leq 20;$$

Kendala Permintaan:

$$\sum X_{i1} = 54; \quad \sum X_{i2} = 66; \quad \sum X_{i3} = 80$$

Tabel 4.1 Model Transportasi Perencanaan Agregat di PT. Sinar Semesta

PERIOD		I	II	III	CAPACITY
I	Production	65	71.5	78	40
	Overtime	67	73.7	80.4	10
	Subcontract	68	74.8	81.6	20
II	Production	M	65	71.5	40
	Overtime	M	67	73.7	10
	Subcontract	M	69	75.9	20
III	Production	M	M	65	40
	Overtime	M	M	67	10
	Subcontract	M	M	69	20
DEMAND		54	66	80	

4.3 Least Cost Method

4.3.1 Solusi Awal

Tabel 4.2 Solusi awal model transportasi dengan menggunakan metode *Least Cost*

PERIOD		I	II	III	DUMMY	CAPACITY	
I	Production	40	65	71.5	78	0	40
	Overtime	10	67	73.7	80.4	0	10
	Subcontract	4	68	74.8	81.6	0	20
				6	10	0	
II	Production	M	40	65	71.5	0	40
	Overtime	M	10	67	73.7	0	10
	Subcontract	M	16	69	75.9	0	20
				4			
III	Production	M	M	40	65	0	40
	Overtime	M	M	10	67	0	10
	Subcontract	M	M	20	69	0	20
DEMAND		54	66	80	10		

$$\begin{aligned}
 \text{Total Cost} &= \text{Rp.}6500 \cdot 40000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6800 \cdot 4000 + \text{Rp.}8160 \cdot 6000 + \\
 &\text{Rp.}0 \cdot 10000 + \text{Rp.}6500 \cdot 40000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6900 \cdot 16000 + \\
 &\text{Rp.}7590 \cdot 4000 + \text{Rp.}6500 \cdot 40000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6900 \cdot 20000 \\
 &= \text{Rp. } 1.335.920.000
 \end{aligned}$$

4.3.2 Evaluasi Solusi dan Optimasi dengan *Stepping Stone*

Solusi awal belum tentu menghasilkan nilai yang optimal. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi dengan menganalisis nilai variabel dasar dan non dasarnya. Apabila dalam variabel non dasar masih didapatkan nilai yang positif maka solusi tersebut berarti belum optimal. Berikut adalah evaluasi solusi dari solusi awal *Least Cost*.

Tabel 4.3 Evaluasi Variabel Dasar dari Solusi Awal metode *Least Cost*

Variabel Dasar	Persamaan	Solusi
X ₁₁	$u_1 + v_1 = 65$	$u_1 = 0 \rightarrow v_1 = 65$
X ₂₁	$u_2 + v_1 = 67$	$v_1 = 65 \rightarrow u_2 = 2$
X ₃₁	$u_3 + v_1 = 68$	$v_1 = 65 \rightarrow u_3 = 3$
X ₃₃	$u_3 + v_3 = 81.6$	$u_3 = 3 \rightarrow v_3 = 78.6$
X ₃₄	$u_3 + v_4 = 0$	$u_3 = 3 \rightarrow v_4 = -3$
X ₄₂	$u_4 + v_2 = 65$	$v_1 = 65 \rightarrow u_4 = 65$
X ₅₂	$u_5 + v_2 = 67$	$v_2 = 71.7 \rightarrow u_5 = -4.7$
X ₆₂	$u_6 + v_2 = 69$	$u_6 = -2.7 \rightarrow v_2 = 71.7$
X ₆₃	$u_6 + v_3 = 75.9$	$v_3 = 78.6 \rightarrow u_6 = -2.7$
X ₇₃	$u_7 + v_3 = 65$	$v_3 = 78.6 \rightarrow u_7 = -13.6$
X ₈₃	$u_8 + v_3 = 67$	$v_3 = 78.6 \rightarrow u_8 = -11.6$
X ₉₃	$u_9 + v_3 = 69$	$v_3 = 78.6 \rightarrow u_9 = -9.6$

