

**OPTIMASI COPRODUCTION DENGAN
ECONOMIC LOT SIZING SCHEDULLING PROBLEM (ELSP)
(Studi kasus : UD. Bagus Agriseta Mandiri)**

SKRIPSI

oleh
RISKI PRAMUDITA
0810943058-94



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**OPTIMASI COPRODUCTION DENGAN
ECONOMIC LOT SIZING SCHEDULLING PROBLEM (ELSP)
(Studi kasus : UD. Bagus Agriseta Mandiri)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Matematika

oleh
RISKI PRAMUDITA
0810943058-94



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2013

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
OPTIMASI COPRODUCTION DENGAN
ECONOMIC LOT SIZING SCHEDULLING PROBLEM (ELSP)

oleh
RISKI PRAMUDITA
0810943058-94

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 30 Januari 2013
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Matematika

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Drs. Marsudi, MS.
NIP. 196101171988021002

Dr. Abdul Rouf A., M.Sc, Ph.D
NIP. 196709071992031001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Drs. Abdul Rouf A., M.Sc, Ph.D
NIP.196709071992031001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Riski Pramudita
NIM : 0810943058
Jurusan : Matematika
Penulis skripsi berjudul : *Optimasi Coproduction Dengan
Economic Lot Sizing Schedulling
Problem (ELSP)*

dengan ini menyatakan bahwa

1. skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka skripsi ini semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi.
2. Apabila di kemudian hari diketahui bahwa isi skripsi saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 30 Januari 2013
yang menyatakan,

(Riski Pramudita)
NIM. 0810943058

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



OPTIMASI COPRODUCTION DENGAN ECONOMIC LOT SIZING SCHEDULLING PROBLEM (ELSP)

ABSTRAK

Masalah optimasi produksi merupakan masalah yang sangat besar bagi pelaku usaha. Salah satu model pengoptimalan produksi adalah *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)*. Dimana pengoptimalan dilakukan melalui penjadwalan produksi bersama dua barang sehingga didapatkan biaya total produksi yang minimum. Dalam skripsi akan dibahas model *ELSP* untuk masalah *coproduction* yang memperhitungkan banyaknya produksi secara terpisah (n), dan banyaknya produksi bersama (m) dilaksanakan. Model *ELSP* untuk masalah *coproduction* mempunyai dua kasus, yaitu $n \geq 1, m = 1$ dan $n = 1, m \geq 1$. Hasil perhitungan model *ELSP* pada UD. Bagus Agriseta Mandiri menunjukkan bahwa nilai total biayanya lebih optimal dari nilai batas bawah (*lower bound*).

Kata kunci : *ELSP*, produksi bersama, total biaya produksi

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



OPTIMIZATION COPRODUCTION WITH ECONOMIC LOT SIZING SCHEDULLING PROBLEM (ELSP)

ABSTRACT

Production optimization problem is a very big issue for businesses. One model of production optimization is Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP). Where the optimization of production is done by optimizing production scheduling with two items to obtain the minimum total cost of production. In this thesis will be discusses ELSP's model for coproduction that takes inti account the number of production separartelt (n), and the number of coproduction (m) executed. ELSP's model for coproduction problem has two cases, namely $n \geq 1, m = 1$ and $n = 1, m \geq 1$. The results of calculations ELSP's model at UD. Bagus Agriseta Mandiri show that the total cost is more optimal than the lower bound.

Keyword : ELSP, coproduction, total production cost

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Optimasi Coproduction dengan Economic Lot Sizing Scheduling Problem (ELSP)* dengan baik dan lancar. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan bagi penulis.

Penulis menyadari selama penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Marsudi, MS selaku pembimbing I dan Dr. Abdul Rouf A., M.Sc, Ph.D selaku pembimbing II sekaligus Ketua Jurusan Matematika atas segala bimbingan, motivasi, saran, waktu, serta kesabaran yang telah diberikan selama penulisan skripsi ini,
2. Kwardiniya S.Si, M.Si selaku dosen penguji atas segala saran yang diberikan untuk perbaikan skripsi ini,
3. Dr. Sobri Abusini, M.T. selaku Ketua Program Studi Matematika,
4. Dr. Agus Suryanto M.Sc selaku dosen pembimbing akademik atas segala masukan dan saran selama penulis menempuh kuliah.
5. semua bapak/ibu dosen Jurusan Matematika yang telah memberikan ilmunya kepada penulis, serta segenap staf dan karyawan TU Jurusan Matematika atas segala bantuannya.
6. Bapak, Ibu, Dhek Yani, Dinda Ayu dan semua anggota keluarga besarku, atas segala doa, dukungan, nasihat, dan kasih sayang yang telah diberikan,
7. Mas Fadli, Mimin, Inul, Ester, Fitri, Lina, Bang Roy, Wahid, Lia dan Rendy atas semua motivasi dan kesediaan bantuannya kapan pun penulis perlukan,
8. teman-teman D'Math Bee 2008, teman-teman Gajayana 28 A, dan rekan-rekan di LSM, atas bantuan yang telah diberikan, motivasi, kasih sayang dan kebersamaannya selama penulis menempuh kuliah,
9. semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT memberikan anugerah dan barokah-Nya kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran melalui email penulis riskipramudita@gmail.com. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, 30 Januari 2013

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Definisi Persediaan	5
2.2 Jenis Persediaan	6
2.3 Biaya-Biaya Dalam Persediaan	7
2.3.1 Biaya Pembelian (<i>Purchase Cost</i>)	7
2.3.2 Biaya Pemesanan (<i>Order Cost</i>)	7
2.3.3 Biaya Penyimpanan (<i>Carrying Cost/Holding Cost</i>) ..	9
2.4 Model Persediaan <i>Economic Lot Size (ELS)</i>	10
2.5 Model Persediaan <i>Economic Lot Sizing Schedulling</i> <i>Problem (ELSP)</i>	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	15
3.2 Jenis dan Sumber Data.....	15
3.3 Analisis Data.....	15

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Hasil Penelitian	19
4.2 Model <i>Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)</i> untuk Masalah <i>Coproduction</i>	19
4.2.1 Model <i>Economic Lot Sizing Schedulling Problem</i> (<i>ELSP</i>) untuk Kasus $n \geq 1, m = 1$	20
4.2.2 Model <i>Economic Lot Sizing Schedulling Problem</i> (<i>ELSP</i>) untuk Kasus $n = 1, m \geq 1$	23
4.3 Simulasi Numerik Model <i>Economic Lot Sizing Schedulling</i> <i>Problem (ELSP)</i> pada Masalah <i>Coproduction</i> di UD. Bagus Agriseta Mandiri	27
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Biaya Total Pemesanan.....	8
Gambar 2.2.	Biaya Penyimpanan dengan Unit yang Disimpan .	10
Gambar 2.3.	Grafik Model Persediaan <i>Economic Lot Size</i> (<i>ELS</i>).....	10
Gambar 3.1.	<i>Flowchart</i> Pengolahan Data	17
Gambar 4.1.	Grafik Model <i>Economic Lot Sizing Problem</i> (<i>ELSP</i>) untuk Kasus $n \geq 1, m = 1$	20
Gambar 4.2.	Grafik Model <i>Economic Lot Sizing Problem</i> (<i>ELSP</i>) untuk Kasus $n = 1, m \geq 1$	23
Gambar 4.3.	Grafik Total Biaya Hari ke-2.....	29
Gambar 4.4.	Grafik Total Biaya Hari ke-3.....	31
Gambar 4.5.	Grafik Total Biaya Hari ke-4.....	32
Gambar 4.6.	Grafik Total Biaya Hari ke-5.....	34
Gambar 4.7.	Grafik Total Biaya Hari ke-6.....	35
Gambar 4.8.	Grafik Total Biaya Hari ke-7.....	37
Gambar 4.9.	Grafik Total Biaya Hari ke-9.....	38
Gambar 4.10.	Grafik Total Biaya Hari ke-10.....	40
Gambar 4.11.	Grafik Total Biaya Hari ke-11.....	41
Gambar 4.12.	Grafik Total Biaya Hari ke-12.....	43
Gambar 4.13.	Grafik Total Biaya Hari ke-14.....	44
Gambar 4.14.	Grafik Total Biaya Hari ke-16.....	45
Gambar 4.15.	Grafik Total Biaya Hari ke-17.....	47
Gambar 4.16.	Grafik Total Biaya Hari ke-18.....	48
Gambar 4.17.	Grafik Total Biaya Hari ke-19.....	50
Gambar 4.18.	Grafik Total Biaya Hari ke-20.....	51
Gambar 4.19.	Grafik Total Biaya Hari ke-21.....	53
Gambar 4.20.	Grafik Total Biaya Hari ke-23.....	54
Gambar 4.21.	Grafik Total Biaya Hari ke-24.....	56
Gambar 4.22.	Grafik Total Biaya Hari ke-26.....	57
Gambar 4.23.	Grafik Total Biaya Hari ke-27.....	59
Gambar 4.24.	Grafik Total Biaya Hari ke-28.....	60
Gambar 4.25.	Grafik Total Biaya Hari ke-30.....	61
Gambar 4.26.	Tampilan Awal Program.....	69
Gambar 4.27.	Hasil Perhitungan <i>Economic Lot Sizing</i> <i>Schedulling Problem (ELSP)</i>	70

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil Perhitungan Nilai Batas Bawah	28
Tabel 4.2	Grafik Total Biaya Hari ke-2	29
Tabel 4.3	Grafik Total Biaya Hari ke-3	30
Tabel 4.4	Grafik Total Biaya Hari ke-4	31
Tabel 4.5	Grafik Total Biaya Hari ke-5	33
Tabel 4.6	Grafik Total Biaya Hari ke-6	34
Tabel 4.7	Grafik Total Biaya Hari ke-7	36
Tabel 4.8	Grafik Total Biaya Hari ke-9	37
Tabel 4.9	Grafik Total Biaya Hari ke-10	39
Tabel 4.10	Grafik Total Biaya Hari ke-11	40
Tabel 4.11	Grafik Total Biaya Hari ke-12	42
Tabel 4.12	Grafik Total Biaya Hari ke-14	43
Tabel 4.13	Grafik Total Biaya Hari ke-16	45
Tabel 4.14	Grafik Total Biaya Hari ke-17	46
Tabel 4.15	Grafik Total Biaya Hari ke-18	48
Tabel 4.16	Grafik Total Biaya Hari ke-19	49
Tabel 4.17	Grafik Total Biaya Hari ke-20	51
Tabel 4.18	Grafik Total Biaya Hari ke-21	52
Tabel 4.19	Grafik Total Biaya Hari ke-23	54
Tabel 4.20	Grafik Total Biaya Hari ke-24	55
Tabel 4.21	Grafik Total Biaya Hari ke-26	56
Tabel 4.22	Grafik Total Biaya Hari ke-27	58
Tabel 4.23	Grafik Total Biaya Hari ke-28	59
Tabel 4.24	Grafik Total Biaya Hari ke-30	61
Tabel 4.25	Hasil Perhitungan <i>ELSP</i>	62

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Simulasi Menggunakan <i>Software</i> Delphi 7.....	69
Lampiran 2. Data Tingkat Permintaan	71
Lampiran 3. Data Tingkat Produksi	72
Lampiran 4. Data Biaya Penyimpanan	73
Lampiran 5. Data Biaya Produksi.....	74
Lampiran 6. <i>Sourcecode</i> Program Menggunakan <i>Software</i> Delphi 7	75



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia ekonomi sekarang ini menuntut pelaku ekonomi menerapkan kebijakan dalam usaha. Pelaku ekonomi harus bisa membuat strategi yang jitu dalam membaca situasi pasar agar tidak mengalami kerugian. Bila hal ini tidak bisa dilakukan, maka usaha tersebut dipastikan tidak akan dapat bersaing dengan usaha-usaha lain yang selalu melakukan inovasi yang berbeda.

Suatu usaha dituntut harus bisa menganalisis dan menghitung biaya pemasukan dan pengeluaran secara akurat. Salah satu permasalahan yang mungkin muncul dalam suatu usaha adalah *cycle time*. *Cycle time* adalah periode yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus operasi, atau untuk menyelesaikan fungsi, pekerjaan dan tugas dari awal sampai akhir. *Cycle time* membutuhkan penghitungan yang akurat agar selama proses produksi perusahaan tidak mengalami kerugian, salah satunya tidak habisnya persediaan barang saat akhir siklus. Ada kalanya suatu perusahaan memproduksi barang secara bersamaan dalam waktu tertentu. Jika mesin produksi digunakan bersamaan untuk memproduksi dua barang yang berbeda akan menghasilkan keuntungan. Namun bila salah perhitungan saat memproduksi dua barang yang berbeda dalam waktu bersamaan, maka biaya akan melambung.

Tidak terkecuali untuk perusahaan makanan UD. Bagus Agriseti Mandiri yang merupakan usaha kecil menengah di kota Batu. Adanya produksi bersama beberapa produk dari bahan yang sama perlu diperhitungkan, agar usaha tidak mengalami kerugian dan mendapatkan biaya produksi yang minimal.

Produksi bersama tentu saja memiliki masalah-masalah yang muncul misalnya saja keterbatasan alat produksi, masa pakai mesin produksi ataupun penjadwalan produksi yang optimal. Dengan kata lain bahwa produksi bersama memiliki batasan masalah ataupun munculnya masalah saat proses produksi bersama berlangsung.

Dalam skripsi ini membahas mengenai pemecahan masalah penjadwalan *coproduction* yang optimal dengan menggunakan *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)*. Di mana penjadwalan ini mencari waktu yang tepat untuk melaksanakan produksi bersama dengan memperkirakan banyaknya persediaan di awal siklus, sehingga akan didapatkan biaya minimal dari total biaya suatu poses produksi. Selain itu, pelaku produksi akan mengetahui apakah dua produk ini akan diproduksi bersama ataukah diproduksi sendiri-sendiri.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada skripsi adalah :

1. bagaimana bentuk model persediaan *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)*?
2. bagaimana solusi optimal frekuensi produksi pada *coproduction* dengan menggunakan *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)* pada UD. Bagus Agriseta Mandiri ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. tidak diperbolehkan adanya kekurangan bahan produksi,
2. satu atau dua produk, dapat diproduksi pada satu mesin dalam waktu tertentu,
3. tingkat produksi dan tingkat produksi bersama dari setiap produk deterministik dan diketahui,
4. kapasitas produksi cukup untuk memenuhi jumlah permintaan,
5. pengoptimalan hanya untuk dua produk.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. merumuskan bentuk model *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)*
2. mengaplikasikan solusi frekuensi penjadwalan produksi yang optimal dari *coproduction* dengan menggunakan *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)* pada UD. Bagus Agriseta Mandiri

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. perusahaan dapat meminimalisasi waktu produksi barang dengan mengetahui waktu penjadwalan produksi bersama yang optimal,
2. perusahaan dapat meminimalisasi biaya produksi barang dengan memproduksi barang secara bersamaan.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Persediaan

Menurut Kartadinata (1990), persediaan (*inventory*) adalah bahan atau barang-barang yang ada pada suatu saat akan dijual kembali oleh perusahaan tanpa atau setelah mengalami pengolahan, sedangkan menurut Kalangi (2003), persediaan adalah suatu barang atau sumber daya yang digunakan oleh perusahaan atau organisasi.

Persediaan bahan baku adalah persediaan barang-barang berwujud yang digunakan dalam proses produksi, yang dapat diperoleh dari sumber-sumber alam atau dibeli dari *supplier* atau perusahaan yang menghasilkan bahan baku bagi pabrik yang menggunakannya. Pengendalian persediaan adalah kegiatan yang dilakukan untuk menjamin agar kegiatan produksi dan operasi yang dilaksanakan sesuai dengan apa yang direncanakan, dan apabila terjadi penyimpangan maka penyimpangan-penyimpangan tersebut dapat dikoreksi, sehingga apa yang diharapkan dapat tercapai (Assauri, 1980).

Semua perusahaan atau industri baik disengaja maupun tidak, akan selalu mempunyai persediaan bahan baku. Baik perusahaan tersebut perusahaan besar, perusahaan menengah atau kecil, hanya saja dalam jumlah dan keadaan yang berbeda-beda. Untuk perusahaan besar maupun menengah persediaan bahan baku ini dipersiapkan dengan baik, akan tetapi untuk perusahaan kecil tidak dipersiapkan sama sekali. Ditinjau dari awal proses produksi sampai dengan penyaluran ke pihak pengecer, persediaan bahan atau barang mempunyai peranan yang penting sesuai dengan tahapan operasi dalam perusahaan. Artinya persediaan bahan baku berperan penting dalam proses produksi, sedangkan persediaan barang jadi berperan penting untuk disimpan di gudang atau di pihak pengecer.

2.2 Jenis Persediaan

Tujuan utama dari persediaan adalah sebagai penyangga (*buffer function*) antara permintaan dan penawaran, sehingga kontinuitas produksi tetap terjaga walaupun intensitas permintaan dan penawaran relatif berfluktuasi. Jika dilihat dari aspek tujuannya, persediaan dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis, yaitu :

1. *cycle stocks*, yaitu persediaan yang tersedia karena pemesanan yang teratur, biasanya lebih didasarkan kepada permintaan pelanggan,
2. *safety stocks*, yaitu persediaan yang berfungsi sebagai pendukung dan digunakan apabila terjadi kekurangan persediaan,
3. *seasonal stocks*, yaitu persediaan yang disimpan untuk mempertahankan kestabilan proses produksi walaupun terjadi variasi permintaan musiman,
4. *pipline stocks*, yaitu persediaan yang bergerak dari satu lokasi ke lokasi lainnya,
5. *other stocks*, yaitu persediaan yang disimpan karena alasan-alasan lainnya.

Secara fungsi, persediaan dikelompokkan menjadi tiga kategori yaitu (Freddy Rangkuti, 2004) :

1. *Batch stock* atau *Lot Size Inventory*
Batch stock adalah persediaan yang diadakan karena membeli atau membuat bahan-bahan atau barang-barang dalam jumlah yang lebih besar daripada jumlah yang dibutuhkan saat itu. Keuntungan yang diperoleh diantaranya potongan harga pada harga pembelian, efisiensi produksi, penghematan biaya angkutan.
2. *Fluctuation Stock*
Fluctuation Stock adalah persediaan yang diadakan untuk menghadapi fluktuasi permintaan yang tidak dapat diramalkan (*unpredictable*). Misalnya, sering terjadi pada perusahaan yang bekerja atas dasar *job order* yang dipengaruhi banyak faktor luar.

3. *Anticipation Stock*

Anticipation Stock adalah persediaan yang diadakan untuk mengantisipasi permintaan yang fluktuasinya dapat diramalkan, berdasarkan pola musiman yang terdapat dalam satu tahun dan untuk menghadapi penggunaan, penjualan atau permintaan yang meningkat.

