# PEMBANGUNAN MODEL OPTIMASI BERKELANJUTAN *TYPE*-1 DAN *TYPE*-2 PADA SISTEM RANTAI PASOK PRODUK BATIK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN EMISI KARBON

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1**
**Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri**
**Universitas Islam Indonesia**


Nama : Fatimah Az-Zahra
No. Mahasiswa : 21522106


**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA**
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**
**YOGYAKARTA**
**2025**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 23 – 05 – 2025




(Fatimah Az-Zahra)
21522106

# SURAT BUKTI PENELITIAN




FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI

Gedung KH. Mas Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 4110, 4100
F. (0274) 895007
E. fti@uii.ac.id
W. fti.uii.ac.id

## SURAT KETERANGAN PENELITIAN

Nomor : 94/Ka.lab SIMANTI/20/ Lab.SIMANTI/IV/2025

***Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh***

Dengan hormat,

Yang bertanda tangan dibawah ini, menerangkan bahwa:

Nama : Fatimah Az-Zahra

Nim : 21522106

Jurusan : Teknik Industri

Dosen Pembimbing : Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph. D., IPM

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut diatas telah melaksanakan penelitian tugas akhir dengan judul **"PEMBANGUNAN MODEL OPTIMASI SISTEM RANTAI PASOK BERKELANJUTAN TYPE-1 DAN TYPE-2 PADA PRODUK BATIK".** Mulai pelaksanaan penelitian 20 Desember 2024 sampai 19 Maret 2025.

Demikian surat keterangan penelitian ini kami buat. Atas perhatiannya dan kerja samanya kami mengucapkan terima kasih.

***Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh***

Yogyakarta, 11 April 2025

Kepala Laboratorium

Sistem Manufaktur Terintegrasi

Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc.

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

# PEMBANGUNAN MODEL OPTIMASI BERKELANJUTAN *TYPE*-1 DAN *TYPE*-2 PADA SISTEM RANTAI PASOK PRODUK BATIK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN EMISI KARBON

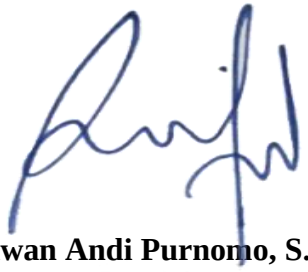
**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Fatimah Az-Zahra**
**No. Mahasiswa : 21522106**

**Yogyakarta, 03 Mei 2025**

**Dosen Pembimbing**



**(Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph. D., IPM)**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

# PEMBANGUNAN MODEL OPTIMASI BERKELANJUTAN *TYPE*-1 DAN *TYPE*-2 PADA SISTEM RANTAI PASOK PRODUK BATIK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN EMISI KARBON

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Fatimah Az-Zahra**

**No. Mahasiswa : 21522106**

**Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Tekonologi Industri Universitas Islam Indonesia**

**Yogyakarta, *03 - 05 – 2025***

**Tim Penguji**

| | |
|---|---|
| Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph. D., IPM | |
| Ketua | |
| Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. | |
| Anggota I | |
| Wahyudi Sutrisno, S.T., M.M., M.T | |
| Anggota II | |

**Mengetahui,**
**Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana**
**Fakultas Teknologi Industri**
**Universitas Islam Indonesia**

**Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph. D., IPM**
**NIK. 015220101**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Untuk mamah dan bapak yang selalu mendukung dan mendoakan saya, saya mengucapkan terima kasih atas segala yang telah kalian berikan. Semoga kalian selalu diberi kesehatan dan umur panjang agar dapat mendampingi serta menyaksikan perjalanan saya menuju kesuksesan.

## MOTTO

*“Allah tidak membebani seseorang, kecuali menurut kesanggupannya…” .*

*(QS. Al Baqarah : 286)*

*"Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan."*

*(QS. Al Insyirah : 5-6)*

*"Tidak ada pemberian orang tua yang paling berharga kepada anaknya daripada pendidikan akhlak mulia."*

*(HR. Bukhari)*

# KATA PENGANTAR

***Bismillahirrohmanirrohim***
***Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh***

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga kita diberikan kesehatan, keselamatan, dan kemampuan untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang menjadi suri teladan bagi kita semua, dan telah membimbing umat manusia menuju jalan yang diridhoi oleh Allah Subhanahu wa Ta'ala.