Tabel 4.4 Evaluasi Variabel Non-Dasar dari Solusi Awal metode *Least Cost*

Variabel Non Dasar	$u_i + v_j - c_{ij}$
X ₁₂	$u_1 + v_2 - c_{12} = 0 + 71.7 - 0.2 = 71.5$
X ₁₃	$u_1 + v_3 - c_{13} = 0 + 78.6 - 0.6 = 78$
X ₁₄	$u_1 + v_4 - c_{14} = 0 + (-3) - (-3) = 0$
X ₂₂	$u_2 + v_2 - c_{22} = 2 + 71.7 - 0 = 73.7$
X ₂₃	$u_2 + v_3 - c_{23} = 2 + 78.6 - 0.2 = 80.4$
X ₂₄	$u_2 + v_4 - c_{24} = 2 + (-3) - (-1) = 0$
X ₃₂	$u_3 + v_2 - c_{32} = 3 + 71.7 - (-0.1) = 74.8$
X ₄₃	$u_4 + v_3 - c_{43} = -6.7 + 78.6 - 0.4 = 71.5$
X ₄₄	$u_4 + v_4 - c_{44} = -6.7 + (-3) - (-9.7) = 0$
X ₅₃	$u_5 + v_3 - c_{53} = -4.7 + 78.6 - 0.2 = 73.7$
X ₅₄	$u_5 + v_4 - c_{54} = -4.7 + (-3) - (-7.7) = 0$
X ₆₄	$u_6 + v_4 - c_{64} = -2.7 + (-3) - (-5.7) = 0$
X ₇₄	$u_7 + v_4 - c_{74} = -13.6 + (-3) - (-16.6) = 0$
X ₈₄	$u_8 + v_4 - c_{84} = -11.6 + (-3) - (-14.6) = 0$
X ₉₄	$u_9 + v_4 - c_{94} = -9.6 + (-3) - (-12.6) = 0$

Dari tabel evaluasi di atas terlihat bahwa masih terdapat variabel non dasar yang positif. Hal tersebut mengindikasikan bahwa solusi sebelumnya belum optimal. Sehingga masih dapat dilakukan dioptimalkan melalui proses iterasi dengan menggunakan *Stepping Stone*.

a. Iterasi 1

Tabel 4.5 Proses Iterasi I dari Solusi Awal Metode *Least Cost*

V1= 65 V2= 71.7 V3= 78.6 V4= -3

PERIOD		I	II	III	DUMMY	CAPACITY
U1= 0	I	0 65 40	0.2 71.5	0.6 78	-3 0	40
U2= 2		0 67 10	0 73.7	0.2 80.4	-1 0	10
U3= 3		0 68 4	-0.1 74.8	0 81.6 6	0 0 10	20
U4= -6.7	II	M 40	0 65	0.4 71.5	-9.7 0	40
U5= -4.7		M 10	0 67	0.2 73.7	-7.7 0	10
U6= -2.7		M 16	0 69	0 75.9 4	-5.7 0	20
U7= -13.6	III	M 40	M	0 65	-16.6 0	40
U8= -11.6		M 10	M	0 67	-14.6 0	10
U9= -9.6		M 20	M	0 69	-12.6 0	20
DEMAND		54	66	80	10	

Proses iterasi 1 di atas menghasilkan solusi seperti berikut:

Tabel 4.6 Solusi berdasarkan Iterasi I dari Solusi Awal Metode *Least Cost*

PERIOD		I	II	III	DUMMY	CAPACITY
I	Production	34 ⁶⁵	71.5	6 ⁷⁸	0	40
	Overtime	10 ⁶⁷	73.7	80.4	0	10
	Subcontract	10 ⁶⁸	74.8	81.6	10 ⁰	20
II	Production	M	40 ⁶⁵	71.5	0	40
	Overtime	M	10 ⁶⁷	73.7	0	10
	Subcontract	M	16 ⁶⁹	4 ^{75.9}	0	20
III	Production	M	M	40 ⁶⁵	0	40
	Overtime	M	M	10 ⁶⁷	0	10
	Subcontract	M	M	20 ⁶⁹	0	20
DEMAND		54	66	80	10	

$$\begin{aligned}
 \text{Total Cost} &= \text{Rp.}6500 \cdot 34000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6800 \cdot 10000 + \text{Rp.}7800 \cdot 6000 \\
 &+ \text{Rp.}0 \cdot 10000 + \text{Rp.}6500 \cdot 40000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6900 \cdot 16000 + \\
 &\text{Rp.}7590 \cdot 4000 + \text{Rp.}6500 \cdot 40000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6900 \cdot 20000 \\
 &= \text{Rp. } \mathbf{1.335.560.000}
 \end{aligned}$$

Solusi yang dihasilkan dari iterasi 1 juga perlu dievaluasi kembali untuk mengetahui kondisi keoptimalannya.