2.3 **Biaya–Biaya Dalam Persediaan**

Dalam melakukan persediaan tidak akan terlepas dari biaya-biaya yang diperlukan. Biaya – biaya tersebut adalah,

2.3.1 **Biaya Pembelian (*Purchase Cost*)**

Pembelian adalah harga yang harus dibayar untuk setiap *unit* barang (Siswanto,1985). Dalam pembelian terdapat dua macam kemungkinan untuk harga barang. Kemungkinan pertama adalah harga barang per *unit* yang tetap, dan yang kedua adalah harga barang per *unit* yang berubah, kemungkinan yang terakhir ini dijumpai apabila diberikan potongan harga tertentu untuk jumlah tertentu. Yang berarti bila semakin besar jumlah barang yang dibeli maka tingkat harga per *unit* lebih rendah atau murah.

Adapun model dari biaya pembelian diberikan dalam persamaan berikut:

$$C_p = C \times D,$$

dimana:

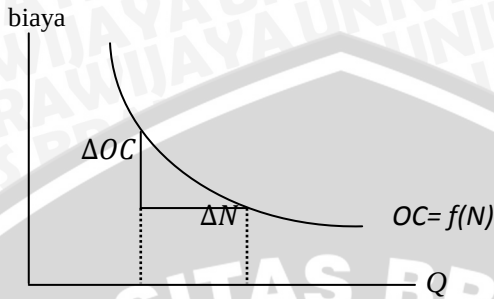
C_p = biaya pembelian,

C = harga per barang,

D = jumlah permintaan.

2.3.2 **Biaya pemesanan (*order cost*)**

Setiap kali suatu bahan dipesan, perusahaan menanggung biaya pemesanan (*order cost*). Biaya pemesanan total periode (tahunan) adalah jumlah pesanan yang dilakukan setiap periode dikalikan biaya yang harus dikeluarkan setiap kali pesan. Gambar 2.1 berikut memperlihatkan kurva biaya total pemesanan.



Gambar 2.1. Biaya Total Pemesanan

Seperti tampak pada gambar (2.1). OC adalah biaya total pemesanan, maka $OC = f(N)$ dan biaya setiap kali pesan $A = \frac{\Delta OC}{\Delta N}$, karena frekuensi pesanan sangat bergantung pada kebutuhan untuk periode yang akan datang yang dinyatakan dengan permintaan (D), dan banyaknya *unit* yang dipesan (Q) maka frekuensi pemesanannya adalah :

$$N = \frac{D}{Q},$$

maka apabila dikaitkan dengan A , biaya total pemesanan akan menjadi:

$$OC = N \times A,$$

jika periode pesan $t = \frac{1}{N}$, sehingga biaya pemesanan menjadi

$$OC = \frac{A}{t}.$$

Secara matematis OC merupakan fungsi non linier, yaitu bila nilai Q semakin kecil, maka biaya total pemesanan akan semakin besar, dan demikian pula sebaliknya, bila Q semakin besar maka biaya total pemesanan akan turun dengan persentase tertentu berdasarkan bertambahnya nilai Q . Atau dapat dituliskan sebagai berikut :

$$OC = \frac{DA}{Q},$$

di mana:

OC : biaya pesan (*order cost*)

N : frekuensi pemesanan

A : biaya tiap kali pesan

D : permintaan total.

2.3.3 Biaya Penyimpanan (*Carrying Cost / Holding Cost*)

Biaya penyimpanan adalah biaya yang dikeluarkan atas investasi dalam persediaan dan pemeliharaan maupun investasi sarana fisik untuk menyimpan persediaan. Setiap barang yang dibeli perusahaan akan disimpan dalam tempat penyimpanan atau gudang, selama masa penyimpanan akan timbul biaya untuk mempertahankan persediaan dan biaya ini dinamakan biaya penyimpanan. Biaya penyimpanan (*holding cost*) dapat dinyatakan ke dalam 2 cara, yaitu:

1. sebagai H , yaitu persentase nilai tertentu terhadap nilai persediaan rata-rata, yaitu: $\left(\frac{QC}{2}\right)$,
2. sebagai h dinyatakan dalam unit biaya tertentu untuk suatu periode waktu tertentu.

Parameter h adalah biaya simpan per *unit* per periode. Dengan kata lain,

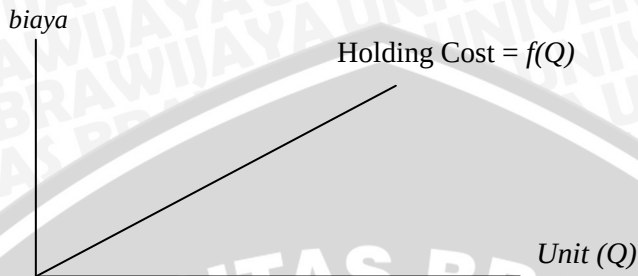
$$h = CH,$$

atau

$$H = \frac{h}{C},$$

dimana C adalah harga satuan persediaan, sedangkan H adalah persentase biaya simpan atas dasar harganya.

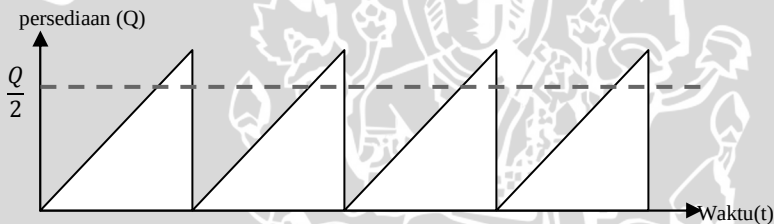
Biaya penyimpanan (*holding cost*) akan bertambah sesuai dengan jumlah yang disimpan. Kondisi semacam ini dapat dituangkan ke dalam model matematis sebagai suatu fungsi yang linier, dimana biaya penyimpanan sama dengan f (jumlah yang disimpan). Bila unit yang disimpan adalah Q , rata-rata unit yang disimpan adalah $\frac{Q}{2}$, maka biaya penyimpanan adalah $f(Q)$. Gambar (2.2) berikut adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara biaya penyimpanan dengan unit yang disimpan



Gambar 2.2. Biaya Penyimpanan dengan Unit yang Disimpan

2.4 Model Persediaan *Economic Lot Size (ELS)*

Model persediaan *Economic Lot Size (ELS)* menghasilkan produksi dalam jumlah satuan kelompok pada periode tertentu yang lebih ekonomis. Model persediaan ini dapat digambarkan pada gambar berikut :



Gambar 2.3. Grafik Model Persediaan *Economic Lot Size (ELS)*

Total biaya (TC) untuk *Economic Lot Size (ELS)* adalah jumlahan dari biaya penyimpanan dan biaya *set-up*,

$$TC(Q) = \frac{SD}{Q} + \frac{Q}{2} \left(\frac{D}{P} \right) H, \quad (2.1)$$

di mana P = kuantitas produksi
 S = biaya produksi

untuk memperoleh nilai maksimal dapat menggunakan prinsip differensial dari persamaan (2.1) terhadap Q dan ruas kanan bernilai nol maka,

$$\frac{dTC(Q)}{dQ} = 0 ,$$

$$\frac{DH}{2P} - \frac{SD}{Q^2} = 0 ,$$

sehingga didapatkan :

$$Q^* = \sqrt{\frac{2SP}{H}} ,$$

dengan syarat cukup :

$$\frac{d^2TC(Q)}{dQ^2} = \frac{2SD}{Q^3}$$

Jika $Q > 0$, maka $\frac{d^2TC(Q)}{dQ^2} > 0$ (minimum)

(Rismaya, M.D. 2009).

2.5 Model Persediaan *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)*

Model *ELS* yang merupakan model persediaan dapat dikembangkan menjadi model *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)*. *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)* merupakan suatu model yang menjadwalkan produksi, dimana dua produk dapat diproduksi bersama pada satu mesin dengan kapasitas yang terbatas. Model persediaan *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)* pada permasalahan ini akan membahas untuk masalah *coproduction* yang disengaja dan dikendalikan. Dimana dua barang akan dibandingkan total biayanya antara diproduksi terpisah ataukah secara bersamaan, sehingga didapatkan penjadwalan produksi yang optimal. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam model persediaan ini adalah :

1. beberapa produk dapat dihasilkan pada satu mesin dan hanya satu produk yang dapat diproduksi waktu dalam waktu tertentu,
2. tingkat permintaan dan tingkat produksi deterministik dan diketahui,

3. kapasitas produksi cukup untuk memenuhi permintaan,
4. biaya pembuatan dan waktu pembuatan adalah bebas dari urutan produksi,
5. pada akhir setiap produksi nilai persediaan adalah nol.

Di dalam *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)* terdapat tiga pilihan yang mungkin untuk memproduksi barang, yaitu :

1. memproduksi barang a dan barang b , namun tidak pernah memproduksi barang $a + b$,
2. memproduksi barang a , barang b dan barang $a + b$,
3. memproduksi barang a dan barang $a + b$.

Untuk kasus pertama diatas, yaitu menghasilkan barang a dan barang b secara terpisah dan tidak berhubungan dengan produksi bersama.

Untuk kasus kedua, dimana barang a dan barang b diproduksi secara terpisah dan memproduksi bersama barang $a + b$ tidak lebih baik dari memproduksi barang a dan memproduksi bersama barang $a + b$. Akibatnya, pilihan untuk produksi bersama adalah kasus yang ketiga. Disini akan dicari biaya yang lebih murah dengan membandingkan antara memproduksi barang a dan barang yang diproduksi secara terpisah dengan memproduksi bersama barang $a + b$.

Dalam produksi tentunya diperlukan adanya waktu siklus produksi. Waktu siklus sangat penting karena jika salah memperhitungkan waktu siklus dalam suatu produksi maka akan terdapat sisa persediaan. Waktu siklus (T) dalam proses produksi terdiri dari waktu n yang merupakan banyaknya produksi dari produk a dan waktu m yang merupakan banyaknya produksi bersama dari $a + b$. Pada akhir siklus (T), persediaan untuk barang a dan b harus nol. Sehingga untuk memulai siklus baru dapat dengan memproduksi bersama produk $a + b$.

Jadi model total biaya adalah fungsi waktu siklus T , berapa n kali dilaksanakan untuk memproduksi barang a , serta berapa m kali dilaksanakan untuk memproduksi bersama barang $a + b$. Biaya total selama waktu siklus (T) adalah jumlahan dari total biaya produksi (S) serta biaya penyimpanan (h) yang dikalikan dengan nilai persediaan rata-rata (I) seperti yang tertera dibawah ini :

$$Ct(T, m, n) = \frac{1}{T}(mS_{ab} + nS_a) + h_b I_b + h_a I_a, \quad (2.2)$$

di mana Ct = total biaya
 S_{ab} = biaya produksi bersama produk $a + b$
 S_a = biaya produksi produk a
 h_a = biaya penyimpanan produk a
 h_b = biaya penyimpanan produk b
 I_a = persediaan rata-rata produk a
 I_b = persediaan rata-rata produk b
 T = waktu siklus (periode)
 m = banyaknya produksi bersama dilaksanakan
 n = banyaknya produksi produk a dilaksanakan

Rumus total biaya adalah fungsi dari T , n dan m karena seluruh persediaan rata – rata dari produk a dan b adalah fungsi dari T , n dan m . Untuk total permintaan produk a didapatkan dari banyaknya n kali dilaksanakan yang disimbolkan Q_a , dan banyaknya m kali dilaksanakan dari produksi bersama yang disimbolkan Q_{ab} selama T .

$$nQ_a + mQ_{ab} = d_a T, \quad (2.3)$$

sedangkan untuk produk b didapatkan dari m kali produksi bersama yang disimbolkan Q_{ba} selama T .

$$mQ_{ba} = d_b T, \quad (2.4)$$

$$\frac{Q_{ab}}{P_{ab}} = \frac{Q_{ba}}{P_{ba}}. \quad (2.5)$$

Untuk persamaan (2.5) diperoleh karena merupakan produksi bersama yang dikontrol dimana rasio produksi bersama diketahui. Dari persamaan (2.4) dapat diubah menjadi,

$$Q_{ba} = \frac{d_b T}{m}.$$

Dari persamaan (2.5) dapat diperoleh bentuk sebagai berikut

$$Q_{ab} = \frac{P_{ab}}{P_{ba}} Q_{ba} = \tau \frac{d_a T}{m},$$

sehingga didapatkan nilai

$$Q_a = \frac{d_a T - m Q_{ab}}{n} = \frac{1 - \tau}{n} d_a T ,$$

di mana τ = tingkat konsumsi relatif barang-barang yang diproduksi bersama ($\tau = \frac{P_{ab} d_b}{P_{ba} d_a}$).

Model persediaan *Economic Lot Sizing Scheduling Problem (ELSP)* mempunyai nilai batas bawah sebagai berikut :

$$Lb = \sqrt{2S_a h_a d_a \left(1 - \frac{d_a}{p_a}\right)} + \sqrt{2S_b h_b d_b \left(1 - \frac{d_b}{p_b}\right)} , \quad (2.6)$$

di mana d_a = tingkat permintaan produk a

d_b = tingkat permintaan produk b

S_a = biaya produksi produk a

S_b = biaya produksi produk b

p_a = tingkat produksi produk a

p_b = tingkat produksi produk b

h_a = biaya penyimpanan produk a

h_b = biaya penyimpanan produk b

(Carreras dkk,2012).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dalam skripsi ini dilaksanakan di **UD. Bagus Agriseta Mandiri** kecamatan Bumiaji kota Batu provinsi Jawa Timur pada bulan Mei 2012. UD. Bagus Agriseta Mandiri merupakan usaha kecil menengah yang berdiri pada 31 Maret 2001. Pada awal berdiri, perusahaan hanya memproduksi jenang apel. Dua tahun kemudian, perusahaan mulai memproduksi sari apel dan keripik apel. Perusahaan sampai sekarang terus berkembang dengan memproduksi berbagai macam olahan buah.

Dengan visi mewujudkan modal pertanian terpadu yang efisien, tangguh, modern, inovatif berkelanjutan dan berdimensi kerakyatan serta misi memperdayakan segenap potensi sumber daya alam dan manusia untuk membangun pertanian Indonesia membuat perusahaan pelayanan memberikan yang terbaik untuk pelanggan.

3.2 Jenis dan Sumber Data

Data dapat dibedakan berdasarkan sumbernya, yaitu data primer dan data skunder. Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari sumbernya atau data yang diamati dan dicatat pertama kalinya. Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung dari objeknya tetapi melalui sumber lain baik lisan maupun tertulis (Setiawan, 2011).

Data yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah data sekunder. Data yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain :

1. biaya penyimpanan dodol apel dan jenang apel,
2. tingkat permintaan dodol apel dan jenang apel,
3. biaya produksi dodol apel dan dodo apel + jenang apel,
4. tingkat produksi dodol apel dan jenang apel,
5. waktu siklus produksi.

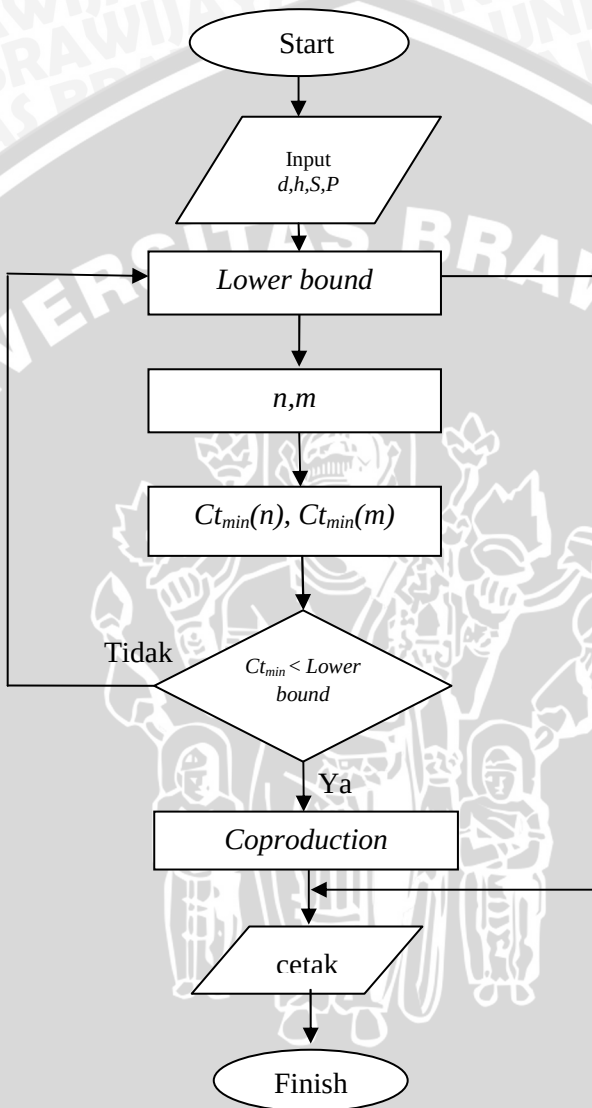
Dodol apel disini dijadikan produk *a*, sedangkan jenang apel sebagai produk *b*. Data yang digunakan adalah data pada bulan Mei 2012.

3.3 Analisis data

Setelah data diperoleh, dilakukan analisis dan perhitungan terhadap data tersebut. Langkah-langkah yang dilakukan adalah :

1. memodelkan bentuk model persediaan *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)* untuk kasus *coproduction*,
 - a. menentukan nilai persediaan rata-rata (I) untuk kasus 1 ($n \geq 1, m = 1$) dan kasus 2 ($n = 1, m \geq 1$),
 - b. mengganti nilai I pada persamaan (2.2) dengan nilai I untuk setiap kasus,
 - c. menentukan nilai T^* dari persamaan (2.2) dengan menggunakan differensial matematika.
2. menghitung nilai batas bawah model persediaan *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)* dengan menggunakan persamaan (2.6),
3. menentukan nilai n dan m dari kasus 1 ($n \geq 1, m = 1$) dan kasus 2 ($n = 1, m \geq 1$),
4. menghitung nilai biaya total yang optimal,
 - a. bila didapatkan nilai $n \geq 1$ dan $m = 1$ menggunakan persamaan total biaya yang didapatkan dari kasus 1,
 - b. bila didapatkan nilai $n = 1$ dan $m \geq 1$ menggunakan persamaan total biaya yang didapatkan dari kasus 2,
- c. membandingkan nilai batas bawah dengan nilai biaya total yang optimal,
 1. jika nilai biaya total $<$ batas bawah akan dilakukan proses *coproduction*,
 2. jika nilai biaya total $>$ batas bawah tidak akan dilakukan proses *coproduction*.

Flowchart untuk pengolahan data seperti gambar berikut :



Gambar 3.1 Flowchart Pengolahan Data

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil dari penelitian yang dilakukan di UD. Bagus Agriseta Mandiri adalah didapat data-data yang akan dianalisis dengan menggunakan metode *ELSP*. Data-data yang diperoleh adalah data biaya penyimpanan dodol apel dan jenang apel, data tingkat permintaan jenang dan dodol apel, data biaya produksi dodol dan jenang apel, tingkat produksi dodol dan jenang apel serta waktu siklus produksi.