Dalam proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak menerima dukungan dari berbagai pihak yang telah membantu, sehingga laporan ini dapat diselesaikan dengan baik. Dukungan, semangat, serta doa yang telah diberikan sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan laporan ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN, Eng. Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., Dosen Pembimbing Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Para Dosen Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
5. Mamah Ida, Bapak Suwargono, Abang Sultan, dan Nenek Maryam serta keluarga penulis yang selalu memberikan perhatian, cinta, kasoh saying, semangat, nasihat, dan doa tiada henti selama penyusunan Tugas Akhir.
6. Sofi Hendra Mukti Wibowo, terima kasih telah menjadi salah satu penyemangat, pendengar keluh kesah dalam penulisan Tugas Akhir, penasehat yang baik dan senantiasa memberikan rasa sayang.
7. Caca dan Dinol sahabat seperjuangan saya semasa perkuliah yang selalu ada untuk saya selama penulisan Tugas Akhir dan kisah hidup lainnya.
8. Uti, Shelma, Tata, Aurel, Putyog, Latifah, Ayusta, dan Indah yang selalu mendukung, memberi perhatian, semangat, dan pastinya memberi rasa sayang untuk saya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
9. Semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, dan mungkin masih terdapat kesalahan dalam penulisan maupun isi dari laporan ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar dapat menjadi acuan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dalam memperluas wawasan dan ilmu pengetahuan, serta dapat digunakan sebagaimana mestinya. Semoga semua kebaikan dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan pahala dari Allah SWT, Aamiin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 13 Oktober 2024



Fatimah Az-Zahra

# ABSTRAK

Sistem rantai pasok yang tidak optimal dikarenakan adanya ukuran *lot size* antara pembeli dan pemasok yang ditentukaan secara individual, sehingga total biaya gabungan antara keduaya besar. Yang di mana pemasok harus mempertimbangkan emisi karbon di lantai produksi dan distribusi secara keseluruhan. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk membangun model optimasi rantai pasok berkelanjutan dengan mempertimbangkan emisi karbon dengan mengintegrasikan *Type*-1 dan *Type*-2 untuk meminimasi biaya total gabungan secara keseluruhan. *Type*-1 fokus pada proses produksi yang dilakukan oleh pemasok, sementara *Type*-2 berfokus pada proses distribusi produk kepada pembeli. Objek penelitian ini adalah UMKM Batik X yang berlokasi di Yogyakarta, yang berperan sebagai produsen sekaligus pemasok produk batik kepada beberapa *buyer*. Dalam konteks *Type*-1, penelitian memperhitungkan pemesanan, persediaan, *lost sales*, dan emisi karbon yang dihasilkan akibat proses pemanasan mesin produksi. Sedangkan pada *Type*-2, fokus diarahkan pada distribusi produk dengan mempertimbangkan jarak tempuh dan berat angkutan sebagai faktor utama yang mempengaruhi emisi karbon dalam pengiriman barang. Model *Joint Economic Lot size* (JELS) digunakan sebagai pendekatan dasar dalam meminimasi *Joint Total Cost*. Selain itu, perhitungan dilakukan secara terintegrasi dan independent menggunakan *algoritma evolutionary* untuk menyelesaikan masalah optimasi total biaya gabungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model dengan koordinasi atau integrasi antara pemasok dan pembeli mampu memberikan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan model tanpa koordinasi atau independent. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem rantai pasok yang efisien dan ramah lingkungan, khususnya bagi industri kreatif seperti UMKM batik.