Tabel 4.7 Evaluasi Variabel Dasar dari Solusi Iterasi 1 metode *Least Cost*

Variabel Dasar	Persamaan	Solusi
X ₁₁	$u_1 + v_1 = 65$	$u_1 = 0 \rightarrow v_1 = 65$
X ₁₃	$u_1 + v_3 = 78$	$u_1 = 0 \rightarrow v_3 = 78$
X ₂₁	$u_2 + v_1 = 67$	$v_1 = 65 \rightarrow u_2 = 2$
X ₃₁	$u_3 + v_1 = 68$	$v_1 = 65 \rightarrow u_3 = 3$
X ₃₄	$u_3 + v_4 = 0$	$u_3 = 3 \rightarrow v_4 = -3$
X ₄₂	$u_4 + v_2 = 65$	$v_2 = 71.1 \rightarrow u_4 = -6.1$
X ₅₂	$u_5 + v_2 = 67$	$v_2 = 71.1 \rightarrow u_5 = -4.1$
X ₆₂	$u_6 + v_2 = 69$	$u_6 = -2.1 \rightarrow v_2 = 71.1$
X ₆₃	$u_6 + v_3 = 75.9$	$v_3 = 78 \rightarrow u_6 = -2.1$
X ₇₃	$u_7 + v_3 = 65$	$v_3 = 78 \rightarrow u_7 = -13$
X ₈₃	$u_8 + v_3 = 67$	$v_3 = 78 \rightarrow u_8 = -11$
X ₉₃	$u_9 + v_3 = 69$	$v_3 = 78 \rightarrow u_9 = -9$

Tabel 4.8 Evaluasi Variabel Non-Dasar dari Solusi Iterasi 1 metode *Least Cost*

Variabel Non Dasar	$u_i + v_j - c_{ij}$
X ₁₂	$u_1 + v_2 - c_{12} = 0 + 71.1 - (-0.4) = 71.5$
X ₁₄	$u_1 + v_4 - c_{14} = 0 + (-3) - (-3) = 0$
X ₂₂	$u_2 + v_2 - c_{22} = 2 + (71.1) - (-0.6) = 73.7$
X ₂₃	$u_2 + v_3 - c_{23} = 2 + 78 - (-0.4) = 80.4$
X ₂₄	$u_2 + v_4 - c_{24} = 2 + (-3) - (-1) = 0$
X ₃₂	$u_3 + v_2 - c_{32} = 3 + (71.1) - (-0.7) = 74.8$
X ₃₃	$u_3 + v_3 - c_{33} = 3 + 78 - (-0.6) = 81.6$
X ₄₃	$u_4 + v_3 - c_{43} = -6.1 + 78 - 0.4 = 71.5$
X ₄₄	$u_4 + v_4 - c_{44} = -6.1 + (-3) - (-9.1) = 0$
X ₅₃	$u_5 + v_3 - c_{53} = -4.1 + 78 - (0.2) = 73.7$
X ₅₄	$u_5 + v_4 - c_{54} = -4.1 + (-3) - (-7.1) = 0$
X ₆₄	$u_6 + v_4 - c_{64} = -2.1 + (-3) - (-5.1) = 0$
X ₇₄	$u_7 + v_4 - c_{74} = -13 + (-3) - (-16) = 0$
X ₈₄	$u_8 + v_4 - c_{84} = -11 + (-3) - (-14) = 0$
X ₉₄	$u_9 + v_4 - c_{94} = -9 + (-3) - (-12) = 0$

Dari evaluasi di atas terlihat bahwa hasil dari iterasi 1 masih memiliki variabel non-dasar yang positif. Sehingga solusi tersebut masih dapat dioptimalkan melalui proses iterasi berikutnya.

b. Iterasi 2

Tabel 4.9 Proses Iterasi II dari Solusi Iterasi I Metode *Least Cost*

V1= 65 V2= 71.1 V3= 78 V4= -3

PERIOD		I	II	III	DUMMY	CAPACITY
U1= 0	I	0 65 34	-0.4 71.5	0 78 6	-3 0	40
U2= 2		0 67 10	-0.6 73.7	-0.4 80.4	-1 0	10
U3= 3		0 68 10	-0.7 74.8	-0.6 81.6	0 0 10	20
U4= -6.1	II	M 0 65 40	0.4 71.5	-9.1 0	0	40
U5= -4.1		M 0 67 10	0.2 73.7	-7.1 0	0	10
U6= -2.1		M 0 69 16	0 75.9	-5.1 0	0	20
U7= -13	III	M M 0 65 40	-16 0	0	0	40
U8= -11		M M 0 67 10	-14 0	0	0	10
U9= -9		M M 0 69 20	-12 0	0	0	20
DEMAND		54	66	80	10	

Proses iterasi 2 di atas menghasilkan solusi seperti berikut:

Tabel 4.10 Solusi berdasarkan Iterasi II dari Solusi Iterasi I Metode *Least Cost*