1. Data Tingkat Permintaan

Data tingkat permintaan menyatakan banyaknya permintaan produk dalam sehari yang terdapat dalam Lampiran 2.

2. Data Tingkat Produksi

Data tingkat produksi menyatakan banyaknya produk yang dihasilkan produsen dalam sehari yang terdapat pada Lampiran 3.

3. Data Biaya Penyimpanan

Data biaya penyimpanan menyatakan besarnya biaya yang dikeluarkan untuk menyimpan barang dalam gudang yang terdapat pada Lampiran 4.

4. Data Biaya Produksi

Data biaya produksi menyatakan besarnya biaya yang dikeluarkan produsen untuk memproduksi barang yang terdapat pada Lampiran 5.

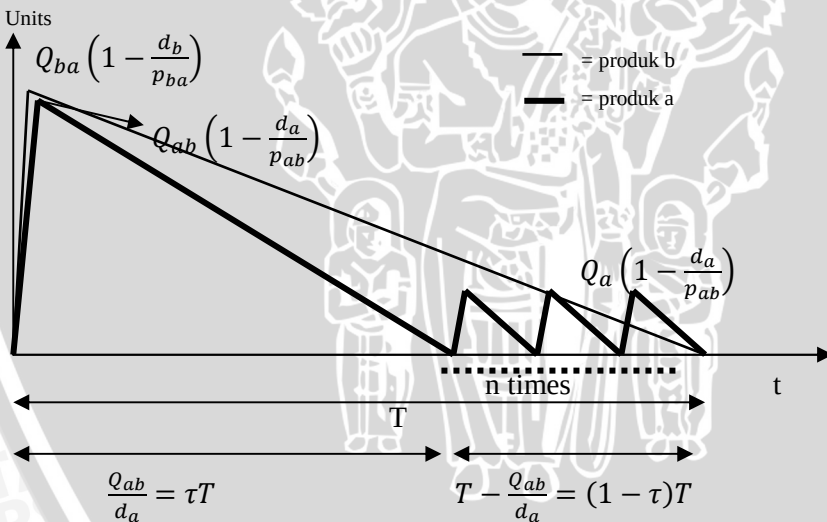
4.2 Model *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)* untuk Masalah *Coproduction*

Seperti dituliskan di bagian sebelumnya bahwa model *Economic Lot Sizing Schedulling Problem* mempunyai persamaan dasar yaitu di persamaan (2.2). Dalam persamaan nilainya tergantung pada tiga variable, yaitu T , n dan m . Untuk optimasi penjadwalan produksi yang optimal nilai n dan m akan dibatasi yaitu $n = 1$ atau $m = 1$.

Oleh karena itu ada dua kasus dalam model ini. Kasus $n \geq 1, m = 1$ yang terdiri atas n kali produksi produk a dan satu kali produksi bersama $a+b$ sampai diperoleh hasil yang optimal. Kasus $n = 1, m \geq 1$ yang terdiri atas satu kali memproduksi a dan m kali produksi bersama $a+b$ hingga diperoleh hasil yang optimal. Dalam model ini salah satu barang mempunyai jumlah tingkat permintaan yang tinggi. Nilai T diperoleh dari dua kasus ini, sehingga dibutuhkan kombinasi nilai dari T , n dan m untuk mendapatkan penjadwalan yang optimal dan biaya produksi yang paling minimum.

4.2.1 Model *Economic Lot Sizing Scheduling Problem (ELSP)* untuk Kasus $n \geq 1, m = 1$

Model ini mempertimbangkan untuk melaksanakan produksi dalam periode T , dimana produksi menjalankan n kali dari produk a dan menjalankan satu kali produksi bersama $a+b$, sehingga dapat memenuhi permintaan pelanggan. Kasus ini dapat diperjelas oleh ilustrasi pada Gambar 4.1.



Gambar (4.1) Grafik Model *Economic Lot Sizing Problem (ELSP)* untuk Kasus $n \geq 1, m = 1$

Gambar 4.1 menunjukkan ilustrasi perubahan persediaan dimana, diawal siklus produksi bersama dilaksanakan. Banyaknya produk yang diproduksi untuk produk a sebesar $Q_{ab} \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right)$ sedangkan untuk produk b sebesar $Q_{ba} \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}}\right)$. Karena konsumsi relative produk a yang lebih besar daripada produk b , besarnya persediaan produk a akan lebih cepat habis. Dari gambar diatas, produk a habis selama τT . Sehingga diperlukan produksi tambahan sebanyak n kali produksi produk a sebesar $Q_a \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right)$ selama $(1 - \tau)T$ sampai didapatkan nilai siklus yang optimal. Dari kasus ini dapat dicari persamaan persediaan rata-rata untuk setiap produk. I_a adalah nilai persediaan rata-rata dari produk a . I_a sendiri terdiri dari dua kondisi, yaitu I_{a1} dari proses produksi bersama selama τT dan I_{a2} dari produksi sendiri selama $(1 - \tau)T$. Sehingga diperoleh nilai I_a sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 I_a &= I_{a1} + I_{a2} , \\
 I_a &= \frac{Q_{a1(awal)} + Q_{a1(akhir)}}{2} + \frac{Q_{a2(awal)} + Q_{a2(akhir)}}{2} \\
 &= \frac{1}{T} \left(\frac{Q_{ab} Q_{ab}}{d_a} \right) \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}} \right) + \frac{1}{T} \left[\left(T - \frac{Q_{ab}}{d_a} \right) \frac{Q_a}{2} \right] \left(1 - \frac{d_a}{p_a} \right) \\
 &= \frac{1}{T} \left[\tau T \frac{\tau d_a T}{2} \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}} \right) + (1 - \tau) T \frac{1 - \tau}{2n} d_a T \left(1 - \frac{d_a}{p_a} \right) \right] \\
 &= \frac{d_a T}{2} \left[\tau^2 \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}} \right) + \frac{(1 - \tau)^2}{n} \left(1 - \frac{d_a}{p_a} \right) \right]. \tag{4.1}
 \end{aligned}$$

Sedangkan dari produk b , nilai persediaan rata-rata seperti dibawah ini,

$$\begin{aligned}
 I_b &= \frac{Q_{b(awal)} + Q_{b(akhir)}}{2} \\
 &= \frac{Q_{ba}}{2} \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}} \right)
 \end{aligned}$$

$$= \frac{d_b T}{2} \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}} \right). \quad (4.2)$$

Dengan mengganti nilai persediaan rata-rata (I) pada persamaan (2.2) dengan persamaan (4.1) dan (4.2) serta $m = 1$ maka didapatkan nilai total biaya untuk kasus ini,

$$Ct(T, n) = \frac{1}{T} (S_{ab} + nS_a) + h_b \left[\frac{d_b T}{2} \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}} \right) \right] + h_a \left[\frac{d_a T}{2} \left[\tau^2 \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}} \right) + \frac{(1-\tau)^2}{n} \left(1 - \frac{d_a}{p_a} \right) \right] \right]. \quad (4.3)$$

Dengan menggunakan prinsip differensial matematika terhadap waktu siklus (T) dan ruas kanan bernilai nol, maka akan didapatkan nilai minimum dari persamaan (4.3),

$$\begin{aligned} \frac{dCt(T)}{dT} &= 0 \\ 0 &= -\frac{1}{T^2} (S_{ab} + nS_a) + h_b \left[\frac{d_b}{2} \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}} \right) \right] + h_a \left[\frac{d_a}{2} \left[\tau^2 \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}} \right) + \frac{(1-\tau)^2}{n} \left(1 - \frac{d_a}{p_a} \right) \right] \right] \\ T^* &= \pm \left(\frac{2(S_{ab} + nS_a)}{h_b d_b \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}} \right) + h_a d_a \left[\tau^2 \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}} \right) + \frac{(1-\tau)^2}{n} \left(1 - \frac{d_a}{p_a} \right) \right]} \right)^{1/2}. \end{aligned}$$

Karena nilai T tidak mungkin negatif, maka diambil nilai T yang positif,

$$T^* = \left(\frac{2(S_{ab} + nS_a)}{h_b d_b \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}} \right) + h_a d_a \left[\tau^2 \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}} \right) + \frac{(1-\tau)^2}{n} \left(1 - \frac{d_a}{p_a} \right) \right]} \right)^{1/2}, \quad (4.4)$$

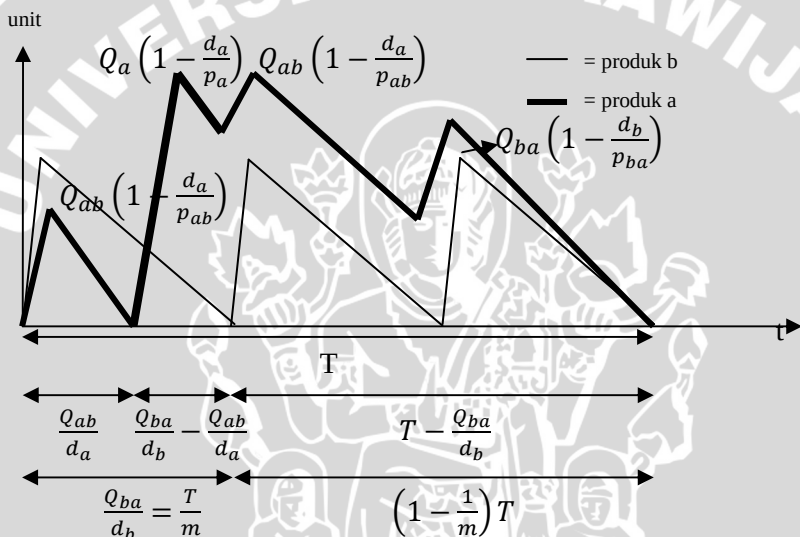
dengan syarat cukup,

$$\frac{d^2 Ct(T)}{dT^2} = \frac{2(S_{ab} + nS_a)}{T^3}.$$

Karena nilai T selalu positif, maka $\frac{d^2 Ct(T)}{dT^2} > 0$ (minimum).

4.2.2 Model *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)* untuk Kasus $n = 1, m \geq 1$

Model ini mempertimbangkan untuk melaksanakan produksi dalam periode T , dimana produksi menjalankan satu kali dari produk a dan menjalankan m kali produksi bersama $a+b$. Grafik untuk kasus ini dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar (4.2) Grafik Model *Economic Lot Sizing Problem (ELSP)* untuk Kasus $n = 1, m \geq 1$

Gambar 4.2 diatas merupakan ilustrasi perubahan persediaan untuk kasus ini, dimana diawal siklus produksi bersama dilaksanakan. Banyaknya produk a yang diproduksi sebesar $Q_{ab} \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right)$ selama τT , sedangkan untuk produk b sebesar $Q_{ba} \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}}\right)$ selama T/m . Karena konsumsi relative produk a yang besar maka diperlukan produksi kembali. Namun produk a diproduksi dalam jumlah yang

lebih banyak sebesar $Q_a \left(1 - \frac{d_a}{p_a}\right)$. Jumlah persediaan produk a yang berkurang akan kembali bertambah lagi dari tambahan produksi bersama. Sehingga untuk mendapatkan solusi yang optimal siklus membutuhkan produksi bersama tambahan. Dengan menggunakan prinsip persediaan rata-rata, didapatkan nilai persediaan rata-rata untuk kasus ini. Nilai persediaan rata-rata untuk produk a sebesar I_a . I_a sendiri terdiri dari beberapa kondisi yang berbeda, yaitu I_{a1} saat produksi bersama pada awal siklus. I_{a2} saat produksi sendiri dan I_{a3} pada saat persediaan produk a sendiri ditambahkan dengan produksi bersama selanjutnya. Sehingga diperoleh nilai I_a seperti berikut,

$$I_{a1} = \frac{Q_{a1(awal)} + Q_{a1(akhir)}}{2}$$

$$\begin{aligned} I_{a1} &= \frac{1}{T} \left(\frac{Q_{ab}}{d_a} \frac{Q_{ab}}{2} \right) \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}} \right) = \frac{1}{T} \left(\frac{\left(\frac{\tau}{m} d_a T \right)^2}{2 d_a} \right) \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}} \right) \\ &= \frac{\tau^2 d_a T}{2 m^2} \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}} \right). \end{aligned}$$

Sedangkan untuk produksi sendiri sejumlah $Q_a \left(1 - \frac{d_a}{p_a}\right)$, didapatkan nilai persediaan rata-rata sebagai berikut,

$$\begin{aligned} I_{a2} &= \frac{Q_{a2(awal)} + Q_{a2(akhir)}}{2} \\ &= \frac{1}{T} \left[\left(\frac{Q_a \left(1 - \frac{d_a}{p_a} \right) + Q_a - d_a \left(\frac{Q_{ba}}{d_b} - \frac{Q_{ab}}{d_a} \right)}{2} \right) \left(\frac{Q_{ba}}{d_b} - \frac{Q_{ab}}{d_a} \right) \right] \\ &= \frac{1}{T} \left[\left(\frac{(1 - \tau) d_a T \left(1 - \frac{d_a}{p_a} \right) + (1 - \tau) d_a T - d_a T \left(\frac{1 - \tau}{m} \right)}{2} \right) \left(T \frac{1 - \tau}{m} \right) \right] \\ &= \frac{(1 - \tau)^2 d_a T}{2 m} \left[\left(1 - \frac{d_a}{p_a} \right) + 1 - \frac{1}{m} \right]. \end{aligned}$$

Nilai persediaan dari produk a yang terus menurun kembali bertambah karena adanya produksi bersama tambahan. Nilai persediaan rata-rata untuk kurva ini dapat dijabarkan sebagai berikut,

$$I_{a3} = I_{a31} + I_{a32}$$

$$I_{a31} = \frac{Q_{a31(awal)} + Q_{a31(akhir)}}{2}$$

$$= \frac{1}{T} \left[\left(1 - \frac{1}{m}\right) T \frac{Q_{ab}}{2} \right] \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right)$$

$$= \frac{1}{T} \left[\left(1 - \frac{1}{m}\right) T \frac{\tau}{2m} d_a T \right] \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right)$$

$$= \frac{\tau d_a T}{2m} \left(1 - \frac{1}{m}\right) \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right)$$

$$I_{a32} = \frac{Q_{a32(awal)} + Q_{a32(akhir)}}{2}$$

$$= \frac{1}{T} \left[\frac{Q_a - d_a \left(\frac{Q_{ba}}{d_b} - \frac{Q_{ab}}{d_a} \right)}{2} \left(1 - \frac{1}{m}\right) T \right]$$

$$= \frac{1}{T} \left[\frac{(1 - \tau) d_a T - d_a T \left(\frac{1 - \tau}{m} \right)}{2} \left(1 - \frac{1}{m}\right) T \right]$$

$$= \frac{d_a T}{2} \left(1 - \frac{1}{m}\right) \left[(1 - \tau) - \left(\frac{1 - \tau}{m} \right) \right] = \frac{d_a T}{2} (1 - \tau) \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2$$

$$I_{a3} = I_{a31} + I_{a32}$$

$$= \frac{\tau d_a T}{2m} \left(1 - \frac{1}{m}\right) \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right) + \frac{d_a T}{2} (1 - \tau) \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2.$$

Dari ketiga nilai persediaan rata-rata dari produk a jika dijumlahkan maka akan menghasilkan nilai I_a ,

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a3}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\tau^2 d_a T}{2m^2} \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right) + \frac{(1-\tau)^2 d_a T}{2m} \left[\left(1 - \frac{d_a}{p_a}\right) + 1 - \frac{1}{m} \right] \\
&\quad + \frac{\tau d_a T}{2m} \left(1 - \frac{1}{m}\right) \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right) + \frac{d_a T}{2} (1-\tau) \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2.
\end{aligned} \tag{4.5}$$

Sedangkan untuk produk b , diperoleh nilai persediaan rata-rata sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
I_b &= \frac{Q_{b(awal)} + Q_{b(akhir)}}{2} \\
&= \frac{Q_{ba}}{2m} \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}}\right) \\
&= \frac{d_b T}{2m} \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}}\right),
\end{aligned} \tag{4.6}$$

dengan mengganti nilai persediaan rata-rata (I) pada persamaan (2.2) dengan persamaan (4.5) dan (4.6) serta $n = 1$ maka didapatkan nilai total biaya untuk kasus ini :

$$\begin{aligned}
Ct(T, m) &= \frac{1}{T} (mS_{ab} + S_a) + h_b \frac{d_b T}{2m} \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}}\right) \\
&\quad + h_a \left(\frac{\tau^2 d_a T}{2m^2} \left(1 - \frac{d_a}{p_{ba}}\right) + \frac{(1-\tau)^2 d_a T}{2m} \left[\left(1 - \frac{d_a}{p_a}\right) + 1 - \frac{1}{m} \right] \right. \\
&\quad \left. + \frac{\tau d_a T}{2m} \left(1 - \frac{1}{m}\right) \left(1 - \frac{d_a}{p_{ba}}\right) + \frac{d_a T}{2} \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2 (1-\tau) \right),
\end{aligned} \tag{4.7}$$

dengan menggunakan prinsip differensial matematika terhadap waktu siklus (T) dan ruas kanan bernilai nol, maka :

$$\begin{aligned}
\frac{dCt(T)}{dT} &= 0 \\
0 &= -\frac{1}{T^2} (mS_{ab} + S_a) + h_b \frac{d_b}{2m} \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}}\right) \\
&\quad + h_a \left(\frac{\tau^2 d_a}{2m^2} \left(1 - \frac{d_a}{p_{ba}}\right) + \frac{(1-\tau)^2 d_a}{2m} \left[\left(1 - \frac{d_a}{p_a}\right) + 1 - \frac{1}{m} \right] \right.
\end{aligned}$$

$$T^* = \pm \left(\frac{\tau d_a \left(1 - \frac{1}{m}\right) \left(1 - \frac{d_a}{p_{ba}}\right) + \frac{d_a}{2} \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2 (1 - \tau)}{2(mS_{ab} + S_a)} \right)^{1/2}$$

$$\left(\frac{\frac{h_b d_b}{m} \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}}\right) + h_a d_a \left[\frac{\tau^2 \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right) + \frac{(1-\tau)^2}{m} \left[\left(1 - \frac{d_a}{p_a}\right) + 1 - \frac{1}{m} \right] \right]}{\frac{\tau}{m} \left(1 - \frac{1}{m}\right) \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right) + \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2 (1 - \tau)} \right)^{1/2}$$

karena nilai T bernilai positif, maka diambil nilai T yang positif sebagai berikut,

$$T^* = \left(\frac{2(mS_{ab} + S_a)}{\frac{h_b d_b}{m} \left(1 - \frac{d_b}{p_{ba}}\right) + h_a d_a \left[\frac{\tau^2 \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right) + \frac{(1-\tau)^2}{m} \left[\left(1 - \frac{d_a}{p_a}\right) + 1 - \frac{1}{m} \right] \right]} \right)^{1/2}, \quad (4.8)$$

$$\left[\frac{\tau}{m} \left(1 - \frac{1}{m}\right) \left(1 - \frac{d_a}{p_{ab}}\right) + \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2 (1 - \tau) \right]$$

dengan syarat cukup

$$\frac{d^2 Ct(T)}{dT^2} = \frac{2(mS_{ab} + S_a)}{T^3},$$

karena nilai T selalu positif, maka $\frac{d^2 Ct(T)}{dT^2} > 0$ (minimum)

4.3 Simulasi Numerik Model *Economic Lot Sizing Schedulling Problem* (ELSP) pada Masalah *Coproduction* di UD. Bagus Agriseta Mandiri

Untuk mengetahui total biaya minimal produksi bersama, langkah pertama adalah menghitung nilai batas bawah dari persamaan (2.6) untuk setiap produksi per harinya menggunakan *software Delphi 7* (dapat dilihat pada lampiran 1).