Kata Kunci: ***Supply Chain*, Emisi Karbon, *Joint Economic Lot size*, *Algoritma evolutionary*, Optimas**

# DAFTAR ISI

**PERNYATAAN KEASLIAN** ..... **iii**
**SURAT BUKTI PENELITIAN** ..... **iv**
**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING** ..... **v**
**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI** ..... **vi**
**HALAMAN PERSEMBAHAN** ..... **vii**
**MOTTO** ..... **viii**
**KATA PENGANTAR** ..... **ix**
**ABSTRAK** ..... **xi**
**DAFTAR ISI** ..... **xii**
**DAFTAR TABEL** ..... **xiv**
**DAFTAR GAMBAR** ..... **xvii**
**BAB I PENDAHULUAN** ..... **1**
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 6
1.3 Tujuan Penelitian ..... 7
1.4 Manfaat Penelitian ..... 7
1.4.1 Bagi Peneliti ..... 7
1.4.2 Bagi Perguruan Tinggi ..... 7
1.4.3 Bagi Perusahaan ..... 8
1.5 Batasan Penelitian ..... 8
1.6 Sistematika Penelitian ..... 8
**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** ..... **11**
2.1 Kajian Literatur ..... 11
2.2 Landasan Teori ..... 20
2.2.1 Emisi Karbon ..... 20
2.2.2 Gas Rumah Kaca ..... 21
2.2.3 Sumber Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) ..... 22
2.2.4 *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol) ..... 24
2.2.5 Perhitungan Jejak Karbon ..... 27
2.2.6 Sistem Produksi ..... 28
2.2.7 *Supply Chain* ..... 28
2.2.8 *Supply Chain* Management ..... 29
2.2.9 Persediaan (*Inventory* ) ..... 30
2.2.10 *Supply Chain Management* ..... 32
2.2.11 *Supply Chain Management* ..... 36
2.2.12 *Supply Chain Management* ..... 38
2.2.13 Metode Pengendalian Persediaan ..... 40
2.2.14 Konsep Emisi Karbon ..... 42
2.2.15 $CO2$ Emission ..... 42
2.2.16 Konsep Carbon Tax ..... 42
2.2.17 Distribusi ..... 44
2.2.18 Optimasi *Algoritma Evoulutionary* ..... 45
2.2.19 Model Ukuran *Lot* Ekonomis Gabungan (*Joint Economic Lot size*) ..... 46
2.2.20 Ukuran Pemesanan (*Lot size*) ..... 47

**BAB III METODE PENELITIAN ..... 48**
3.1 Objek dan Subjek Penelitian ..... 48
3.2 Jenis Data Penelitian ..... 48
3.3 Alur Penelitian ..... 49
**BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA atau PEMBANGUNAN SISTEM ..... 63**
4.1 Pengumpulan Data ..... 63
4.2 Deskripsi Sistem ..... 66
4.3 Pengolahan Data ..... 82
4.4 Rangkuman Perhitungan Model Tanpa Koordinasi ..... 107
4.5 Rangkuman Perhitungan Model Dengan Koordinasi ..... 125
4.6 Rangkuman Perhitungan Biaya Distribusi ..... 131
**BAB V PEMBAHASAN ATAU PENGUJIAN SISTEM DAN PEMBAHASAN ..... 133**
5.1 Analisis Perbandingan Variabel Keputusan ..... 133
5.2 Analisis Hasil Perbandingan Total Biaya *Buyer* ..... 136
5.3 Analisis Hasil Perbandingan Total Biaya Pemasok ..... 139
5.4 Analisis Perbandingan Varibael Keputusan ..... 139
5.5 Analisis Perbandingan Total Biaya Gabungan ..... 141
**BAB VI PENUTUP ..... 157**
6.1 Kesimpulan ..... 157
6.2 Saran ..... 157
**DAFTAR PUSTAKA ..... 158**
**LAMPIRAN ..... 162**

# DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Teoritis ..... 18
Tabel 2. 2 1 Nilai GWP ..... 21
Tabel 3. 1 Validasi model ..... 53
Tabel 3. 2 Langkah-langkah perhitungan model tanpa koordinasi pembeli ..... 56
Tabel 3. 3 Langkah-langkah perhitungan model tanpa koordinasi pemasok ..... 57
Tabel 3. 4 Langkah-langkah perhitungan model dengan koordinasi ..... 59
Tabel 3. 5 Langkah-langkah Perhitungan Biaya Distribusi ..... 61
Tabel 4. 1 Data sekunder vendor dan *buyer* ..... 63
Tabel 4. 2 Biaya pemesanan antar *buyer* ..... 64
Tabel 4. 3 Data emisi karbon vendor ..... 64
Tabel 4. 4 Data latitude dan longitude ..... 65
Tabel 4. 5 Matriks jarak ..... 65
Tabel 4. 6 Langkah-langkah perhitungan model tanpa koordinasi pembeli ..... 74
Tabel 4. 7 Langkah-langkah Perhitungan Model Tanpa Koordinasi Pemasok ..... 75
Tabel 4. 8 Langkah-langkah perhitungan model dengan koordinasi ..... 77
Tabel 4. 9 Langkah-langkah model distribusi ..... 78
Tabel 4. 10 Validasi model ..... 79
Tabel 4. 11 Permintaan *Buyer* 1 ..... 83
Tabel 4. 12 Permintaan *Buyer* 2 ke *Buyer* 1 ..... 84
Tabel 4. 13 Permintaan *Buyer* 3 ke *Buyer* 1 ..... 85
Tabel 4. 14 Hasil Optimasi Solver Evolutionary Jumlah Pemesanan dan Titik Pemesanan Ulang *Buyer* 1 ..... 87
Tabel 4. 15 Perhitungan Model Optimasi *Buyer* 1 ..... 87
Tabel 4. 16 Hasil Optimasi $Qb$dan $rb$ pada *Buyer* 1 ..... 90
Tabel 4. 17 Hasil optimasi *production quantity* pada vendor ..... 92
Tabel 4. 18 Hasil perhitungan Model Optimasi pada vendor ..... 93
Tabel 4. 19 Hasil Optimasi *Solver Evolutionary* (P) Pemasok ..... 95
Tabel 4. 20 Total Permintaan Semua *Buyer* Pada Produk Batik Model Tanpa Koordinasi ..... 97
Tabel 4. 21 Model Simulasi Biaya Distribusi Pemasok Produk Batik 1 *Buyer* 1 Porduk Batik ..... 98
Tabel 4. 22 Matriks jarak ..... 98
Tabel 4. 23 Hasil Optimasi Produk Batik 1 *Buyer* 1 ..... 99
Tabel 4. 24 Hasil Optimasi *Solver Evolutionary* pada *Buyer* 1 ..... 101
Tabel 4. 25 Hasil Optimasi *Solver Evolutionary* pada Vendor ..... 101
Tabel 4. 26 Total Permintaan Semua *Buyer* Model Tanpa Koordinasi ..... 104
Tabel 4. 27 Model Simulasi Biaya Distribusi Pemasok Produk Batik *Buyer* 5 ..... 105
Tabel 4. 28 Matriks Jarak ..... 105
Tabel 4. 29 Hasil Optimasi Produk Batik 1 *Buyer* 1 ..... 106
Tabel 4. 30 Hasil Perhitungan Optimasi *Solver Evolutionary* Q_b , r_b Produk Batik 1 ..... 107
Tabel 4. 31 Hasil Perhitungan Biaya Persediaan atau *Inventory Cost* pada Produk Batik 1 107
Tabel 4. 32 Hasil Perhitungan Biaya *Lost sales Cos*t pada Produk Batik 1 ..... 108
Tabel 4. 33 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada Vendor ..... 108
Tabel 4. 34 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada *Buyer* ..... 109
Tabel 4. 35 Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli Produk Batik 1 ..... 109