PERIOD		I	II	III	DUMMY	CAPACITY		
I	Production	34	65	71.5	6	78	0	40
	Overtime	10	67	73.7		80.4	0	10
	Subcontract	10	68	74.8		81.6	0	20
II	Production		M	65	4	71.5	0	40
	Overtime		M	67	10	73.7	0	10
	Subcontract		M	69	20	75.9	0	20
III	Production		M	M	40	65	0	40
	Overtime		M	M	10	67	0	10
	Subcontract		M	M	20	69	0	20
DEMAND		54	66	80	10			

$$\begin{aligned}
 \text{Total Cost} &= \text{Rp.}6500 \cdot 34000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6800 \cdot 10000 + \text{Rp.}7800 \cdot 6000 + \\
 &\quad \text{Rp.}0 \cdot 10000 + \text{Rp.}6500 \cdot 36000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6900 \cdot 20000 + \\
 &\quad \text{Rp.}7150 \cdot 4000 + \text{Rp.}6500 \cdot 40000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6900 \cdot 20000 \\
 &= \mathbf{\text{Rp.} 1.335.400.000}
 \end{aligned}$$

Solusi yang dihasilkan dari iterasi 2 masih perlu dievaluasi kembali untuk mengetahui kondisi keoptimalannya. Apabila sudah tidak ada variabel non-dasar yang bernilai positif maka solusi tersebut dapat dikatakan sudah optimal.

Tabel 4.11 Evaluasi Variabel Dasar dari Solusi Iterasi II metode *Least Cost*

Variabel Dasar	Persamaan	Solusi
X ₁₁	$u_1 + v_1 = 65$	$u_1 = 0 \rightarrow v_1 = 65$
X ₁₃	$u_1 + v_3 = 78$	$u_1 = 0 \rightarrow v_3 = 78$
X ₂₁	$u_2 + v_1 = 67$	$v_1 = 65 \rightarrow u_2 = 2$
X ₃₁	$u_3 + v_1 = 68$	$v_1 = 65 \rightarrow u_3 = 3$
X ₃₄	$u_3 + v_4 = 0$	$u_3 = 3 \rightarrow v_4 = -3$
X ₄₂	$u_4 + v_2 = 65$	$u_4 = -6.5 \rightarrow v_2 = 71.5$
X ₄₃	$u_4 + v_3 = 71.5$	$v_3 = 78 \rightarrow u_4 = -6.5$
X ₅₂	$u_5 + v_2 = 67$	$v_2 = 71.5 \rightarrow u_5 = -4.5$
X ₆₂	$u_6 + v_3 = 69$	$v_3 = 78 \rightarrow u_6 = -2.5$
X ₇₃	$u_7 + v_3 = 65$	$v_3 = 78 \rightarrow u_7 = -13$
X ₈₃	$u_8 + v_3 = 67$	$v_3 = 78 \rightarrow u_8 = -11$
X ₉₃	$u_9 + v_3 = 69$	$v_3 = 78 \rightarrow u_9 = -9$

Tabel 4.12 Evaluasi Variabel Non-Dasar dari Solusi Iterasi II metode *Least Cost*

Variabel Non Dasar	$u_i + v_j - c_{ij}$
X ₁₂	$u_1 + v_2 - c_{12} = 0 + 71.5 - 0 = 71.5$
X ₁₄	$u_1 + v_4 - c_{14} = 0 + (-3) - (-3) = 0$
X ₂₂	$u_2 + v_2 - c_{22} = 2 + 71.5 - (-0.2) = 73.7$
X ₂₃	$u_2 + v_3 - c_{23} = 2 + 78 - (-0.4) = 80.4$
X ₂₄	$u_2 + v_4 - c_{24} = 2 + (-3) - (-1) = 0$
X ₃₂	$u_3 + v_2 - c_{32} = 3 + 71.5 - (-0.3) = 74.8$
X ₃₃	$u_3 + v_3 - c_{33} = 3 + 78 - (-0.6) = 81.6$
X ₄₄	$u_4 + v_4 - c_{44} = -6.5 + (-3) - (-9.5) = 0$
X ₅₃	$u_5 + v_3 - c_{53} = -4.5 + 78 - (-0.2) = 73.7$
X ₅₄	$u_5 + v_4 - c_{54} = -4.5 + (-3) - (-7.5) = 0$
X ₆₃	$u_6 + v_3 - c_{63} = -2.5 + 78 - (-0.4) = 75.9$
X ₆₄	$u_6 + v_4 - c_{64} = -2.5 + (-3) - (-5.5) = 0$
X ₇₄	$u_7 + v_4 - c_{74} = -13 + (-3) - (-16) = 0$
X ₈₄	$u_8 + v_4 - c_{84} = -11 + (-3) - (-14) = 0$
X ₉₄	$u_9 + v_4 - c_{94} = -9 + (-3) - (-12) = 0$

Berdasarkan evaluasi di atas, diketahui bahwa solusi dari iterasi 2 sudah tidak memiliki variabel non-dasar yang positif. Sehingga dapat dikatakan bahwa solusi dari iterasi 2 sudah optimal dengan nilai total biaya sebesar Rp. 1.335.400.000.