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Nilai Batas Bawah

Hari	Lower Bound	Hari	Lower Bound
1	-	16	8.233.594
2	8.272.744	17	6.271.175
3	7.513.757	18	4.648.328
4	8.863.830	19	5.276.871
5	3.443.126	20	3.365.747
6	8.719.913	21	5.681.578
7	7.324.644	22	-
8	-	23	4.414.487
9	5.787.558	24	10.716.728
10	9.614.400	25	-
11	6.837.105	26	6.077.926
12	8.957.988	27	2.237.992
13	-	28	4.033.801
14	5.434.870	29	-
15	-	30	10.971.513

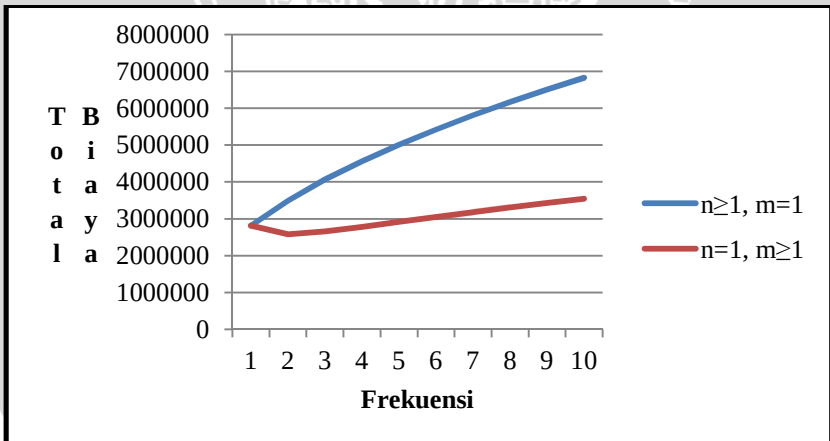
Pada Tabel 4.1 diatas terdapat tanda (-) yang berarti bahwa di hari tersebut tidak dilaksanakan produksi karena adanya hari libur atau hari besar nasional. Langkah selanjutnya adalah dengan menghitung nilai biaya produksi yang optimal untuk setiap harinya. Untuk mendapatkan nilai biaya produksi yang optimal dengan cara mengubah nilai variabel n dan m dari persamaan (4.3) dan (4.7) sampai didapatkan biaya produksi yang optimal. Disini n dan m dibatasi hanya dihitung sampai nilai n dan m adalah 10. Setelah kedua biaya diatas telah didapatkan, keduanya akan dibandingkan apakah akan dilakukan proses *coproduction*/produksi bersama atau tidak di setiap harinya. Jika nilai biaya produksi model persediaan *ELSP* lebih kecil nilainya dari nilai batas bawah, proses *coproduction* dapat dilakukan. Jika nilai model persediaan *ELSP* lebih besar dari nilai batas bawah maka proses *coproduction* tidak dapat dilakukan. Berikut adalah perhitungan nilai total biaya optimum dan waktu siklusnya perharinya pada UD. Bagus Agriseta Mandiri.

Tabel 4.2 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-2

n	$Ct(m=1)$	T	m	$Ct(n=1)$	T
1	2.812.649	2,78173	1	2.812.649	2,78173
2	3.493.922	3,45775	2	2.578.695	3,61074
3	4.062.702	4,02152	3	2.659.955	4,22935
4	4.561.140	4,51539	4	2.781.954	4,83938
5	5.010.250	4,96032	5	2.917.422	5,39011
6	5.422.295	5,36849	6	3.050.574	5,91642
7	5.805.171	5,74774	7	3.180.672	6,41348
8	6.164.314	6,10348	8	3.305.945	6,88969
9	6.503.656	6,43959	9	3.426.676	7,34649
10	6.826.150	6,75900	10	3.542.931	7,78695

Terlihat dari Tabel 4.2, nilai total biaya akan optimum jika nilai $n = 1$, $m = 2$. Pada hari ke-2 ini dodol apel akan diproduksi satu kali, sedangkan produksi bersama dilakukan sebanyak dua kali. Nilai $n=1$, $m=1$ memiliki nilai waktu siklus yang lebih kecil, namun nilai total biaya lebih besar dari $n = 1$, $m = 2$.

Jika total biaya pada Tabel 4.2 di atas dijadikan dalam bentuk grafik, akan nampak seperti gambar dibawah ini,



Gambar (4.3) Grafik Total Biaya Hari ke-2

Total biaya optimum untuk hari ke-2 sebesar Rp 2.578.695 dengan waktu siklus 3,61074. Untuk batas bawah sebesar Rp 8.272.744. Jika kedua biaya tersebut dibandingkan, maka model persediaan *ELSP* mempunyai biaya yang lebih kecil sebesar,

$$Rp\ 8.272.744 - Rp\ 2.578.695 = Rp\ 5.5694.049$$

atau

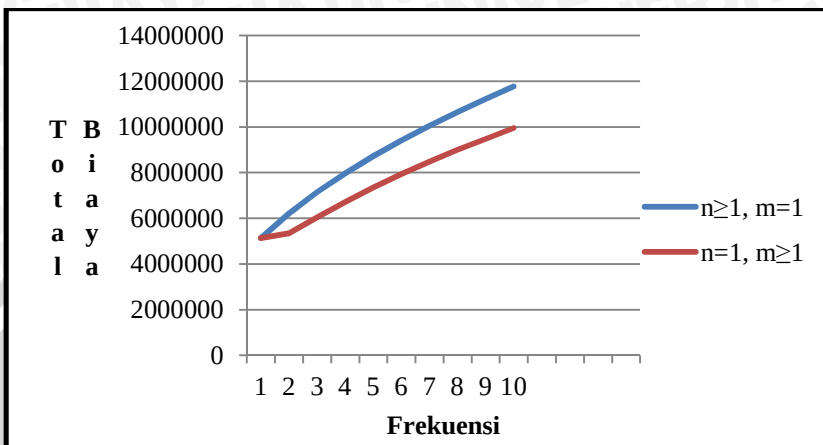
$$\frac{Rp\ 5.5694.049}{Rp\ 8.272.744} \times 100\% = 68,83\%$$

Dengan demikian, perusahaan dapat melakukan proses *coproduction* dengan nilai $n = 1, m = 2$.

Tabel 4.3 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-3

n	$Ct\ (m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	4.384.660	1,32723	1	4.384.660	1.32723
2	5.407.264	1,63703	2	3.736.516	2,19085
3	6.265.197	1,89686	3	3.541.248	2,64044
4	7.019.054	2,12515	4	3.465.546	3,13235
5	7.699.457	2,33119	5	3.437.415	3,54625
6	8.324.435	2,52044	6	3.435.338	3,95518
7	8.905.661	2,69644	7	3.449.665	4,33508
8	9.451.212	2,86164	8	2.369.036	4,70398
9	9.966.947	3,01278	9	3.493.279	5,05726
10	10.457.278	3,16628	10	3.519.201	5,40040

Berdasarkan Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa pada nilai $n = 1, m = 6$ merupakan kombinasi frekuensi produksi yang optimum. Sehingga dodol apel diproduksi hanya sekali dan produksi bersama diproduksi sebanyak satu kali juga. Semakin banyak frekuensi produksi dari n dan m , maka perusahaan akan mengalami kerugian demikian juga dengan nilai waktu siklus yang semakin besar. Perubahan nilai total biaya dari kasus I maupun kasus II hampir sama. Perubahan nilai total biaya hari ke-3 pada Tabel 4.2 bila digambarkan dalam grafik maka tampak seperti Gambar 4.3 dibawah ini,



Gambar (4.4) Grafik Total Biaya Hari ke-3

Total biaya produksi optimum untuk hari ke-3 sebesar *Rp* 3.435.338 dan waktu optimum 3,95518. Sedangkan nilai batas bawah untuk hari ke-3 sebesar *Rp* 6.048.316. Jika kedua biaya tersebut dibandingkan, maka model persediaan *ELSP* menghasilkan total biaya yang lebih kecil sebesar

$$Rp\ 6.048.316 - Rp\ 3.435.338 = Rp\ 2.612.978$$

atau

$$\frac{Rp\ 2.612.978}{Rp\ 6.048.316} \times 100\% = 43,20\%$$

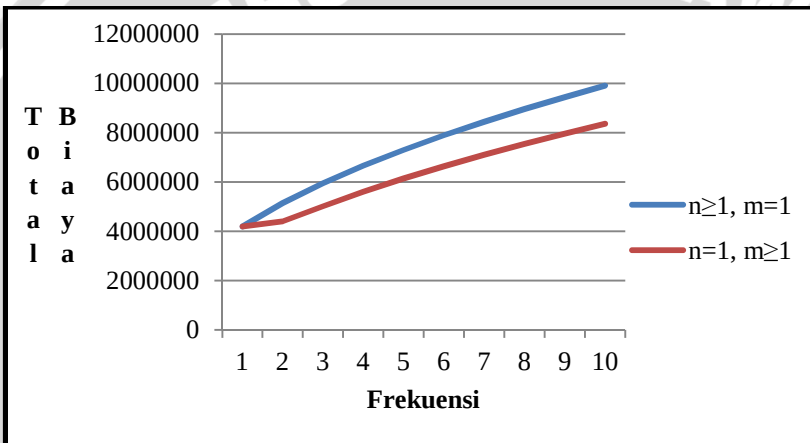
Proses *coproduction* atau produksi bersama dapat dilaksanakan untuk hari yang ke-3 dengan nilai $n = 1, m = 6$.

Tabel 4.4 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-4

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	4.203.714	2,05054	1	4.203.714	2,05054
2	5.144.111	2,57353	2	4.401.999	2,54958
3	5.948.875	3,00177	3	5.010.892	2,86886
4	6.659.616	3,37493	4	5.595.984	3,18713
5	7.302.432	3,71032	5	6.139.338	3,47600

n	$Ct(m=1)$	T	m	$Ct(n=1)$	T
6	7.893.502	4,01761	6	6.642.270	3,74802
7	8.443.526	4,30290	7	7.111.478	4,00456
8	8.959.984	4,57035	8	7.552.309	4,24825
9	9.448.341	4,82295	9	7.969.112	4,48080
10	9.912.724	5,06294	10	8.365.301	4,70362

Kombinasi frekuensi total biaya pada hari ke-4 jika ditampilkan dalam bentuk grafik akan tampak seperti gambar dibawah ini,



Gambar (4.5) Grafik Total Biaya Hari ke-4

Hari ke-4 mempunyai $n = 1, m = 1$ untuk kombinasi frekuensi produksi yang mempunyai total biaya yang optimum. Dengan begitu perusahaan dapat memproduksi dodol apel satu kali, begitu juga dengan produksi bersama. Total biaya optimum dengan $n = 1, m = 1$ adalah sebesar Rp 4.203.714 dengan waktu siklus produksi 2,05054. Nilai batas untuk hari ke-4 sendiri sebesar Rp 8.863.830. Jika kedua biaya diatas dibandingkan, didapat selisih sebesar

$$Rp\ 8.863.830 - Rp\ 4.203.714 = Rp\ 4.660.116$$

atau

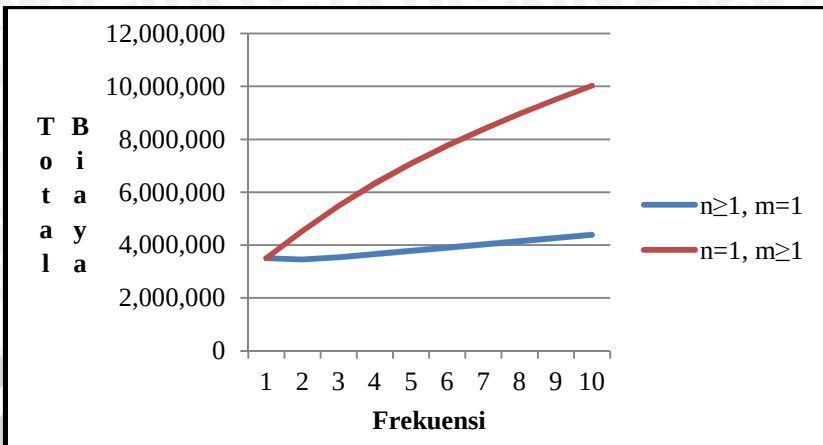
$$\frac{Rp\ 4.660.116}{Rp\ 8.863.830} \times 100\% = 52,57\%$$

Dengan selisih 52,57%, maka model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih kecil. Sehingga proses *coproducton* dapat dilaksanakan pada hari ke-4.

Tabel 4.5 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-5

<i>n</i>	<i>Ct (m = 1)</i>	<i>T</i>	<i>m</i>	<i>Ct(n = 1)</i>	<i>T</i>
1	3.506.784	1,07736	1	3.506.784	1,07736
2	3.461.659	1,21500	2	4.529.686	1,47661
3	3.546.148	1,30671	3	5.497.167	1,72366
4	3.659.765	1,38305	4	6.336.537	1,95959
5	3.781.964	1,45150	5	7.084.244	2,17132
6	3.906.143	1,51489	6	7.762.189	2,36787
7	4.029.709	1,57461	7	8.386.330	2,55167
8	4.151.547	1,63146	8	8.967.402	2,72572
9	4.271.173	1,68594	9	9.513.104	2,88954
10	4.388.400	1,73840	10	10.029.122	3,04647

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai $n = 2, m = 1$ adalah kombinasi frekuensi produksi yang optimum. Yang berarti bahwa dodol apel diproduksi dua kali, sedangkan produksi bersama hanya dilaksanakan sekali. Untuk kombinasi $n = 2, m = 1$ nilai *T* lebih optimal daripada $n = 2, m = 1$ namun besarnya nilai total biaya lebih besar. Untuk kombinasi frekuensi yang lain, semakin besar nilai kombinasinya maka total biaya juga akan membesar yang dapat menyebabkan perusahaan mengalami kerugian. Dapat dilihat dari grafik, perubahan total biaya yang sangat tajam terjadi bila nilai *m* semakin besar. Total biaya optimum untuk hari ke-5 sebesar *Rp* 3.461.659 dengan waktu optimum 1,21500. Nilai batas bawah untuk harike-5 sebesar *Rp* 3.443.126. Perubahan nilai total biaya pada hari ke-5 bila ditampilkan dalam bentuk grafik, akan tampak seperti berikut:



Gambar (4.6) Grafik Total Biaya Hari ke-5

Jika kedua biaya tersebut diatas dibandingkan, maka model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih besar,yaitu

$$Rp\ 3.443.126 - Rp\ 3.461.659 = -Rp\ 18.533$$

atau

$$\frac{-Rp\ 18.533}{Rp\ 3.443.126} \times 100\% = -0,53\%$$

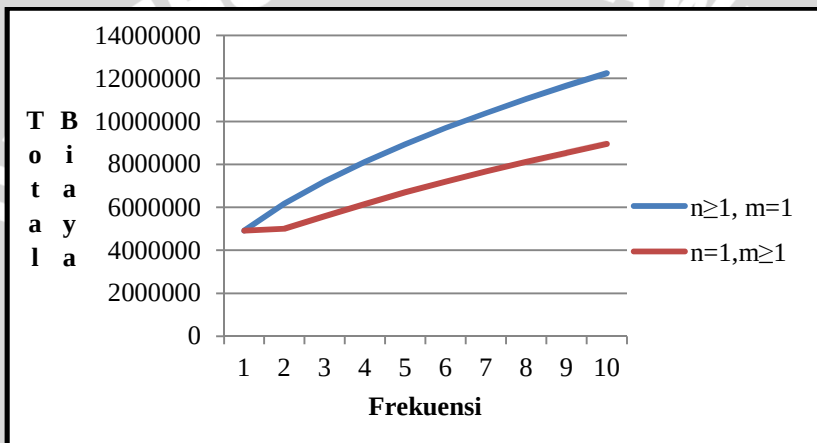
Dengan demikian proses *coproduction*/produksi bersama tidak dapat dilaksanakan pada hari ke-5, karena nilai batas bawah yang lebih kecil dari total biaya optimum model persediaan *ELSP*. Jika perusahaan memaksakan produksi bersama, perusahaan akan mengalami kerugian.

Tabel 4.6 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-6

<i>n</i>	<i>Ct (m = 1)</i>	<i>T</i>	<i>m</i>	<i>Ct(n = 1)</i>	<i>T</i>
1	4.920.540	1,74245	1	4.920.540	1,74245
2	6.163.853	2,23844	2	5.004.519	2.11513
3	7.206.345	2,63949	3	5.582.829	2.35653
4	8.118.434	2,98637	4	6.155.522	2,60222

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
5	8.938.806	3,29667	5	6.695.510	2,82515
6	9.690.375	3,58004	6	7.199.249	3,03641
7	10.387.924	3,84249	7	7.671.904	3,23616
8	11.041.619	4,08809	8	8.117.791	3,42643
9	11.658.801	4,31972	9	8.540.716	3,60838
10	12.244.967	4,53953	10	8.943.743	3,78304

Dari Tabel 4.6 diatas dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti dibawah ini,



Gambar (4.7) Grafik Total Biaya Hari ke-6

Berdasarkan Tabel 4.6 dan Gambar 4.7, kombinasi frekuensi produksi $n = 1, m = 1$ merupakan kombinasi yang menghasilkan total biaya produksi optimum. Pada hari ke-6 produksi dodol apel dilakukan sekali, begitu pula dengan produksi bersama. Nilai total biaya akan membesar seiring dinaikkannya frekuensi produksi, namun untuk $n \geq 1, m = 1$ lebih tajam perubahannya.