Tabel 4. 36 Total Biaya Persediaan Pemasok pada Produk Batik 1 ..... 109
Tabel 4. 38 Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 1..... 110
Tabel 4. 39 Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* Pemasok pada Produk Batik 1..... 110
Tabel 4. 40 Total Biaya *Daily* Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 1..... 110
Tabel 4. 41 Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 1..... 110
Tabel 4. 42 Hasil Perhitungan Optimasi *Solver Evolutionary* Q_b , r_b Produk Batik 2..... 111
Tabel 4. 43 Hasil Perhitungan Biaya Persediaan atau *Inventory Cost* pada Produk Batik 2 111
Tabel 4. 44 Hasil Perhitungan Biaya *Lost sales Cost* pada Produk Batik 2..... 111
Tabel 4. 45 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada Vendor ..... 112
Tabel 4. 46 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada Vendor ..... 112
Tabel 4. 47 Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli Produk Batik 2 ..... 113
Tabel 4. 48 Total Biaya Persediaan Pemasok pada Produk Batik 2 ..... 113
Tabel 4. 50 Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 2..... 113
Tabel 4. 51 Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* pada Produk Batik 2 ..... 113
Tabel 4. 52 Total Biaya *Daily* Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 2..... 114
Tabel 4. 53 Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 2..... 114
Tabel 4. 54 Hasil Perhitungan Optimasi *Solver Evolutionary* Q_b , r_b Produk Batik 3..... 114
Tabel 4. 55 Hasil Perhitungan Biaya Persediaan atau *Inventory Cost* pada Produk Batik 3 115
Tabel 4. 56 Hasil Perhitungan Biaya *Lost sales Cost* pada Produk Batik 3..... 115
Tabel 4. 57 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada Vendor ..... 115
Tabel 4. 58 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada Vendor ..... 116
Tabel 4. 59 Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli Produk Batik 3 ..... 116
Tabel 4. 60 Total Biaya Persediaan Pemasok pada Produk Batik 3 ..... 117
Tabel 4. 62 Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 3..... 117
Tabel 4. 63 Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* pada Produk Batik 3 ..... 117
Tabel 4. 64 Total Biaya *Daily* Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 3..... 117
Tabel 4. 65 Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 3..... 118
Tabel 4. 66 Hasil Perhitungan Optimasi *Solver Evolutionary* Q_b , r_b Produk Batik 4..... 118
Tabel 4. 67 Hasil Perhitungan Biaya Persediaan atau *Inventory Cost* pada Produk Batik 4 118
Tabel 4. 68 Hasil Perhitungan Biaya *Lost sales Cost* pada Produk Batik 4..... 119
Tabel 4. 69 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cos*t pada Vendor ..... 119
Tabel 4. 70 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada Vendor ..... 120
Tabel 4. 71 Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli Produk Batik 4 ..... 120
Tabel 4. 72 Total Biaya Persediaan Pemasok pada Produk Batik 4 ..... 120
Tabel 4. 74 Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 4..... 121
Tabel 4. 75 Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* pada Produk Batik 4 ..... 121
Tabel 4. 76 Total Biaya *Daily* Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 4..... 121
Tabel 4. 77 Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 4..... 121
Tabel 4. 78 Hasil Perhitungan Optimasi Solver Evolutionary Q_b , r_b Produk Batik 5..... 122
Tabel 4. 79 Hasil Perhitungan Biaya Persediaan atau *Inventory Cost* pada Produk Batik 5 122
Tabel 4. 80 Hasil Perhitungan Biaya *Lost sales Cost* pada Produk Batik 5..... 122
Tabel 4. 81 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau Ordering Cost pada Vendor..... 123
Tabel 4. 82 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau Ordering Cost pada Vendor..... 123
Tabel 4. 83 Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli Produk Batik 5 ..... 124
Tabel 4. 84 Total Biaya Persediaan Pemasok pada Produk Batik 5 ..... 124
Tabel 4. 86 Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 5..... 124
Tabel 4. 87 Total Biaya Emisi Karbon for *Setup* pada Produk Batik 5 ..... 125
Tabel 4. 88 Total Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 5..... 125