4.4 Vogel Approximation Method

4.4.1 Solusi Awal

Tabel 4.13 Solusi awal model transportasi dengan menggunakan metode *Vogel*

PERIOD		I	II	III	DUMMY	CAPACITY	PENALTY	
I	Production	24 ⁶⁵	16 ^{71.5}	⁷⁸	⁰	40	65	6.5
	Overtime	10 ⁶⁷	^{73.7}	^{80.4}	⁰	10	67	6.7
	Subcontract	0 ⁶⁸ 20	^{74.8}	^{81.6}	⁰	20	68	6.8
II	Production	^M	30 ⁶⁵	10 ^{71.5}	⁰	40	65	6.5
	Overtime	^M	10 ⁶⁷	^{73.7}	⁰	10	67	6.7
	Subcontract	^M	10 ⁶⁹	^{75.9}	10 ⁰	20	69	6.9
III	Production	^M	^M	40 ⁶⁵	⁰	40	65	6.5
	Overtime	^M	^M	10 ⁶⁷	⁰	10	67	6.7
	Subcontract	^M	^M	20 ⁶⁹	⁰	20	69	6.9
DEMAND		54	66	80	10			
PENALTY		2	2	2	2			
		2	2	2	-			

$$\begin{aligned}
 \text{Total Cost} &= \text{Rp.}6500 \cdot 26000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6800 \cdot 20000 + \\
 &\text{Rp.}7150 \cdot 16000 + \text{Rp.}7150 \cdot 10000 + \text{Rp.}6500 \cdot 30000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 \\
 &+ \text{Rp.}6900 \cdot 10000 + \text{Rp.}0 \cdot 10000 + \text{Rp.}6500 \cdot 40000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \\
 &\text{Rp.}6900 \cdot 20000 \\
 &= \text{Rp. } 1.353.900.000
 \end{aligned}$$

4.4.2 Evaluasi Solusi dan Optimasi dengan *Stepping Stone*

Seperti halnya pada *Least Cost*, solusi awal dengan menggunakan metode *Vogel* juga belum menjamin keoptimalan solusi sehingga perlu dievaluasi terlebih dahulu.

Tabel 4.14 Evaluasi Variabel Dasar dari Solusi Awal metode *Least Cost*

Variabel Dasar	Persamaan	Solusi
X ₁₁	$u_1 + v_1 = 65$	$u_1 = 0 \rightarrow v_1 = 65$
X ₁₂	$u_1 + v_2 = 71.5$	$u_1 = 0 \rightarrow v_2 = 71.5$
X ₂₁	$u_2 + v_1 = 67$	$v_1 = 65 \rightarrow u_2 = 2$
X ₃₁	$u_3 + v_1 = 68$	$v_1 = 65 \rightarrow u_3 = 3$
X ₄₂	$u_4 + v_2 = 65$	$v_2 = 71.5 \rightarrow u_4 = -6.5$
X ₄₃	$u_4 + v_3 = 71.5$	$u_4 = -6.5 \rightarrow v_3 = 78$
X ₅₂	$u_5 + v_2 = 67$	$v_2 = 71.5 \rightarrow u_5 = -4.5$
X ₆₂	$u_6 + v_2 = 69$	$v_2 = 71.5 \rightarrow u_6 = -2.5$
X ₆₄	$u_6 + v_4 = 0$	$u_6 = -2.5 \rightarrow v_4 = 2.5$
X ₇₃	$u_7 + v_3 = 65$	$v_3 = 78 \rightarrow u_7 = -13$
X ₈₃	$u_8 + v_3 = 67$	$v_3 = 78 \rightarrow u_8 = -11$
X ₉₃	$u_9 + v_3 = 69$	$v_3 = 78 \rightarrow u_9 = -9$