Nilai batas bawah untuk hari ke-6 sebesar Rp 8.719.913. Sedangkan total biaya optimum dari Tabel 4.6 sebesar Rp 4.920.540 dengan waktu siklus 1,74245. Dapat dilihat bahwa total biaya model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih kecil sebesar,

$$Rp\ 8.719.913 - Rp\ 4.920.540 = Rp\ 3.799.373$$

atau

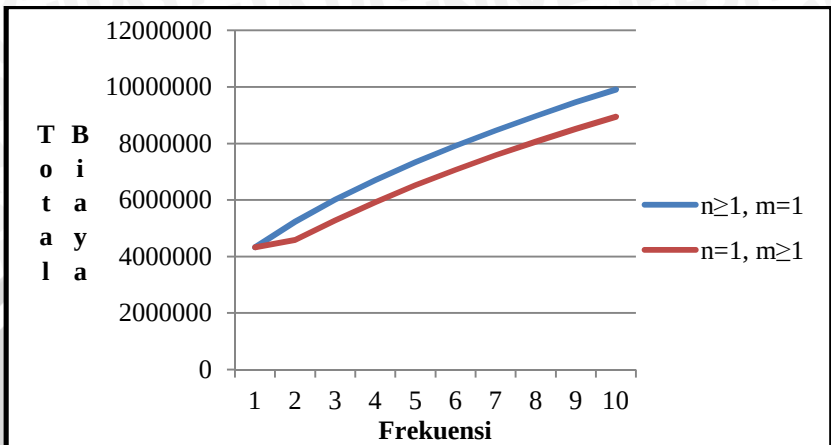
$$\frac{Rp\ 3.799.373}{Rp\ 8.719.913} \times 100\% = 43,57\%$$

Karena dengan menggunakan model persediaan *ELSP* lebih menguntungkan, maka proses *coproduction* dapat dilakukan apada hari ke-6.

Tabel 4.7 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-7

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	4.321.980	2,16800	1	4.321.980	2,16800
2	5.228.051	2,68840	2	4.589.547	2,72223
3	6.011.501	3,11738	3	5.271.371	3,07396
4	6.706.856	3,49272	4	5.918.761	3,74015
5	7.337.639	3,83096	5	6.516.659	3,74015
6	7.918.814	4,14143	6	7.068.345	4,03796
7	8.460.416	4,43007	7	7.581.906	4,31856
8	8.969.525	4,70095	8	8.063.634	4,58488
9	9.451.346	4,95700	9	8.518.537	4,83886
10	9.909.833	5,20042	10	8.950.512	5,08207

Dapat dilihat pada Tabel 4.7 total biaya produksi optimum untuk hari ke-7 sebesar *Rp* 4.321.980 dengan waktu siklus 2,16800. Nilai batas bawah untuk hari ke-7 sebesar *Rp* 8.895.034. Nilai $n = 1, m = 1$ merupakan kombinasi frekuensi produksi yang optimum. Sehingga dodol apel diproduksi sekali, begitupun dengan produksi bersama. Semakin banyak frekuensi produksi yang dilakukan maka besarnya total biaya naik yang diikuti dengan membesarnya nilai T . Total biaya untuk hari ke-7 pada Tabel 4.8 dapat digambarkan seperti berikut ini,



Gambar (4.8) Grafik Total Biaya Hari ke-7

Jika kedua biaya tersebut dibandingkan, maka model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih kecil, sebesar

$$Rp\ 8.895.034 - Rp\ 4.321.980 = Rp\ 4.573.054$$

atau

$$\frac{Rp\ 4.573.054}{Rp\ 8.895.034} \times 100\% = 51,41\%$$

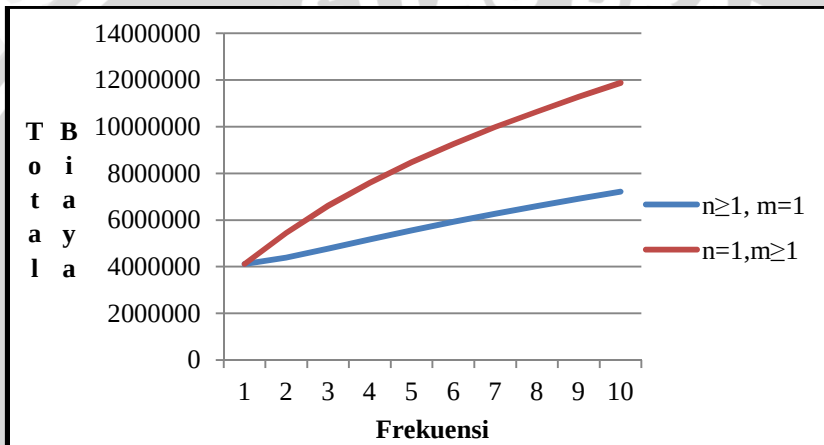
Dengan biaya produksi yang lebih kecil sebesar 51,41% dari nilai batas bawah, maka proses *coproduction*/produksi bersama dapat dilaksanakan pada hari ke-7 dengan nilai $n = 1, m = 1$.

Tabel 4.8 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-9

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	4.119.256	1,45381	1	4.119.256	1,45381
2	4.382.806	2,09194	2	5.447.889	1,54533
3	4.778.304	2,58428	3	6.615.505	1,68803
4	5.176.969	2,99952	4	7.603.307	1,83095
5	5.559.504	3,36511	5	8.472.087	1,96875
6	5.923.198	3,69534	6	9.256.620	2,10015
7	6.268.969	3,99877	7	9.977.702	2,22532

n	$Ct(m=1)$	T	m	$Ct(n=1)$	T
8	6.598.512	4,28098	8	10.648.788	2,34478
9	6.913.552	4,54585	9	11.279.146	2,45909
10	7.215.647	4,79623	10	11.875.480	2,56877

Total biaya optimum untuk hari ke-9 sebesar Rp 4.119.256 dengan waktu siklus 1,45381. Nilai batas terbawah untuk hari ke-9 sebesar Rp 5.967.749. Perubahan nilai total biaya pada Tabel 4.8 dapat digambarkan seperti berikut:



Gambar (4.9) Grafik Total Biaya Hari ke-9

Dari Tabel 4.8 diatas, dapat dilihat bahwa nilai $n = 1, m = 1$ merupakan kombinasi frekuensi produksi yang menghasilkan total biaya optimum. Yang berarti bahwa dodol apel diproduksi sekali, produksi bersama juga hanya dilaksanakan sekali. Nilai frekuensi dari n dan m yang semakin besar akan membuat nilai total biaya dan waktu siklus juga semakin membesar. Namun perubahan nilai total biaya dari kasus $n = 2, m \geq 1$ lebih besar.

Jika dibandingkan antara total biaya optimum model persediaan *ELSP* dengan nilai batas bawah, maka model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih optimum, sebesar

$$Rp\ 5.967.749 - Rp\ 4.119.256 = Rp\ 1.848.493$$

atau

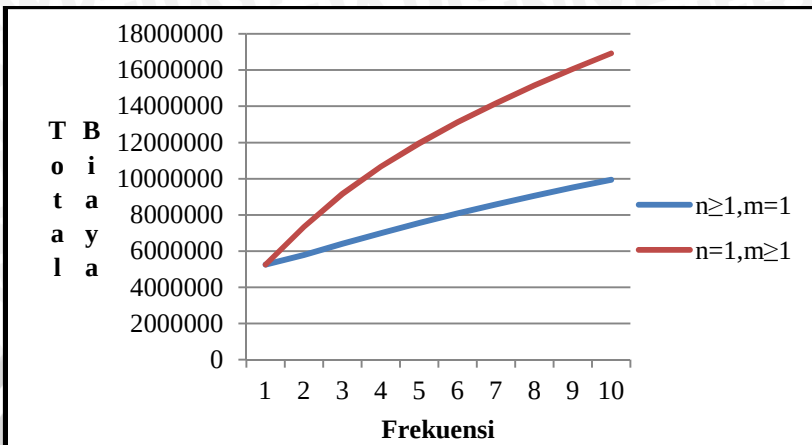
$$\frac{Rp\ 1.848.493}{Rp\ 5.967.749} \times 100\% = 30,97\%$$

Karena nilai total biaya model persediaan *ELSP* lebih menguntungkan, maka proses *coproduction*/produksi bersama dapat dilaksanakan pada hari ke-9 dengan nilai $n = 1, m = 1$.

Tabel 4.9 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-10

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	5.263.501	1,76464	1	5.263.501	1,76464
2	5.781.389	2,55986	2	7.346.085	1,69320
3	6.400.636	3,17326	3	9.172.683	1,77368
4	6.997.695	3,69011	4	10.669.404	1,87788
5	7.559.742	4.14480	5	11.962.283	1,98847
6	8.088.439	4,55526	6	13.117.516	2,09879
7	8.587.671	4,93223	7	14.172.262	2,20663
8	9.061.231	5,28269	8	15.149.504	2,31126
9	9.512.383	5,61153	9	16.064.566	2,41251
10	9.943.850	5,92230	10	16.928.260	2,51048

Dapat diketahui dari Tabel 4.9, kombinasi frekuensi produksi yang optimum saat nilai $n = 1, m = 1$ dengan nilai total biaya produksi sebesar *Rp* 5.263.501 dan waktu siklus 1,76464. Nilai total biaya produksi akan semakin membesar jika kombinasi frekuensi produksi dinaikkan. Untuk kasus $n=1, m \geq 1$ mengalami kenaikan total biaya produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kasus $n \geq 1, m = 1$. Perubahan nilai total biaya produksi pada hari ke-10, lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar (4.10) Grafik Total Biaya Hari ke-10

Untuk hari ke-10 mempunyai nilai batas sebesar *Rp* 9.614.400. Jika total biaya produksi optimum pada Tabel 4.10 dibandingkan dengan nilai batas bawah, maka total biaya produksi dengan model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih kecil, sebesar

$$Rp\ 9.614.400 - Rp\ 5.263.501 = Rp\ 4.350.899$$

atau

$$\frac{Rp\ 4.350.899}{Rp\ 9.614.400} \times 100\% = 45,25\%$$

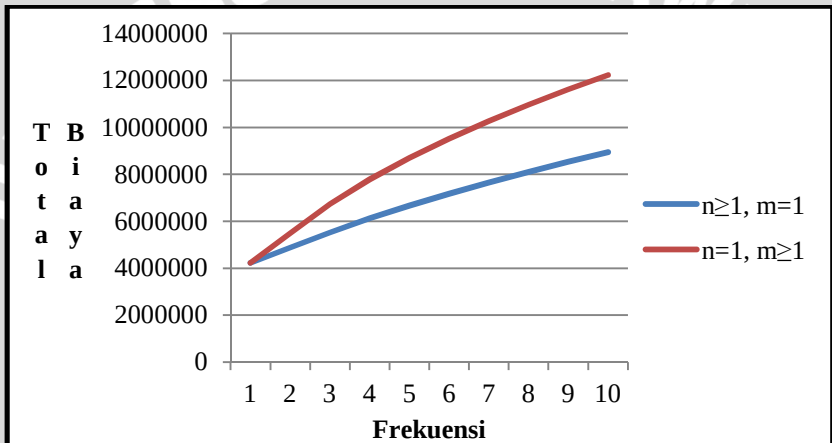
Dengan selisih biaya produksi sebesar 45,25%, antara nilai batas bawah dengan total biaya optimum model persediaan *ELSP* maka proses *coproduction* dapat dilaksanakan pada hari ke-10.

Tabel 4.10 Total Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-11

<i>n</i>	<i>Ct</i> (<i>m</i> = 1)	<i>T</i>	<i>m</i>	<i>Ct</i> (<i>n</i> = 1)	<i>T</i>
1	4.224.785	1,94357	1	4.224.785	1,94357
2	4.877.438	2,69848	2	5.496.375	1,92348
3	5.525.047	3,27822	3	6.742.607	2,05213
4	6.120.615	3,76808	4	7.788.324	2,18826

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
5	6.669.133	4,20048	5	8.699.574	2,32702
6	7.178.617	4,59200	6	9.517.589	2,46289
7	7.655.749	4,95247	7	10.266.533	2,59450
8	8.105.718	5,28830	8	10.961.731	2,72155
9	8.532.545	5,60397	9	11.613.553	2,84412
10	8.939.385	5,90273	10	12.229.392	2,96247

Jika perubahan nilai total biaya pada hari ke-11 digambarkan dalam grafik, akan nampak seperti gambar dibawah ini,



Gambar (4.11) Grafik Total Biaya Hari ke-11

Dari Tabel 4.10 dan Gambar 4.11, terlihat bahwa nilai saat $n = 1, m = 1$ merupakan kombinasi frekuensi produksi yang menghasilkan total biaya optimum. Sehingga produksi dodol apel pada hari ke-11 hanya sekali, sedangkan untuk produksi bersama atau *coproduction* dilakukan sebanyak sepuluh kali. Perubahan nilai n yang semakin besar membuat total biaya semakin bertambah. Hal ini dapat merugikan perusahaan bila memproduksi dodol apel lebih dari satu kali.

Perubahan nilai m sendiri yang semakin besar membuat total biaya yang semakin rendah, namun dengan waktu siklus (T) yang semakin membesar. Total biaya optimum untuk hari ke-11 sebesar

$Rp\ 4.224.785$ dengan waktu siklus $1,94357$. Nilai batas bawah untuk hari ke-11 sebesar $Rp\ 7.799.411$. Jika kedua biaya tersebut dibandingkan, maka model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya yang lebih optimum, sebesar

$$Rp\ 7.799.411 - Rp\ 4.224.785 = Rp\ 3.574.626$$

atau

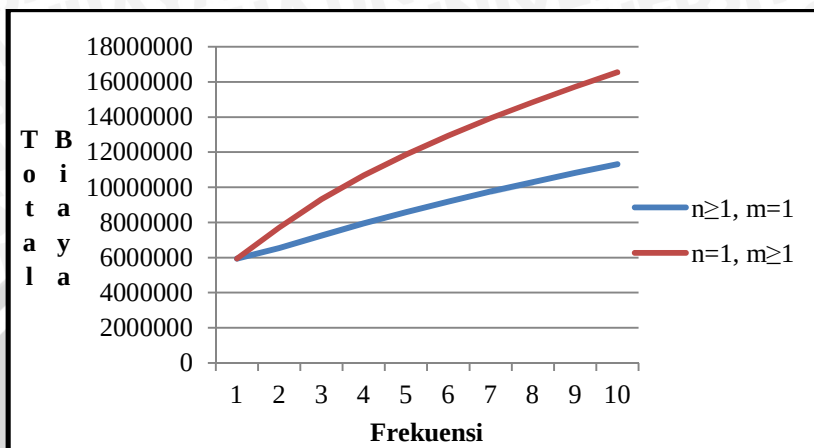
$$\frac{Rp\ 3.574.626}{Rp\ 7.799.411} \times 100\% = 45,83\%$$

Dengan demikian, proses *coproduction*/produksi bersama dapat dilaksanakan pada hari ke-11 dengan nilai $n = 1, m = 1$.

Tabel 4.11 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-12

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	5.937.231	1,47558	1	5.937.231	1,47558
2	6.541.740	2,10728	2	7.715.659	1,50691
3	7.254.514	2,59283	3	9.315.186	1,64084
4	7.939.401	3,00200	4	10.671.224	1,77149
5	8.583.075	3,36226	5	11.863.565	1,89939
6	9.187.969	3,68775	6	12.940.439	2,02207
7	9.758.780	3,98691	7	13.930.476	2,13946
8	10.299.986	4,26523	8	14.852.161	2,25184
9	10.815.400	4,52653	9	15.718.195	2,35965
10	11.308.189	4,77458	10	16.537.747	2,46331

Dilihat dari Tabel 4.11, nilai $n = 1, m = 1$ merupakan kombinasi frekuensi produksi yang optimum dengan nilai total biaya produksi sebesar $Rp\ 5.937.231$ dan waktu siklus $1,47558$. Nilai total biaya ini akan membesar bila perusahaan menaikkan besarnya frekuensi produksi pada hari ke-12. Nilai batas bawah untuk hari ke-12 sebesar $Rp\ 8.957.988$. Nilai total biaya pada hari ke-12 dapat digambarkan pada Gambar 4.12,



Gambar (4.12) Grafik Total Biaya Hari ke-12

Jika biaya optimum model persediaan *ELSP* dibandingkan dengan nilai batas bawah, maka model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih kecil sebesar,

$$Rp\ 8.957.988 - Rp\ 5.937.231 = Rp\ 3.020.757$$

atau

$$\frac{Rp\ 3.020.757}{Rp\ 8.957.988} \times 100\% = 33,72\%$$

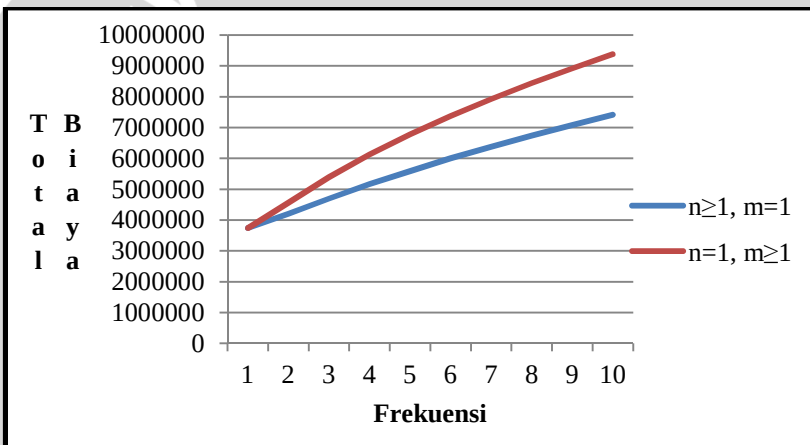
Dengan selisih 33,72%, maka proses coproduction dapat dilaksanakan pada hari ke-12 dengan $n = 1, m = 1$.

Tabel 4.12 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-14

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	3.737.632	1,60017	1	3.737.632	1,60017
2	4.194.583	2,19274	2	4.561.238	1,77410
3	4.690.236	2,64687	3	5.395.594	1,97834
4	5.157.217	3,03095	4	6.126.955	2,16856
5	5.592.261	3,37038	5	6.780.194	2,34793
6	5.999.070	3,67805	6	7.375.193	2,51694
7	6.381.735	3,96157	7	7.925.041	2,67690

n	$Ct(m=1)$	T	m	$Ct(n=1)$	T
8	6.743.751	4,22591	8	8.438.662	2,82894
9	7.087.953	4,47453	9	8.922.406	2,97404
10	7.416.635	4,70997	10	9.380.968	3,11303

Pada Tabel 4.12 diatas, terlihat bahwa nilai total biaya produksi optimum sebesar Rp 3.737.632 dengan waktu siklus 1,60017 terjadi saat kombinasi frekuensi produksi bernilai $n = 1, m = 1$. Sehingga proses produksi dodol apel dan produksi bersama dilaksanakan satu kali. Biaya produksi akan membengkak seiring dinaikkannya nilai frekuensi produksi. Besarnya kenaikan tiap kasus dapat dilihat pada Gambar 4.13,



Gambar (4.13) Grafik Total Biaya Hari ke-14

Nilai total biaya optimum bila dibandingkan dengan nilai batas bawah sebesar Rp 5.434.870 akan menghasilkan selisih,

$$Rp\ 5.434.870 - Rp\ 3.737.632 = Rp\ 1.697.238$$

Atau

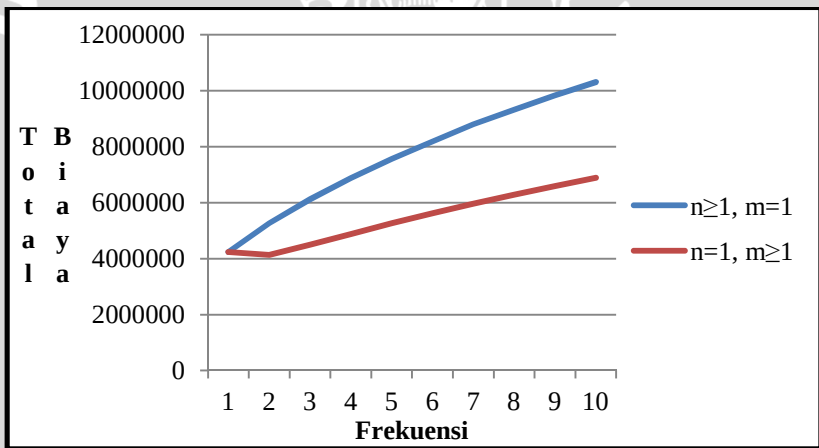
$$\frac{Rp\ 1.697.238}{Rp\ 5.434.870} \times 100\% = 31,12\%$$

Dengan perbedaan selisih 31,12%, maka proses *coproduction* pada hari ke-14 dapat dilaksanakan.