Tabel 4. 89 Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 5..... 125
Tabel 4. 90 Hasil Total Biaya *Buyer* pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 1..... 125
Tabel 4. 91 Hasil Total Biaya Pemasok pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 1.... 126
Tabel 4. 92 Hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 1..... 126
Tabel 4. 93 Hasil Total Biaya *Buyer* pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 2..... 127
Tabel 4. 94 Hasil Total Biaya Vendor pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 2 ..... 127
Tabel 4. 95 Hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 2..... 128
Tabel 4. 96 Hasil Total Biaya *Buyer* pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 3..... 128
Tabel 4. 97 Hasil Total Biaya Pemasok pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 3.... 128
Tabel 4. 98 Hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 3..... 129
Tabel 4. 99 Hasil Total Biaya *Buyer* pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 4..... 129
Tabel 4. 100 Hasil Total Biaya Pemasok pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 4.. 130
Tabel 4. 101 Hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 4..... 130
Tabel 4. 102 Hasil Total Biaya *Buyer* pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 5..... 130
Tabel 4. 103 Hasil Total Biaya Pemasok pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 5.. 131
Tabel 4. 104 Hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 5..... 131
Tabel 4. 105 Hasil Optimasi Distribusi Keseluruhan *Buyer* Model Tanpa Koordinasi..... 132
Tabel 4. 106 Hasil Optimasi Distribusi Keseluruhan *Buyer* Model Tanpa Koordinasi..... 132
Tabel 5. 1 Hasil Perbandingan Variabel Keputusan *Buyer* Antara Kedua Model ..... 133
Tabel 5. 2 Hasil Perbandingan Variabel Keputusan Pemasok Antara Kedua Model ..... 135
Tabel 5. 3 Hasil Perbandingan Total Biaya Pembeli ..... 137
Tabel 5. 4 Hasil Total Penjumlahan Biaya Pembeli Pada Setiap Produk Batik..... 138
Tabel 5. 5 Hasil Perbandingan Total Biaya Pemasok ..... 139
Tabel 5. 6 Hasil variabel Keputusan pada model dengan koordinasi. ..... 139
Tabel 5. 7 Hasil variabel Keputusan pada model tanpa koordinasi. ..... 140
Tabel 5. 8 Hasil Perbandingan Total Biaya Gabungan ..... 141

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 2. 1 Tren emisi GRK antropogenik pada tahun 1990-2019 ..... 23
Gambar 2. 2. 2 Kontribusi Setiap Sektor Terhadap Emisi GRK..... 24
Gambar 2. 2. 3 3 *Scope* ..... 24
Gambar 3. 1 Alur penelitian..... 49
Gambar 4. 1 Proses rantai pasok pada UMKM batik..... 67

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Manajemen rantai pasok adalah komponen utama dalam operasional perusahaan yang berkaitan dengan produksi dan distribusi produk. Salah satu elemen krusial di dalamnya adalah *Inventory management*. Proses ini melibatkan pengaturan stok barang perusahaan guna menjamin kelancaran produksi serta memenuhi permintaan pelanggan secara optimal (Hugos, 2021). Persediaan barang adalah elemen yang umumnya selalu hadir dalam aktivitas bisnis. Dalam sektor usaha seperti industri manufaktur, persediaan dapat berupa bahan baku, barang setengah jadi, atau produk jadi yang siap dipasarkan.

UMKM Batik X merupakan produsen batik yang beroperasi di Daerah Istimewa Yogyakarta. Dalam penelitian ini, UMKM Batik X berfungsi sebagai pemasok bagi sejumlah pembeli. Penelitian ini memiliki konsep *reactive lateral transshipment***,** yaitu situasi di mana pembeli yang kehabisan stok dapat mengajukan permintaan produk dalam skala kecil kepada pembeli lainnya. Dengan adanya konsep tersebut, dalam penelitian ini terdapat pembeli yang melakukan pemesanan kepada pembeli lain, dan pembeli yang melakukan pemesana kepada pihak pemasok. Selain transaksi antar pembeli, mereka juga menjual batik secara langsung kepada konsumen akhir yang menjadi menerima produk batik tanpa harus di jual belikan lagi. Sistem ini melibatkan struktur *multi-eselon*, dengan *eselon* pertama berupa UMKM Batik X sebagai pemasok utama yang menyediakan produk batik kepada pembeli dan *eselon* kedua terdiri dari pembeli yang dapat bertransaksi antar satu sama lain sebelum produk akhirnya dijual kepada konsumen akhir.