Tabel 4.15 Evaluasi Variabel Non-Dasar dari Solusi Awal metode *Vogel*

Variabel Non Dasar	$u_i + v_j - c_{ij}$
X ₁₃	$u_1 + v_3 - c_{13} = 0 + 78 - 0 = 78$
X ₁₄	$u_1 + v_4 - c_{14} = 0 + 2.5 - 2.5 = 0$
X ₂₂	$u_2 + v_2 - c_{22} = 2 + 71.5 - (-0.2) = 73.7$
X ₂₃	$u_2 + v_3 - c_{23} = 2 + 78 - (-0.4) = 80.4$
X ₂₄	$u_2 + v_4 - c_{24} = 2 + 2.5 - 4.5 = 0$
X ₃₂	$u_3 + v_2 - c_{32} = 3 + 71.5 - (-0.3) = 74.8$
X ₃₃	$u_3 + v_3 - c_{33} = 3 + 78 - (-0.6) = 81.6$
X ₃₄	$u_3 + v_4 - c_{34} = 3 + 2.5 - 5.5 = 0$
X ₄₄	$u_4 + v_4 - c_{44} = -6.5 + 2.5 - (-4) = 0$
X ₅₃	$u_5 + v_3 - c_{53} = -4.5 + 78 - (-0.2) = 73.7$
X ₅₄	$u_5 + v_4 - c_{54} = -4.5 + 2.5 - (-2) = 0$
X ₆₃	$u_6 + v_3 - c_{63} = -2.5 + 78 - (-0.4) = 75.9$
X ₇₄	$u_7 + v_4 - c_{74} = -13 + 2.5 - (-10.5) = 0$
X ₈₄	$u_8 + v_4 - c_{84} = -11 + 2.5 - (-8.5) = 0$
X ₉₄	$u_9 + v_4 - c_{94} = -9 + 2.5 - (-6.5) = 0$

Dari evaluasi di atas, diketahui bahwa hasil dari solusi awal masih memiliki variabel non-dasar yang positif. Sehingga solusi tersebut masih dapat dioptimalkan melalui proses iterasi berikutnya.

a. Iterasi 1

Tabel 4.16 Proses Iterasi I dari Solusi Awal metode *Vogel*

		V1= 65		V2= 71.5		V3= 78		V4= 2.5			
PERIOD		I		II		III		DUMMY		CAPACITY	
U1= 0	I	Production	0	65	0	71.5	0	78	2.5	0	40
U2= 2		Overtime	0	67	-0.2	73.7	-0.4	80.4	4.5	0	10
U3= 3		Subcontract	0	68	-0.3	74.8	-0.6	81.6	5.5	0	20
U4= -6.5	II	Production	M	0	65	0	71.5	-4	0	40	
U5= -4.5		Overtime	M	0	67	-0.2	73.7	-2	0	10	
U6= -2.5		Subcontract	M	0	69	-0.4	75.9	0	0	20	
U7= -13	III	Production	M	M	0	65	-10.5	0	40		
U8= -11		Overtime	M	M	0	67	-8.5	0	10		
U9= -9		Subcontract	M	M	0	69	-6.5	0	20		
DEMAND		54		66		80		10			

Hasil dari proses iterasi di atas adalah sebagai berikut:

Tabel 4.17 Solusi berdasarkan Iterasi I dari Solusi Awal metode *Vogel*

PERIOD		I	II	III	DUMMY	CAPACITY
I	Production	34 ⁶⁵	6 ^{71.5}	6 ⁷⁸	0	40
	Overtime	10 ⁶⁷	10 ^{73.7}	10 ^{80.4}	0	10
	Subcontract	0 ⁶⁸ 10	10 ^{74.8}	10 ^{81.6}	10 ⁰	20
II	Production	M	36 ⁶⁵	4 ^{71.5}	0	40
	Overtime	M	10 ⁶⁷	10 ^{73.7}	0	10
	Subcontract	M	20 ⁶⁹	10 ^{75.9}	0	20
III	Production	M	M	40 ⁶⁵	0	40
	Overtime	M	M	10 ⁶⁷	0	10
	Subcontract	M	M	20 ⁶⁹	0	20
DEMAND		54	66	80	10	

$$\begin{aligned}
 \text{Total Cost} &= \text{Rp.}6500 \cdot 34000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6800 \cdot 10000 + \text{Rp.}7800 \cdot 6000 \\
 &+ \text{Rp.}0 \cdot 10000 + \text{Rp.}6500 \cdot 36000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6900 \cdot 20000 + \\
 &\text{Rp.}7150 \cdot 4000 + \text{Rp.}6500 \cdot 40000 + \text{Rp.}6700 \cdot 10000 + \text{Rp.}6900 \cdot 20000 \\
 &= \mathbf{\text{Rp.} 1.335.400.000}
 \end{aligned}$$

Solusi yang dihasilkan dari iterasi 1 perlu dievaluasi kembali untuk mengetahui kondisi keoptimalannya. Apabila sudah tidak ada variabel non-dasar yang bernilai positif maka solusi tersebut dapat dikatakan sudah optimal.