Tabel 4.13 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-16

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	4.241.509	1,89840	1	4.241.509	1,89840
2	5.266.498	2,38489	2	4.133.590	2,49178
3	6.127.233	2,78559	3	4.494.974	2,83565
4	6.882.247	3,13501	4	4.881.937	3,18948
5	7.562.658	3,44904	5	5.261.928	3,50301
6	8.186.900	3,73665	6	5.621.950	3,79959
7	8.799.905	4,00367	7	5.963.431	4,07847
8	9.310.909	4,25391	8	6.287.676	4,34353
9	9.824.874	4,49021	9	6.596.660	4,59654
10	10.313.282	4,71466	10	6.892.097	4,83912

. Perubahan nilai total biaya produksi hari ke-16 pada Tabel 4.13 diatas dapat digambarkan seperti Gambar 4.14,



Gambar (4.14) Grafik Total Biaya Hari ke-16

Pada Tabel 4.13, diketahui bahwa nilai $n = 1, m = 2$ mempunyai nilai total biaya yang optimum. Kombinasi frekuensi $n = 1, m = 2$ menghasilkan total biaya produksi optimum sebesar Rp 4.133.590 dengan waktu siklus 2,49178. Pada kombinasi $n=1, m=1$ menghasilkan waktu siklus yang lebih kecil, namun menghasilkan total biaya yang lebih besar dari $n = 1, m = 2$. Jika perusahaan

memutuskan untuk memilih kombinasi $n = 1, m = 1$, maka perusahaan tidak mendapatkan keuntungan yang maksimal. Kombinasi frekuensi produksi n dan m yang lain menghasilkan total biaya yang semakin membesar.

Hari ke-16 menghasilkan nilai batas bawah sebesar Rp 8.233.594 yang jika dibandingkan dengan nilai total biaya optimum, akan menghasilkan selisih sebesar,

$$Rp\ 8.233.594 - Rp\ 4.133.590 = Rp\ 4.100.004$$

atau

$$\frac{Rp\ 4.100.004}{Rp\ 8.233.594} \times 100\% = 49,80\%$$

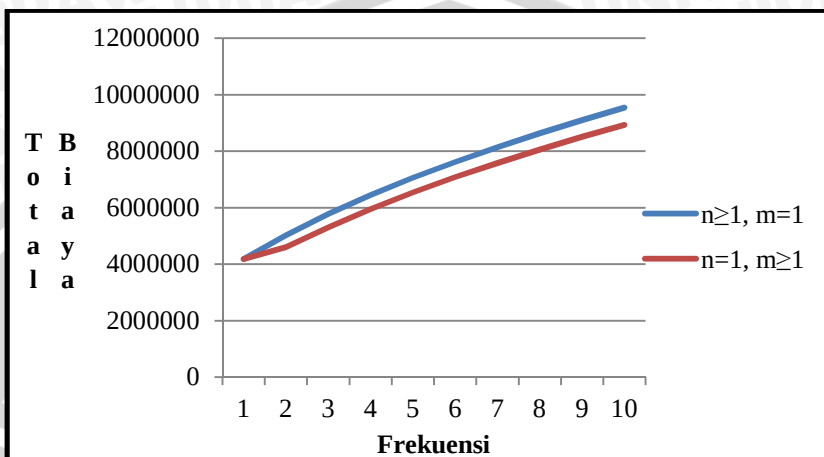
Berdasarkan perhitungan diatas model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih dari kecil dari nilai bats bawah sebesar 49,80%. Dengan demikian proses *coproduction* dapat dilaksanakan pada hari ke-16.

Tabel 4.14 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-17

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	4.186.855	1,61540	1	4.186.855	1,61540
2	5.026.930	2,08222	2	4.608.267	1,94922
3	5.776.904	2,45303	3	5.302.192	2,18401
4	6.447.154	2,77250	4	5.947.065	2,41111
5	7.056.571	3,05792	5	6.537.177	2,62026
6	7.618.577	3,31850	6	7.080.745	2,81683
7	8.142.518	3,55983	7	7.586.407	3,00245
8	8.635.100	3,78568	8	8.060.759	3,17876
9	9.101.297	3,99872	9	8.508.827	3,34699
10	9.544.909	4,20090	10	8.934.473	3,50815

Berdasarkan Tabel 4.14, diketahui bahwa nilai $n = 1, m = 1$ mempunyai kombinasi frekuensi produksi yang menghasilkan total biaya produksi optimum. Karena $n = 1, m = 1$ maka produksi dodol apel dilakukan hanya satu kali, demikian juga untuk produksi

bersama. Dari Tabel 4.14 diatas jika digambarkan dalam grafik akan tampak seperti Gambar 4.15,



Gambar (4.15) Grafik Total Biaya Hari ke-17

Perubahan nilai n dan m yang semakin besar berbanding lurus dengan perubahan besarnya total biaya produksi dan waktu siklus. Total biaya optimum untuk hari ke-17 sebesar Rp 4.186.855 dengan waktu siklus 1,61540. Proses produksi untuk hari ke-17 mempunyai nilai batas bawah sebesar Rp 6.829.133. Bila total biaya dari model persediaan *ELSP* dibandingkan dengan besarnya nilai batas bawah, maka model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih optimum, sebesar

$$Rp\ 6.829.133 - Rp\ 4.186.855 = Rp\ 2.642.278$$

atau

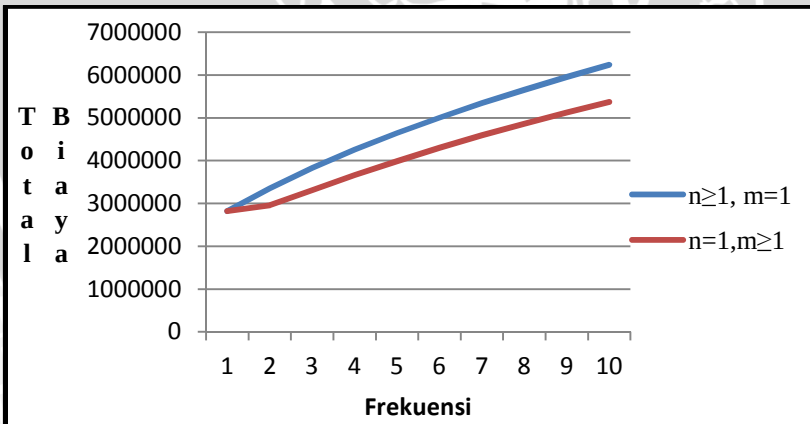
$$\frac{Rp\ 2.642.278}{Rp\ 6.829.133} \times 100\% = 38,69\%$$

Dengan demikian untuk hari ke-17 dapat dilakukan proses *coproduction* dengan $n = 1, m = 1$.

Tabel 4.15 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-18

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	2.825.463	1,70600	1	2.825.463	1,70600
2	3.356.459	2,13073	2	2.956.902	2,32703
3	3.831.797	2,47485	3	3.310.031	2,70521
4	4.258.295	2,77449	4	3.661.353	3,04998
5	4.647.248	3,04396	5	3.992.069	3,35994
6	5.006.743	3,29106	6	4.301.393	3,64646
7	5.342.458	3,52065	7	4.591.839	3,91422
8	5.658.502	3,73604	8	4.865.998	4,16667
9	5.957.939	3,93959	9	5.126.104	4,40623
10	6.243.119	4,13307	10	5.373.997	4,63474

Nilai kombinasi frekuensi produksi $n = 1, m = 1$ menjadi kombinasi frekuensi produksi yang optimum pada hari ke-18. Nilai total biaya pada hari ke-18 sebesar Rp 2.825.463, yang menjadi biaya paling minimal diantara kombinasi frekuensi produksi yang lain. Waktu siklus untuk $n = 1, m = 1$ adalah 1,70600. Dengan nilai $n = 1, m = 1$ maka perusahaan memproduksi dodol apel satu kali dan produksi bersama juga dilakukan satu kali. Perubahan nilai total biaya produksi yang terjadi pada hari ke-18 dapat ditampilkan dalam Gambar 4.16,

**Gambar (4.16)** Grafik Total Biaya Hari ke-18

Perubahan nilai total biaya produksi berbanding lurus dengan berubahnya nilai frekuensi produksi. Jika nilai frekuensi produksi dinaikkan, maka nilai total biaya produksi akan membesar. Nilai batas bawah untuk hari ke-18 sebesar Rp 4.648.328. Nilai batas bawah jika dibandingkan dengan nilai total biaya optimum, maka nilai total biaya produksi model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih kecil sebesar,

$$Rp\ 4.648.328 - Rp\ 2.825.463 = Rp\ 1.822.865$$

atau

$$\frac{Rp\ 1.822.865}{Rp\ 4.648.328} \times 100\% = 39,22\%$$

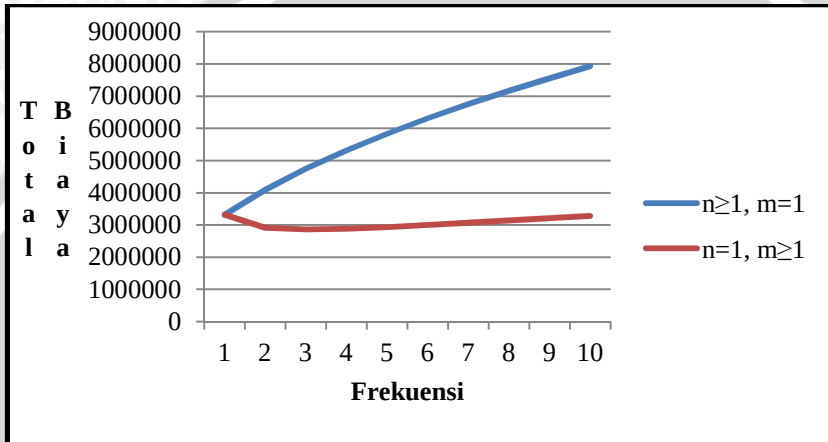
Dengan demikian, maka proses *coproduction* dapat dilaksanakan pada hari ke-18.

Tabel 4.16 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-19

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	3.323.742	1,75088	1	3.323.742	1,75088
2	4.098.906	2,15956	2	2.911.473	2,67206
3	4.749.248	2,50233	3	2.861.858	3,17888
4	5.320.697	2,80350	4	2.879.969	3,72335
5	5.836.466	3,07530	5	2.936.482	4,18982
6	6.310.220	3,32496	6	3.000.122	4,64394
7	6.750.810	3,55715	7	3.069.983	5,06845
8	7.164.357	3,77507	8	3.140.290	5,47730
9	7.555.302	3,98109	9	3.210.704	5,86908
10	7.926.990	4,17696	10	3.279.993	6,24779

Keadaan pada Tabel 4.16 menunjukkan bahwa kombinasi frekuensi produksi optimum terjadi saat $n = 1, m = 3$. Sehingga produksi dodol apel sebanyak satu kali, sedangkan produksi bersama dilakukan sebanyak tiga kali. Untuk kasus $n = 1, m \geq 1$, nilai waktu siklus yang paling minimum terjadi saat nilai $n = 1, m = 1$, namun dengan biaya produksi yang tidak optimal. Nilai biaya produksi menurun saat nilai $n = 1, m = 2$ dan optimal saat nilai

$n = 1, m = 3$. Setelah itu nilai biaya produksi terus naik seiring dinaikannya nilai frekuensi produksi. Sedangkan untuk kasus $n \geq 1, m = 1$, nilai biaya produksi terus menurun jika nilai frekuensi produksi dinaikkan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar (4.17) Grafik Total Biaya Hari ke-19

Total biaya optimum pada hari ke-19 adalah sebesar Rp 2.861.858 dengan waktu siklus 3,17888. Nilai batas untuk hari ke-19 sebesar Rp 5.856.738. Bila kedua biaya tersebut dibandingkan, maka model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih optimum, sebesar

$$Rp 5.856.738 - Rp 2.861.858 = Rp 2.994.880$$

atau

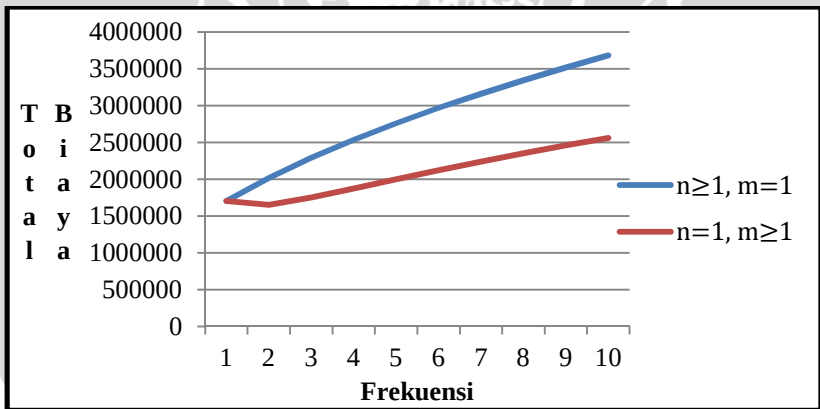
$$\frac{Rp 2.994.880}{Rp 5.856.738} \times 100\% = 51,14\%$$

Karena perusahaan dapat menghemat biaya produksi sebesar 51,14%, dengan demikian proses *coproduction* dapat dilaksanakan pada hari ke-19 dengan produksi dodol apel dilakukan sekali dan produksi bersama juga dilakukan sekali.

Tabel 4.17 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-20

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	1.701.596	1,91630	1	1.701.596	1,91630
2	2.015.551	2,29867	2	1.651.802	3,00948
3	2.289.862	2,62260	3	1.751.908	3,73569
4	2.535.348	2,90993	4	1.874.690	4,35802
5	2.759.332	3,17106	5	1.999.353	4,91096
6	2.966.570	3,41212	6	2.120.747	5,41607
7	3.160.310	3,63718	7	2.237.607	5,88467
8	3.342.878	3,84906	8	2.349.805	6,32411
9	3.516.002	4,04983	9	2.457.571	6,73948
10	3.681.009	4,24110	10	2.561.243	7,13448

Terlihat pada Tabel 4.17, yang menunjukkan bahwa biaya produksi akan optimum ketika kombinasi frekuensi produksi bernilai $n = 1, m = 2$. Saat bernilai $n = 1, m = 1$ besarnya waktu siklus lebih kecil daripada saat $n = 1, m = 2$, namun menghasilkan nilai total biaya yang lebih besar. Kombinasi frekuensi yang lain menghasilkan nilai total biaya yang lebih besar. Jika Tabel 4.17 diatas ditampilkan dalam bentuk grafik, akan tampak seperti Gambar 4.18,



Gambar (4.18) Grafik Total Biaya Hari ke-20

Dengan nilai batas bawah sebesar $Rp\ 3.365.747$ membuat proses coproduction dapat dilaksanakan pada hari ke-20. Hal ini dikarenakan nilai total biaya optimum model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih kecil sebesar,

$$Rp\ 3.365.747 - Rp\ 1.651.802 = Rp\ 1.713.945$$

atau

$$\frac{Rp\ 1.713.945}{Rp\ 3.365.747} \times 100\% = 50,92\%$$

Karena nilai model persediaan *ELSP* dapat menghemat biaya produksi 50,92% dari nilai batas bawah, maka proses coproduction dapat dilakukan pada hari ke-20 dengan nilai $n = 1, m = 2$.

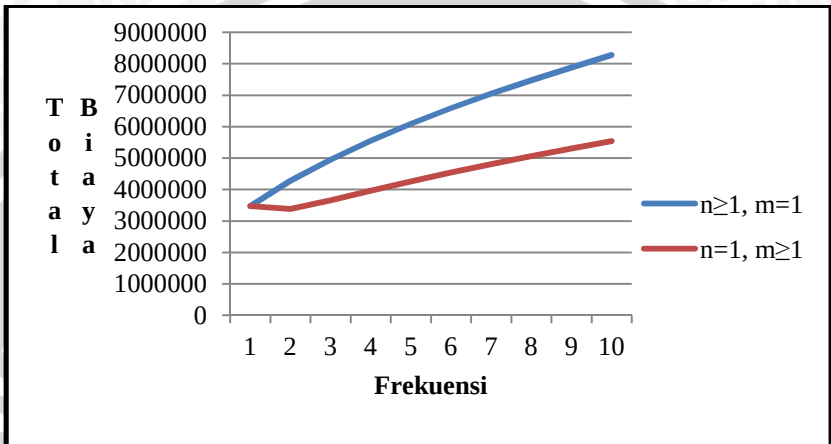
Tabel 4.18 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-21

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	3.476.964	1,86862	1	3.476.964	1,86862
2	4.277.245	2,32972	2	3.383.158	2,53975
3	4.954.834	2,71098	3	3.657.472	2,92426
4	5.551.435	3,04428	4	3.958.439	3,31020
5	6.090.279	3,34431	5	4.256.179	3,65249
6	6.585.367	3,61945	6	4.539.775	3,97428
7	7.045.853	3,87506	7	4.809.519	4,27643
8	7.478.097	4,11478	8	5.066.181	4,56307
9	7.886.724	4,34127	9	5.311.115	4,83633
10	8.275.223	4,55650	10	5.545.567	5,09807

Dapat dilihat pada Tabel 4.18 bahwa untuk kasus $n = 1, m \geq 1$, nilai siklus minimum terjadi saat nilai $n = 1, m = 1$ namun dengan nilai biaya produksi yang tidak optimal. Nilai biaya produksi turun saat $n = 1, m = 1$ yang menjadi biaya produksi optimal pada hari ke-21. Nilai biaya produksi terus naik untuk kombinasi frekuensi yang lain.

Total biaya untuk hari ke-21 adalah sebesar $Rp\ 3.383.158$ dengan waktu siklus 2,43975. Sedangkan perubahan untuk kasus $n \geq 1, m = 1$, nilai biaya produksi terus menanjak naik jika

frekuensi produksi ditinggikan. Perubahan total biaya pada hari ke-21 dengan kombinasi frekuensi dari nilai n dan m dapat digambarkan pada Gambar 4.19.