Terdapat sebuah permasalahan utama yang dialami oleh UMKM Batik X Yogyakarta yaitu tidak terdapat koordinasi yang baik antara UMKM Batik X dengan pembeli-pembeli batik, dan permintaan yang tidak pasti yang dialami semua pembeli terhadap semua produk batik yang ada juga bersifat tidak pasti. Sehingga mengakibatkan frekuensi pemesanan yang akan membuat biaya pemesanan semakin besar. Oleh sebab itu, beberapa dari pembeli yang mengalami permintaan yang tidak pasti melakukan permintaan produk emergency kepada pembeli lain, namun juga dikarenakan belum adanya koordinasi yang baik antar pembeli, sehingga terkadang pembeli lain belum dapat memenuhi permintaan mengenai produk

emergency dari pembeli lain. Begitupun ketika pembeli melakukan pemesanan kepada pemasok dengan keadaan permintaan yang tidak pasti tersebut. Dan dari pihak pemasok yaitu UMKM Batik X Yogyakarta memiliki sistem produksi yang harus mempertimbangkan emisi karbon baik di internal perusahaan yaitu lantai produksi dan emisi karbon di eksternal perusahaan yaitu pendistribusian produk menggunakan transportasi. Sehingga dibutuhkan suatu metode untuk menyelesaikan permasalahan untuk menentukan jumlah ukuran lot pemesanan yang optimal bagi pembeli dan ukuran lot produksi yang optimal bagi pemasok secara terintegrasi dengan mempertimbangkan emisi karbon yang berada di internal perusahaan dan di eksternal perusahaan secara keseluruhan dengan meminimasi total biaya gabungan.

Penelitian kali ini menggunakan Tipe-1 dan Tipe-2 dalam proses rantai pasok. Tipe-1 terkait pada internal perusahaan yaitu proses produksi yang dilakukan oleh pemasok. Dalam proses produksi, pemasok memerlukan proses *setup* setiap 1 kali setiap 3 hari secara konstan. Selain itu, pemasok mempertimbangkan emisi karbon yang cenderung tinggi karena proses pemanasan mesin harus dilakukan berulang kali setiap memulai produksi. UMKM Batik X ingin mengurangi emisi karbon tersebut dengan melakukan produksi dalam jumlah besar. Namun hal tersebut berisiko menyebabkan *overstock* pada pemasok. Ukuran *lot size* yang dimiliki pembeli yang tidak pasto, sehingga ika permintaan di tingkat pembeli meningkat secara signifikan, pemasok bisa mengalami kekurangan stok dan akan terjadi *lost sales*, sehingga pembeli harus menunggu hingga periode berikutnya untuk memenuhi kebutuhan mereka (*backorder*) (Heryanto et al, 2019). Oleh karena itu, Pengelolaan yang kurang optimal dapat mengakibatkan terjadinya *lost sales* dan *overstock*. Dari permasalahan pada Tipe-1 di atas, menyebabkan biaya yang dikeluarkan anatar pemasok dan pembeli sangat besar. Sehingga, UMKM Batik X harus meminimasi total biaya gabungan antara pembeli dan pemasok.

Proses berkelanjutan sistem rantai pasok pada Tipe-2 yaitu pengiriman barang tersebut kepada pembeli dengan mempertimbangkan emisi karbon. Dalam pendistribusian untuk Tipe-2 pada produk ini membutuhkan alat transportasi guna memperlancar dan mempermudah dalam pengiriman produk. Emisi karbon yang besar di hasilkan dari seberapa berat angkutan (kg) yang dibawa dan jarak (km/jam) yang ditempuh. Sehingga, UMKM Batik X juga harus meminimasi emisi karbon yang dihasilkan saat proses distribusi tersebut agar mengeluarkan biaya yang kecil dengan mencari solusi terkait rute optimal.