Tabel 4.18 Evaluasi Variabel Dasar dari Solusi Iterasi I metode *Least Cost*

Variabel Dasar	Persamaan	Solusi
X ₁₁	$u_1 + v_1 = 65$	$u_1 = 0 \rightarrow v_1 = 65$
X ₁₃	$u_1 + v_3 = 78$	$u_1 = 0 \rightarrow v_3 = 78$
X ₂₁	$u_2 + v_1 = 67$	$v_1 = 65 \rightarrow u_2 = 2$
X ₃₁	$u_3 + v_1 = 68$	$v_1 = 65 \rightarrow u_3 = 3$
X ₃₄	$u_3 + v_4 = 0$	$u_3 = 3 \rightarrow v_4 = -3$
X ₄₂	$u_4 + v_2 = 65$	$u_4 = -6.5 \rightarrow v_2 = 71.5$
X ₄₃	$u_4 + v_3 = 71.5$	$v_3 = 78 \rightarrow u_4 = -6.5$
X ₅₂	$u_5 + v_2 = 67$	$v_2 = 71.5 \rightarrow u_5 = -4.5$
X ₆₂	$u_6 + v_2 = 69$	$v_2 = 71.5 \rightarrow u_6 = -2.5$
X ₇₃	$u_7 + v_3 = 65$	$v_3 = 78 \rightarrow u_7 = -13$
X ₈₃	$u_8 + v_3 = 67$	$v_3 = 78 \rightarrow u_8 = -11$
X ₉₃	$u_9 + v_3 = 69$	$v_3 = 78 \rightarrow u_9 = -9$

Tabel 4.19 Evaluasi Variabel Non-Dasar dari Solusi Iterasi I metode *Least Cost*

Variabel Non Dasar	$u_i + v_j - c_{ij}$
X ₁₂	$u_1 + v_2 - c_{12} = 0 + 71.5 - 0 = 71.5$
X ₁₄	$u_1 + v_4 - c_{14} = 0 + (-3) - (-3) = 0$
X ₂₂	$u_2 + v_2 - c_{22} = 2 + 71.5 - (-0.2) = 73.7$
X ₂₃	$u_2 + v_3 - c_{23} = 2 + 78 - (-0.4) = 80.4$
X ₂₄	$u_2 + v_4 - c_{24} = 2 + (-3) - (-1) = 0$
X ₃₂	$u_3 + v_2 - c_{32} = 3 + 71.5 - (-0.3) = 74.8$
X ₃₃	$u_3 + v_3 - c_{33} = 3 + 78 - (-0.6) = 81.6$
X ₄₄	$u_4 + v_4 - c_{44} = -6.5 + (-3) - (-9.5) = 0$
X ₅₃	$u_5 + v_3 - c_{53} = -4.5 + 78 - (-0.2) = 73.7$
X ₅₄	$u_5 + v_4 - c_{54} = -4.5 + (-3) - (-7.5) = 0$
X ₆₃	$u_6 + v_3 - c_{63} = -2.5 + 78 - (-0.4) = 75.9$
X ₆₄	$u_6 + v_4 - c_{64} = -2.5 + (-3) - (-5.5) = 0$
X ₇₄	$u_7 + v_4 - c_{74} = -13 + (-3) - (-16) = 0$
X ₈₄	$u_8 + v_4 - c_{84} = -11 + (-3) - (-14) = 0$
X ₉₄	$u_9 + v_4 - c_{94} = -9 + (-3) - (-12) = 0$

Dari tabel evaluasi, diketahui bahwa solusi dari iterasi 1 tidak memiliki variabel non-dasar yang positif. Sehingga dapat dikatakan bahwa solusi dari iterasi 1 tersebut sudah optimal dengan nilai total biaya sebesar Rp. 1.335.400.000.

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Solusi Perencanaan Agregat

Berdasarkan perhitungan di atas metode *Least Cost* dan *Vogel* memberikan hasil yang berbeda dalam solusi awal. Pada kasus ini, metode *Least Cost* memberikan solusi awal dengan biaya total lebih rendah dibandingkan metode *Vogel*. Namun meski demikian setelah melalui proses optimasi dengan metode *Stepping Stone*, kedua metode tersebut memberikan solusi optimal yang sama dengan biaya total sebesar Rp. 1.335.400.000. Tabel 4.9 menunjukkan solusi optimal dari perencanaan agregat di PT Sinar Semesta.

Tabel 4.20 Solusi Optimal dari Perencanaan Agregat di PT. Sinar Semesta

PERIOD		I	II	III	CAPACITY
I	Production	34		6	40
	Overtime	10			10
	Subcontract	10			20
II	Production		36	4	40
	Overtime		10		10
	Subcontract		20		20
III	Production			40	40
	Overtime			10	10
	Subcontract			20	20
DEMAND		54	66	80	

Jadwal produksi di atas menunjukkan bahwa pada periode I, perusahaan sebaiknya memproduksi 50 ton, dimana 10 tonnya didapat dari over time. Sebanyak 6 ton dari produksi normal disimpan, untuk memenuhi permintaan pada periode III. Untuk memenuhi permintaan pada periode I, perusahaan masih perlu melakukan subkontrak sebanyak 10 ton pada perusahaan lain.