Gambar (4.19) Grafik Total Biaya Hari ke-21

Nilai batas bawah pada hari ke-21 sebesar $Rp\ 6.394.360$. Bila nilai total biaya optimum model persediaan *ELSP* dibandingkan dengan nilai batas bawah, maka nilai total biaya optimum model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih kecil, sebesar,

$$Rp\ 6.394.360 - Rp\ 3.383.158 = Rp\ 3.011.202$$

atau

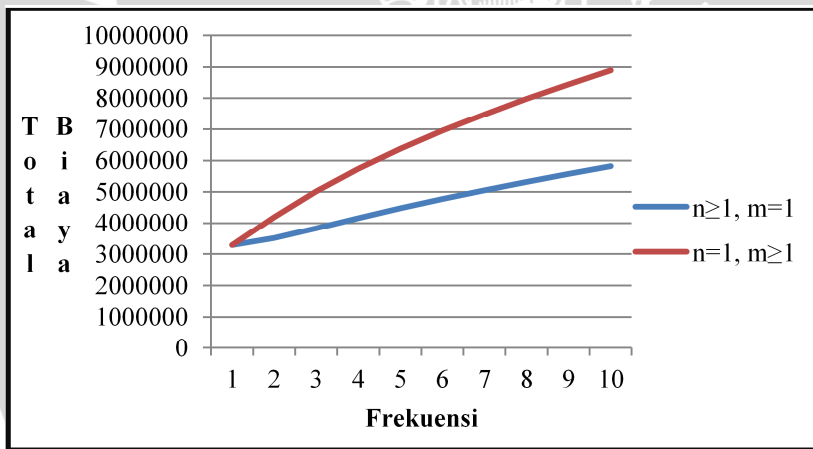
$$\frac{Rp\ 3.011.202}{Rp\ 6.394.360} \times 100\% = 47,09\%$$

Karena total biaya produksi dengan model persediaan *ELSP* lebih kecil sebesar 47,09%, maka proses *coproduction*/produksi bersama dapat dilakukan pada hari ke-21.

Tabel 4.19 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-23

n		T	m		T
1	3.286.254	1,55868	1	3.286.254	1,55869
2	3.512.595	2,18920	2	4.195.225	1,78651
3	3.838.657	2,67211	3	5.025.844	1,98822
4	4.164.946	3,07924	4	5.741.594	2,17873
5	4.477.061	3,43806	5	6.376.946	2,35719
6	4.773.288	3,76259	6	6.953.703	2,52486
7	5.054.602	4,06115	7	7.485.554	2,68314
8	5.322.504	4,33913	8	7.981.619	2,83327
9	5.578.469	4,60029	9	8.448.303	2,97631
10	5.823.807	4,84736	10	8.890.304	3,11313

Dari Tabel 4.19 diatas dapat digambarkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.20,



Gambar (4.20) Grafik Total Biaya Bari ke-23

Tabel 4.19 menunjukkan bahwa merupakan kombinasi frekuensi produksi yang mempunyai total biaya optimum. Dari grafik pada Gambar 4.20 dapat diketahi bahwa jika nilai n dan m dinaikkan akan membuat total biaya yang lebih besar. Perusahaan akan mengalami kerugian bila menaikkan frekuensi produksi. Namun perubahan nilai total biaya untuk kasus lebih

menanjak dari kasus $n \geq 1, m = 1$. Total biaya optimum pada hari ke-23 sebesar Rp 3.286.254 dengan waktu siklus 1,55868. Nilai batas untuk hari ke-23 adalah Rp 4.414.487. Jika kedua biaya tersebut dibandingkan, maka total biaya optimum model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih kecil, sebesar

$$Rp\ 4.414.487 - Rp\ 3.286.254 = Rp\ 1.128.233$$

atau

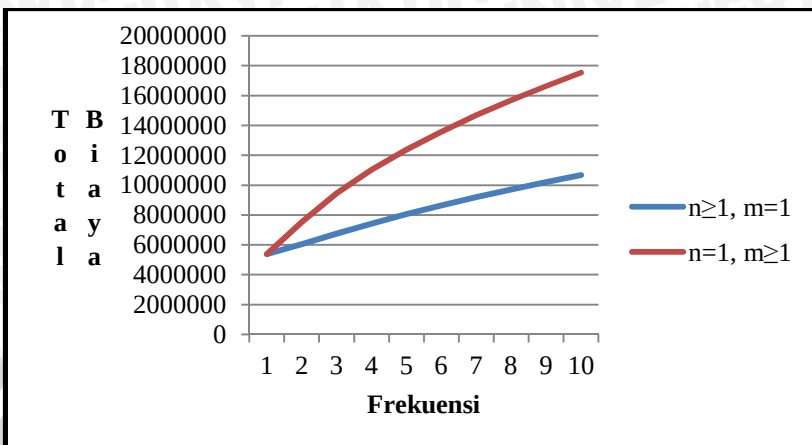
$$\frac{Rp\ 1.128.233}{Rp\ 4.414.487} \times 100\% = 25,56\%$$

Dari perhitungan diatas, maka proses *coproduction*/produksi bersama dapat dilakukan pada hari ke-23 dengan penghematan biaya sebesar 25,56% dari nilai batas bawah.

Tabel 4.20 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-24

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	5.383.811	1,94268	1	5.383.811	1,94268
2	6.039.501	2,78115	2	7.529.297	1,82453
3	6.753.780	3,42541	3	9.452.986	1,90053
4	7.427.212	3,96813	4	11.022.691	2,00372
5	8.054.700	4,44584	5	12.374.047	2,11599
6	8.641.487	4,87735	6	13.578.964	2,22917
7	9.193.448	5,27390	7	14.677.544	2,34044
8	9.715.611	5,64278	8	15.694.437	2,44881
9	10.212.067	5,98906	9	16.645.988	2,55394
10	10.686.125	6,31645	10	17.543.683	2,65586

Berdasarkan Tabel 4.20 diatas dapat dilihat perubahan nilai total biaya dan waktu siklus pada hari ke-24. Nilai total biaya produksi optimum terjadi saat nilai $n = 1, m = 1$. Nilai total biaya akan terus-menerus mengalami kenaikan jika nilai n atau m ditinggikan. Namun perubahan lebih drastis terjadi pada kasus $n = 1, m \geq 1$ dimana nilai pada $n=1, m=10$ hampir dua kali lipat dari $n = 10, m = 1$. Hal ini dapat juga dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar (4.21) Grafik Total Biaya Hari ke-24

Hari ke-24 menghasilkan nilai batas bawah sebesar Rp 10.716.728 yang nilainya hampir sama saat $n = 10, m = 1$. Namun jika perusahaan memilih kombinasi $n = 10, m = 1$ keuntungan perusahaan tidak akan optimum. Jika nilai batas bawah dibandingkan dengan nilai total biaya produksi optimum model persediaan *ELSP* pada hari ke-24, maka akan terdapat selisih sebesar,

$$Rp\ 10.716.728 - Rp\ 5.383.811 = Rp\ 5.332.917$$

atau

$$\frac{Rp\ 5.332.917}{Rp\ 10.716.728} \times 100\% = 49,76\%$$

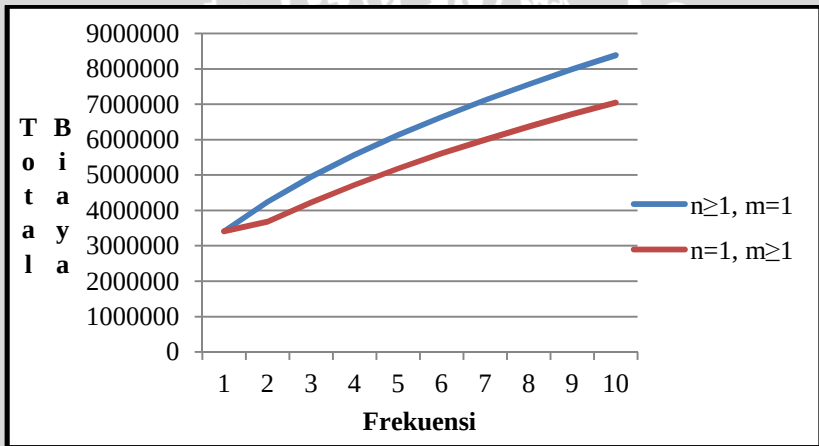
Karena terdapat selisih biaya produksi sebesar 49,76%, maka proses *coproduction* dapat dilaksanakan pada hari ke-24 dengan $n = 1, m = 1$.

Tabel 4.21 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-26

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	3.408.616	2,00049	1	3.408.616	2,00049
2	4.242.369	2,59864	2	3.684.058	2,20827

n	$Ct(m=1)$	T	m	$Ct(n=1)$	T
3	4.949.852	3,07683	3	4.222.002	2,45448
4	5.570.948	3,48869	4	4.726.636	2,67847
5	6.130.442	3,85629	5	5.186.135	2,89302
6	6.643.447	4,19153	6	5.608.935	3,09592
7	7.119.832	4,50175	7	6.001.854	3,28909
8	7.566.430	4,79184	8	6.370.274	3,47354
9	7.988.190	5,06530	9	6.718.198	3,65029
10	8.388.834	5,32470	10	7.048.686	3,82017

Terlihat pada Tabel 4.21, kombinasi frekuensi produksi $n=1, m=1$ mempunyai nilai total biaya yang optimum sebesar Rp 3.408.616 dengan waktu siklus 2,00049. Nilai total biaya tersebut lebih optimum dibandingkan dengan kombinasi frekuensi produksi yang lainnya. Dimana jika nilai n atau m dinaikkan akan membuat nilai total biaya akan merangkak naik. Hal ini dapat digambarkan pada Gambar 4.22.



Gambar (4.22) Grafik Total Biaya Hari ke-26

Nilai batas bawah untuk hari ke-26 sebesar Rp 6.077.926. Jika biaya produksi optimum dibandingkan dengan nilai batas bawah, maka biaya optimum dengan model perediaan *ELSP* akan menghasilkan biaya produksi yang lebih kecil sebesar,

$$Rp\ 6.077.926 - Rp\ 3.408.616 = Rp\ 2.669.310$$

atau

$$\frac{Rp\ 2.669.310}{Rp\ 6.077.926} \times 100\% = 43,92\%$$

Dengan biaya produksi yang lebih kecil dari nilai batas bawah sebesar 43,92%, maka proses coproduction dapat dilakukan pada hari ke-26 dengan $n = 1, m = 1$.

Tabel 4.22 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-27

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	1.014.725	3,19897	1	1.014.725	3,19897
2	1.233.358	4,05563	2	1.119.136	3,69687
3	1.423.266	4,74828	3	1.308.516	4,13990
4	1.591.682	5,34904	4	1.483.109	4,55797
5	1.744.281	5,88777	5	1.641.350	4,94849
6	1.884.736	6,38068	6	1.786.229	5,31616
7	2.015.520	6,83787	7	1.920.404	5,66402
8	2.138.373	7,26619	8	2.045.856	5,99477
9	2.254.576	7,67053	9	2.164.056	6,31060
10	2.365.100	8,05452	10	2.276.115	6,61330

Dapat diketahui pada Tabel 4.22, bahwa nilai total biaya optimum terjadi saat kombinasi frekuensi produksi bernilai $n = 1, m = 1$. Hal ini menandakan bahwa produksi dodol apel dilaksanakan sekali, begitu pula produksi bersama. Semakin tinggi nilai frekuensi maka nilai total biaya produksi akan semakin naik. Jika kedua kasus ini dibandingkan, dapat diketahui bahwa kasus $n = 1, m \geq 1$ akan menghasilkan total biaya yang lebih besar. Namun perbedaan nilai total biaya pada tiap kombinasi hampir menghasilkan biaya produksi yang sama. Perubahan ini akan lebih jelas dilihat pada grafik Gambar 4.23.

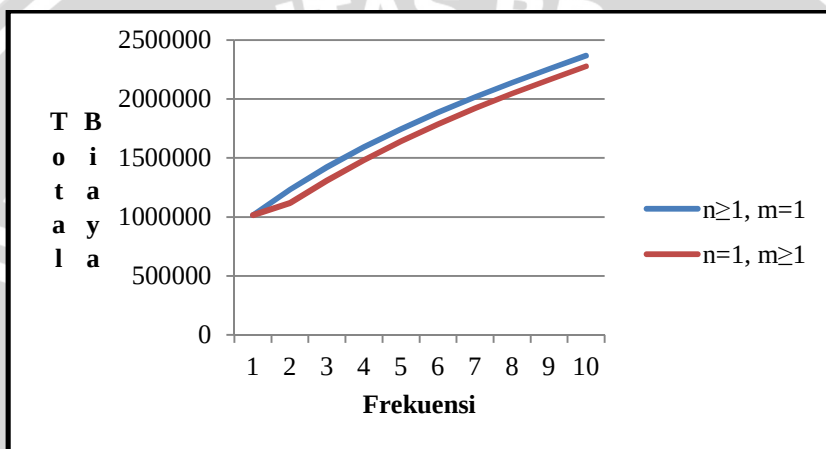
Total biaya produksi untuk hari ke-27 sebesar $Rp\ 1.014.725$ dengan waktu siklus 3,19897. Nilai batas bawahnya sebesar $Rp\ 2.252.199$. Jika kedua biaya tersebut dibandingkan,

maka total biaya model persediaan *ELSP* menghasilkan biaya produksi yang lebih kecil, sebesar

$$Rp\ 2.252.199 - Rp\ 1.014.725 = Rp\ 1.237.474$$

atau

$$\frac{Rp\ 1.234.474}{Rp\ 2.252.199} \times 100\% = 54,50\%$$



Gambar (4.23) Grafik Total Biaya Hari ke-27

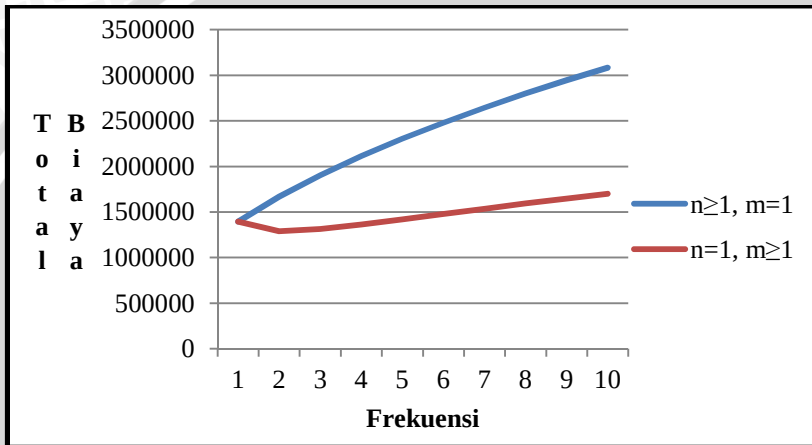
Dengan demikian proses coproduction/produksi bersama dapat dilakukan pada hari ke-27 dengan nilai $n = 1, m = 1$.

Tabel 4.23 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-28

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	1.394.631	2,83106	1	1.394.631	2,83106
2	1.668.703	3,39184	2	1.288.353	4,40177
3	1.903.971	3,87173	3	1.313.203	5,43569
4	2.113.262	4,29827	4	1.362.826	6,39145
5	2.303.638	4,68609	5	1.420.024	7,25172
6	2.479.448	5,04417	6	1.478.437	8,05494
7	2.643.598	5,37845	7	1.536.311	8,80996

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
8	2.798.137	5,69312	8	1.592.860	9,52663
9	2.944.579	5,99130	9	1.647.849	10,2108
10	3.084.076	6,27531	10	1.701.224	10,8671

Perubahan nilai total biaya produksi yang terjadi pada hari ke-28 dapat ditunjukkan pada grafik dalam gambar dibawah ini,



Gambar (4.24) Grafik Total Biaya Hari ke-28

Dapat dilihat pada Tabel 4.23, bahwa nilai Rp 1.288.353 menjadi total biaya yang optimum. Nilai ini terjadi ketika kombinasi frekuensi produksi $n = 1, m = 2$. Saat kombinasi $n = 1, m = 1$ nilai total biaya produksi sebesar Rp 1.394.63, kemudian nilai total biaya turun pada $n = 1, m = 2$ namun tetap naik pada nilai $n = 2, m = 1$. Setelah itu nilai total biaya terus menanjak jika nilai n atau m dinaikkan. Namun perubahan kenaikan nilai total biaya pada kasus $n \geq 1, m = 1$ lebih curam. Dapat dilihat saat nilai kombinasi $n = 10, m = 1$ yang nilainya hampir dua kali lipat saat nilai $n = 1, m = 10$.

Sedangkan nilai batas bawah untuk hari ke-28 sebesar Rp 4.033.801. Nilai ini lebih besar daripada nilai total biaya optimum model persediaan sebesar,

$$Rp\ 4.033.801 - Rp\ 1.288.353 = Rp\ 2.745.448$$

atau

$$\frac{Rp\ 2.745.448}{Rp\ 4.033.801} \times 100\% = 68,06\%$$

Dengan selisih biaya 68,06% dari total biaya optimum model persediaan ELSP, maka proses coproduction dapat dilaksanakan pada hari ke-28.

Tabel 4.24 Total Biaya dan Waktu Siklus Hari ke-30

n	$Ct(m = 1)$	T	m	$Ct(n = 1)$	T
1	5.629.359	2,18875	1	5.629.359	2,18875
2	6.157.051	3,00174	2	8.290.293	2,07395
3	6.802.044	3,62281	3	10.702.162	2,19243
4	7.427.050	4,14174	4	12.680.247	2,33260
5	8.016.747	4,61082	5	14.383.446	2,47983
6	8.572.185	5,03074	6	15.900.095	2,62565
7	9.097.119	5,41765	7	17.280.480	2,76754
8	9.595.363	5,77838	8	18.555.937	2,90477
9	10.070.247	6,11765	9	19.747.422	3,03726
10	10.524.571	6,43893	10	20.869.732	3,16522

Berdasarkan Tabel 4.24 diatas, kombinasi frekuensi produksi $n = 1, m = 1$ mempunyai nilai total biaya yang optimum. Perubahan nilai total biaya pada kasus $n = 1, m \geq 1$ lebih besar daripada kasus $n \geq 1, m = 1$.