Sedangkan pada periode II, perusahaan masih perlu menerapkan jam lembur sehingga dapat memproduksi sebanyak 50 ton dimana 4 ton dari produksi normal disimpan untuk memenuhi permintaan pada periode III. Selain itu, perusahaan perlu melakukan subkontrak sebanyak 20 ton.

Pada periode III, perusahaan tetap perlu menerapkan jam lembur untuk memproduksi sebanyak 50 ton dan melakukan subkontrak sebanyak 20 ton. Untuk memenuhi permintaan yang tinggi di atas kapasitas produksi, perusahaan dapat menggunakan persediaan yang telah dicadangkan pada periode sebelumnya, yaitu sebanyak 6 ton dari periode I dan 4 ton dari periode II.

Bila diperhatikan, selama 3 periode perusahaan terus menerapkan jam lembur. Hal ini dapat berdampak buruk pada kinerja karyawan, sehingga opsi untuk meningkatkan kapasitas produksi normal melalui penambahan jumlah karyawan perlu diperhatikan oleh manajemen perusahaan.

5.2 Analisis Perbandingan Metode

Metode *Least Cost* dan *Vogel* telah memberikan solusi awal untuk model transportasi. Dari penelitian ini terlihat bahwa metode *Vogel* memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan metode *Least Cost*. Metode *Vogel* hanya memerlukan 1 kali iterasi untuk mencapai hasil yang optimal, sedangkan metode *Least Cost* memerlukan 2 kali iterasi. Tabel 4.10 menunjukkan perbandingan efisiensi metode *Least Cost* dan *Vogel* dalam mencapai solusi optimal.

Tabel 4.21 Perbandingan metode *Least Cost* dan *Vogel*

Proses	Metode Solusi Awal	
	<i>Least Cost</i>	<i>Vogel</i>
Solusi Awal	Rp. 1.335.920.000	Rp. 1.353.900.000
Iterasi 1	Rp. 1.335.560.000	Rp. 1.335.400.000
Iterasi 2	Rp. 1.335.400.000	<i>(sudah optimal)</i>

Seperti diketahui sebelumnya proses iterasi memerlukan proses evaluasi dari solusi sebelumnya, dimana proses evaluasi tersebut memakan waktu yang relatif tidak sedikit. Sehingga perbedaan dalam jumlah iterasi memberikan efisiensi yang signifikan dalam proses perhitungan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Model transportasi dapat dimanfaatkan untuk menyelesaikan permasalahan perencanaan agregat pada perusahaan.
2. Model transportasi mampu memberikan penghematan biaya dibandingkan metode konvensional. Hal ini disebabkan model transportasi mampu mengoptimalkan sumber daya produksi pada biaya yang terendah.
3. Metode *Least Cost*, *Vogel*, dan *Stepping Stone* dapat memberikan kerangka sistematis dalam menyelesaikan model transportasi.
4. Solusi awal dari metode *Least Cost* menghasilkan biaya total sebesar Rp. 1.335.920.000.
5. Solusi awal dari metode *Vogel* menghasilkan biaya total sebesar Rp. 1.353.900.000.
6. Solusi optimal dengan menggunakan metode *Stepping Stone* dari model transportasi untuk PT. Sinar Semesta adalah Rp. 1.335.400.000
7. Dibandingkan dengan *Least Cost*, metode *Vogel* memiliki efisiensi yang lebih baik dalam mencapai solusi yang optimal.

6.2 Saran

1. Penerapan kerja lembur selama 3 periode dapat berdampak buruk pada kinerja karyawan sehingga peningkatan kapasitas produksi regular melalui penambahan jumlah sumber daya perlu diperhatikan oleh manajemen perusahaan.
2. Model transportasi yang disusun dalam penelitian ini mengasumsikan bahwa jumlah sumber daya yang digunakan dalam setiap periode bersifat

tetap. Penelitian ini belum melibatkan strategi peningkatan kapasitas produksi melalui penambahan jumlah sumber daya dalam pemodelannya. Sehingga penelitian ke depan diharapkan dapat menyusun model transportasi yang melibatkan faktor tersebut dalam perencanaan agregat.

3. Penelitian ini membandingkan efisiensi dari metode solusi awal. Penelitian ke depan dapat diarahkan untuk membandingkan efisiensi dari metode optimasinya seperti MODI dan *Stepping Stone*.

DAFTAR PUSTAKA

- Taha, Hamdy, *Operations Research: an Introduction 8th Edition*. Pearson Education International. New Jersey, 2007
- Ferry Mulia, *Penggunaan Algoritma Greedy dalam Penyelesaian Masalah Transportasi*, Institute Teknologi Bandung, 2007.
- Tjutju Tarlih Dimiyati, Ir., MSIE, Akhmad Dimiyati, Ir, *Operation Research Model-model Pengambilan Keputusan*, Sinar Baru, Bandung, 1987