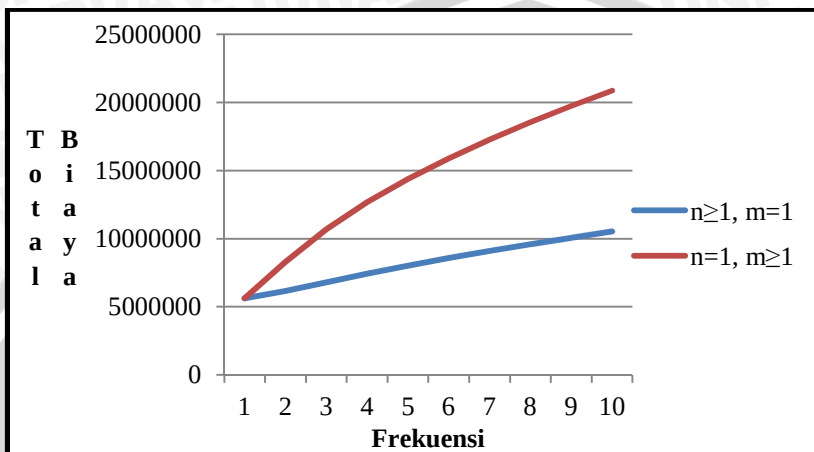
Nilai total biaya produksi optimum pada hari ke-30 sebesar Rp 5.629.359 dengan waktu siklus 2,18875. Sedangkan nilai batas bawahnya sebesar Rp 10.971.513. Jika dibandingkan antara kedua biaya diatas, maka model persediaan ELSP menghasilkan biaya produksi yang lebih kecil sebesar,

$$Rp\ 10.971.513 - Rp\ 5.629.359 = Rp\ 5.342.154$$

atau

$$\frac{Rp\ 5.342.154}{Rp\ 10.971.513} \times 100\% = 48,69\%$$

Perubahan nilai total biaya untk hari ke-30 dapat dilihat pada Gambar 4.25 berikut,



Gambar (4.25) Grafik Total Biaya Hari ke-30

Dengan demikian, maka proses *coproduction* dapat dilaksanakan pada hari ke-30 dengan nilai $n = 1, m = 1$.

Nilai optimal untuk setiap harinya dapat dilihat pada Tabel 4.25

Tabel 4.25 Hasil Perhitungan ELSP

Hari	Lower Bound	Total Biaya Minimum	T*	n	m	Coproduction	Δ Biaya
1	-	-	-	-	-	-	-
2	8.272.744	2.578.695	3,61074	1	2	Ya	68,83%
3	6.048.316	3.435.338	3,95518	1	6	Ya	43,20%
4	8.863.830	4.203.714	2,05054	1	1	Ya	52,57%
5	3.443.126	3.461.659	1,21500	2	1	Tidak	-0,53%
6	8.719.913	4.920.540	1,74245	1	1	Ya	43,57%
7	8.895.034	4.321.980	2,16800	1	1	Ya	51,41%
8	-	-	-	-	-	-	-
9	5.967.749	4.119.256	1,45381	1	1	Ya	30,97%
10	9.614.400	5.263.501	1,76464	1	1	Ya	45,25%
11	7.799.411	4.224.785	1,94357	1	1	Ya	45,83%
12	8.957.988	5.937.231	1,47558	1	1	Ya	33,72%
13	-	-	-	-	-	-	-

Hari	Lower Bound	Total Biaya Minimum	T*	n	m	Coproduction	Δ Biaya
14	5.434.870	3.737.632	1,60017	1	1	Ya	31,12%
15	-	-	-	-	-	-	-
16	8.233.594	4.133.590	2,49178	1	2	Ya	49,80%
17	6.829.133	4.186.855	1,61540	1	1	Ya	38,69%
18	4.648.328	2.825.463	1,70600	1	1	Ya	39,22%
19	5.856.738	2.861.858	3,17888	1	3	Ya	51,14%
20	3.365.747	1.651.802	3,00948	1	2	Ya	50,92%
21	6.394.360	3.383.158	2,59375	1	2	Ya	47,09%
22	-	-	-	-	-	-	-
23	4.414.487	3.286.254	1,55869	1	1	Ya	25,56%
24	10.716.728	5.383.811	1,94268	1	1	Ya	49,76%
25	-	-	-	-	-	-	-
26	6.077.926	3.408.616	2,00049	1	1	Ya	43,92%
27	2.252.199	1.014.725	3,19897	1	1	Ya	54,50%
28	4.033.801	1.288.353	4,40177	1	2	Ya	68,06%
29	-	-	-	-	-	-	-
30	10.971.513	5.629.359	2,18875	1	1	Ya	48,69%

Dari Tabel 4.25 terlihat bahwa proses *coproduction* dapat dilaksanakan pada produksi setiap harinya kecuali untuk hari ke-5. Dimana untuk hari ke-5 proses *coproduction* tidak dapat dilaksanakan karena nilai permintaan yang kecil terhadap produk. Nilai total biaya produksi terendah terjadi pada hari ke-27 dengan total biaya Rp. 1.014.725, waktu siklus (T) sebesar 3,19897, produksi bersama (m) sebanyak satu kali dan produksi sendiri (n) sebanyak satu kali. Sedangkan biaya produksi tertinggi terjadi pada hari ke-12 dengan biaya produksi sebesar Rp. 5.937.231, waktu siklus (T) 1,47558, produksi bersama sebanyak satu kali (m) dan produksi sendiri (n) juga satu kali.

Jika dibandingkan antara data yang diperoleh dengan hasil perhitungan dari skripsi ini, maka perusahaan akan lebih memperoleh keuntungan apabila perusahaan menerapkan model *ELSP* untuk masalah *coproduction*. Hal ini dapat dilihat pada perhitungan nilai total biaya perharinya pada Tabel 4.25.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian ini dan pembahasannya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut,

1. telah diperoleh model *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)* untuk proses *coproductio*n. Untuk kasus $n \geq 1, m = 1$ diperoleh persamaan (4.3). Sedangkan untuk kasus $n = 1, m \geq 1$ diperoleh persamaan (4.4),
2. solusi optimal frekuensi penjadwalan produksi diperoleh setiap harinya dengan menggunakan model *ELSP*, kecuali pada hari ke-5. Nilai total biaya produksi terendah terjadi pada hari ke-27 dengan total biaya Rp. 1.014.725, waktu siklus (T) sebesar 3,19897, produksi bersama (m) sebanyak satu kali dan produksi sendiri (n) sebanyak satu kali. Sedangkan biaya produksi tertinggi terjadi pada hari ke-12 dengan biaya produksi sebesar Rp. 5.937.231, waktu siklus (T) 1,47558, produksi bersama sebanyak satu kali (m) dan produksi sendiri (n) juga satu kali.

5.2 Saran

Dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan baik dari segi pembahasan ataupun kajian pustaka. Untuk selanjutnya, diharapkan pengkajian dapat mengembangkan model *ELSP* ini untuk produk > 2 .

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Assauri, S.1980. *Manajemen Produksi*. Lembaga Penelitian Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia. Jakarta.
- Carreras, P.I.V., Garcia-Sabater, J.P. dan Coronado-Hernandez, J.R. (2012). Economic lot scheduling with deliberated and controlled coproduction. *European Journal of Operational Research*, 219, hal 396-404.
- Carreras, P.I.V., dan Garcia-Sabater, J.P., (2009). Comparison of heuristics an economic lot scheduling problem with deliberated coproduction. *Journal if Industrial and Management*, 2, hal 437-463.
- Gallego, G. (2004). The Economic Lot Schedulling Problem. *Production Managemen*, lecture 3.
- Giri B. C., Moon, I. dan Yun, W. Y., 2003. Scheduling Economic Lot Sizes in Deteriorating Production Systems. *Naval Research Logistic*, 50. Hal 650-661
- Heydari, M. dan Torabi, S.A. (2008), The Economic Lot Scheduling Problem in Flow Lines with Sequence-Dependent Setups. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 47, hal 473-480.
- Kartadinata, Abas. 1990. *Pembelanjaan (Pengantar Manajemen) Keuangan*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Kalangi, B. 2002. *Matematika Ekonomi dan Bisnis*. Salemba Empat.Jakarta.
- Mokhlesian, M., Fatemi Ghomi, S.M.T. dan Jolai, F. (2010), Economic lot scheduling problem with consideration of money time value. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 1, hal 121-138.
- Rangkuti, Freddy. 1998. *Manajemen Persediaan : Aplikasi dibidang Bisnis*. PT. Raja Grafindo. Jakarta.

Rismaya, M.D. 2009. *Penentuan Kuantitas Optimal dan Ukuran Pengiriman pada Joint Economic Lot Size*. ITS. Surabaya

Siswanto.1984. *Economic Order Quantity*, cetakan ke-II.Universitas Gajahmada.Yogyakarta.

Yao, M. J., Chang, P.T., and Huang, S.F., 2005. On the Economic Lot Scheduling Problem with Fuzzy Demands. *International Journal of Operations Research*, Vol. 2, No. 2.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Simulasi Menggunakan *Software Delphi 7*

Simulasi menggunakan *software Delphi 7* ditujukan untuk mempermudah dan mempercepat perhitungan proses perhitungan.

RISKI_PRAMUDITA(0810943058)

pa da Lower Bound
pb db max n
ha hab max n
hb pba T minimal
Sa Sab Total Biaya
Sb Sba

Coproduction
☐ Yes
☐ No

Hitung

Gambar (4.26) Tampilan Awal Program

Langkah awal dari tahapan perhitungan ini adalah memasukkan semua variabel. Pada form diatas terdapat tombol “hitung” yang menghasilkan nilai biaya dan waktu siklus yang dibutuhkan untuk melaksanakan produksi pada *stringgrid* yang ditunjukkan dalam Gambar 4.27

RISKI_PRAMUDITA(0810943058)

pa 570 da 241 Lower Bound 6077926.29172018
 pb 186 db 71 max n 10
 ha 50000 pab 285 max m 10
 hb 10000 pba 98 T minimal 2.00049513160982
 Sa 2102730 Sab 1306730 Total Biaya 3408616.14320088
 Sb 510730 Sba 130730

Coproduction
☒ Yes
☐ No

Hitung

	$n \geq 1, m = 1$	Tb	$n = 1, m \geq 1$	Tb
1	3408616.14320088	2.00049513160982	3408616.14320088	2.00049513160982
2	4242369.21559788	2.59863756305481	3684058.50738521	2.20827040344434
3	4949852.84918866	3.07682681970967	4222002.45979189	2.4544792767844
4	5570948.61088675	3.48868771864446	4726636.78197705	2.67847342917238
5	6130442.48267623	3.85628934074587	5186135.76374223	2.89301908676907
6	6643447.70036855	4.19153145413566	5608935.13776607	3.09591856950103
7	7119832.96809615	4.50174605831668	6001854.45469369	3.28909167552428
8	7566430.17113084	4.79184227964416	6370274.09329108	3.47354144107787
9	7988190.62776913	5.06530225497386	6718198.49292797	3.65028653548473
10	8388834.80750076	5.32470373120957	7048686.2867355	3.82016622262529

Gambar (4.27) Hasil Perhitungan *Economic Lot Sizing Schedulling Problem (ELSP)*

Lampiran 6 menunjukkan *listing* program *Economic Lot Sizing Schedulling Problem* dengan menggunakan software Delphi 7.

Lampiran 2. Data Tingkat Permintaan

Hari	Dodol Apel	Jenang Apel
1	0	0
2	273	245
3	140	160
4	280	190
5	247	170
6	299	100
7	288	222
8	0	0
9	185	90
10	345	110
11	300	90
12	270	100
13	0	0
14	167	88
15	0	0
16	267	188
17	199	132
18	132	148
19	169	188
20	90	170
21	200	180
22	0	0
23	146	174
24	401	112
25	0	0
26	241	71
27	112	89
28	110	231
29	0	0
30	393	104

Lampiran 3. Data Tingkat Produksi

Hari	Dodol Apel	Jenang Apel
1	0	0
2	577	524
3	411	463
4	626	480
5	579	463
6	708	269
7	635	549
8	0	0
9	431	444
10	747	372
11	671	286
12	681	446
13	0	0
14	436	421
15	0	0
16	611	470
17	502	440
18	316	482
19	411	463
20	186	438
21	470	472
22	0	0
23	348	463
24	859	347
25	0	0
26	570	186
27	238	223
28	232	503
29	0	0
30	835	301

Lampiran 4. Data Biaya Penyimpanan

Hari	Dodol Apel	Jenang Apel
1	0	0
2	50.000	20.000
3	50.000	20.000
4	50.000	20.000
5	50.000	20.000
6	60.000	20.000
7	50.000	20.000
8	0	0
9	50.000	20.000
10	60.000	20.000
11	50.000	20.000
12	60.000	20.000
13	40.000	0
14	40.000	20.000
15	0	0
16	50.000	20.000
17	50.000	20.000
18	30.000	20.000
19	40.000	20.000
20	20.000	20.000
21	40.000	20.000
22	0	0
23	30.000	20.000
24	60.000	20.000
25	60.000	0
26	50.000	10.000
27	20.000	10.000
28	20.000	20.000
29	0	0
30	70.000	20.000

Lampiran 5. Data Biaya Produksi

Hari	Dodol Apel	Jenang Apel
1	0	0
2	2.128.553	1.438.380
3	2.442.118	1.559.160
4	2.309.314	1.317.600
5	2.135.931	1.270.935
6	2.611.812	738.405
7	2.342.515	1.507.005
8	0	0
9	1.589.959	1.218.780
10	2.755.683	1.021.140
11	2.475.319	785.070
12	2.512.209	1.224.270
13	1.530.935	0
14	1.608.404	1.155.645
15	0	0
16	2.253.97.9	1.290.150
17	1.851.878	1.207.800
18	1.165.724	1.323.090
19	1.516.179	1.270.935
20	686.154	1.202.310
21	1.733.830	1.295.640
22	0	0
23	1.283.772	1.270.935
24	3.168.851	952.515
25	2.678.214	0
26	2.102.730	510.730
27	877.982	612.135
28	855.848	1.380.735
29	0	0
30	3.080.315	826.245

Lampiran 6. Sourcecode Program Menggunakan *software* Delphi 7

```
unit Coba;  
  
interface  
  
uses  
    Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics,  
    Controls, Forms,  
    Dialogs, Menus, StdCtrls, math, Grids;  
  
type  
    TForm1 = class(TForm)  
        Edit1: TEdit;  
        Edit2: TEdit;  
        Edit3: TEdit;  
        Edit4: TEdit;  
        Edit5: TEdit;  
        Edit6: TEdit;  
        Label1: TLabel;  
        Label2: TLabel;  
        Label3: TLabel;  
        Label4: TLabel;  
        Label5: TLabel;  
        Label6: TLabel;  
        Edit7: TEdit;  
        Edit8: TEdit;  
        Edit9: TEdit;  
        Edit10: TEdit;  
        Label7: TLabel;  
        Label8: TLabel;  
        Label9: TLabel;  
        Label10: TLabel;  
        GroupBox1: TGroupBox;
```

```

RadioButton1: TRadioButton;
RadioButton2: TRadioButton;
Edit11: TEdit;
Label11: TLabel;
Button1: TButton;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
StringGrid1: TStringGrid;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

{$R *.dfm}

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var pa, pb, ha, hb, sa, sb, da, db, pab, pba, sab, sba, lb, TCmin,
Tmin, T, tau, a,b,c,d: real;
    n,m,i,j,maxn, maxm:integer;

```

```

TC1,TC2, Tb1, Tb2 :array [1..200] of real;
begin
  pa:= StrToFloat(Edit1.Text);
  pb:= StrToFloat(Edit2.Text);
  ha:= StrToFloat(Edit3.Text);
  hb:= StrToFloat(Edit4.Text);
  sa:= StrToFloat(Edit5.Text);
  sb:= StrToFloat(Edit6.Text);
  da:= StrToFloat(Edit12.Text);
  db:= StrToFloat(Edit13.Text);
  pab:= StrToFloat(Edit14.Text);
  pba:= StrToFloat(Edit15.Text);
  sab:= StrToFloat(Edit16.Text);
  sba:= StrToFloat(Edit17.Text);
  lb:=sqrt(2*sa*ha*da*(1-da/pa))+sqrt(2*sb*hb*db*(1-db/pb));
  Edit7.Text:=FloatToStr(lb);
  maxn:=StrToInt(Edit9.Text);
  maxm:=StrToInt(Edit10.Text);
  for n:=1 to maxn do //m=1
    begin
      tau:=pab*db/(pba*da);
      T:=sqrt(2*(sab+n*sa)/(hb*db*(1-db/pba)+ha*da*(tau*tau*(1-
da/pab)+(1-tau)*(1-tau)*(1-da/pa)/n)));
      TC1[n]:=(sab+n*sa)/T+hb*(db*T*(1-
db/pba)/2)+ha*(da*T/2*(tau*tau*(1-da/pab)+(1-tau)*(1-tau)*(1-
da/pa)/n));
      Tb1[n]:=T;
    end;
  for m:=1 to maxm do //n=1
    begin
      tau:=pab*db/(pba*da);
      a:=2*(m*sab+sa); b:=hb*db*(1-db/pba)/m; c:=ha*da;
      d:=tau*tau*(1-da/pab)/(m*m)+(1-tau)*(1-tau)*((1-da/pa)+1-
1/m)/m+t*(1-1/m)*(1-da/pab)/m+(1-1/m)*(1-1/m)*(1-tau);
      T:= sqrt(a/(b+c*d));
      a:=(m*sab+sa)/T+hb*db*T*(1-db/pba)/(2*m);

```

```

b:=tau*tau*da*T*(1-da/pab)/(2*m*m);
c:=(1-tau)*(1-tau)*da*T*((1-da/pa)+1-1/m)/(2*m);
d:=tau*da*T*(1-1/m)*(1-da/pab)/(2*m)+da*T*(1-1/m)*(1-
1/m)*(1-tau)/2;
TC2[m]:=a+ha*(b+c+d);
Tb2[m]:=T;
end;
StringGrid1.RowCount:=max(maxn,maxm)+1;
StringGrid1.Cells[1,0]:='n>=1, m=1';
StringGrid1.Cells[2,0]:='Tb';
StringGrid1.Cells[3,0]:='n=1, m>=1';
StringGrid1.Cells[4,0]:='Tb';
for i:=1 to max(maxn,maxm) do
  StringGrid1.Cells[0,i]:=IntToStr(i);
for n:=1 to maxn do
  begin
    StringGrid1.Cells[1,n]:=FloatToStr(TC1[n]);
    StringGrid1.Cells[2,n]:=FloatToStr(Tb1[n]);
  end;
for m:=1 to maxm do
  begin
    StringGrid1.Cells[3,m]:=FloatToStr(TC2[m]);
    StringGrid1.Cells[4,m]:=FloatToStr(Tb2[m]);
  end;
TCmin:=TC1[1];
Tmin:=Tb1[1];
for n:=2 to maxn do
  begin
    if TCmin>min(TCmin, TC1[n]) then
      TCmin:=TC1[n];
    if TCmin=TC1[n] then
      Tmin:=Tb1[n]
    end;
  end;
for m:=1 to maxm do
  begin
    if TCmin>min(TCmin, TC2[m]) then

```

```
TCmin:=TC2[m];  
if TCmin=TC2[m] then  
    Tmin:=Tb2[m]  
end;  
Edit8.Text:=FloatToStr(Tmin);  
edit11.Text:=FloatToStr(TCmin);  
if TCmin<lb then  
    RadioButton1.Checked:=true  
else  
    RadioButton2.Checked:=true;  
end;  
end.
```