Pada pengelolaan produksi dan distribusi, Tipe-1 dan Tipe-2 memiliki karakteristik yang saling mempengaruhi, namun sering kali dianalisis secara terpisah. Pada Tipe-1, upaya untuk

meminimalkan biaya gabungan antara pemasok dan pembeli dengan mempertimbangkan emisi karbon di pabrik internal sering kali sudah dilakukan. Namun, ketika Tipe-2, yang melibatkan proses distribusi kepada pembeli diperhitungkan, ternyata strategi pada Tipe-1 dapat memengaruhi pola distribusi secara signifikan. Dalam Tipe-1, pemasok cenderung fokus hanya pada pengurangan emisi karbon internal tanpa mempertimbangkan dampaknya terhadap distribusi. Hal ini dapat menyebabkan emisi karbon distribusi menjadi sangat tinggi, meskipun emisi di pabrik sudah diminimalkan. Sebaliknya, dengan mengintegrasikan Tipe-1 dan Tipe-2, ditemukan potensi untuk mengoptimalkan emisi karbon secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan terintegrasi yang mempertimbangkan dampak bersama kedua tipe untuk mencapai solusi yang lebih optimal.

Jejak karbon merupakan jumlah total emisi gas rumah kaca yang dihasilkan atau berkaitan dengan sebuah kegiatan atau entitas (Febryanti, 2024). Industri energi pada umumnya masih bergantung pada bahan bakar fosil, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam, yang menghasilkan emisi karbon dioksida ($CO_2$) serta gas rumah kaca lainnya. Aktivitas industri dan konsumsi masyarakat telah meningkatkan jejak karbon secara signifikan, memberikan dampak negatif terhadap ekosistem bumi. Dalam hal ini, penerapan prinsip keberlanjutan dalam manajemen rantai pasok menjadi semakin penting untuk mengurangi jejak karbon serta dampak lingkungan. Hingga Juni 2020, berdasarkan artikel dari Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, Indonesia berhasil menurunkan emisi karbon sebesar 63 juta ton $CO_2e$ dari target 67,5 juta ton $CO_2e$. Dengan diberlakukannya pajak karbon di Indonesia sebesar Rp 30/tonkg, yang relatif lebih rendah dibandingkan tarif pajak karbon global menurut *The World Bank,* kebijakan ini dapat mendorong efisiensi biaya dalam rantai pasok produksi batik.

Pajak karbon tidak hanya berdampak pada penurunan margin laba, tetapi juga mempengaruhi keputusan terkait persediaan optimal. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh (Tiwari, 2018) menunjukkan bahwa model terintegrasi lebih efektif dalam menekan biaya serta mengurangi emisi karbon. Industri menjadi salah satu kontributor utama emisi karbon dioksida ($CO_2$), dan berbagai penelitian telah dilakukan untuk menganalisis dampak emisi $CO_2$ yang dihasilkan dari aktivitas rantai pasok dalam proses industri. Menurut Mineral (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2016), sektor industri dan transportasi merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca (GRK) terbesar kedua setelah sektor pembangkit listrik pada tahun 2015, dengan sektor transportasi menghasilkan emisi GRK sebesar 137,94 juta ton $CO_2$ pada tahun tersebut.

Menurut (Yuniar dan Wangsaputra, 2018), untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan salah satu aspek penting dalam manajemen persediaan adalah menentukan ukuran pemesanan (*lot size*) dan jumlah produksi yang tepat. Dalam sistem manajemen persediaan konvensional, produsen dan pembeli umumnya melakukan perhitungan persediaan secara terpisah. Produsen menentukan ukuran *lot* produksi yang optimal berdasarkan kebutuhannya sendiri, sementara pembeli menetapkan jumlah pemesanan terbaik sesuai dengan kebutuhan mereka. Akibatnya, ukuran EOQ (*Economic Order Quantity*) yang dihitung oleh pemanufaktur seringkali berbeda dari EOQ yang dihitung pembeli (Yamit, 1999). (Khotimah dan Dahda, 2021) menegaskan bahwa ketersediaan persediaan berperan penting dalam menentukan keberhasilan suatu bisnis. Oleh sebab itu, diperlukan pengelolaan persediaan yang terintegrasi guna meminimalkan risiko kekurangan stok (*stockout*) maupun kelebihan stok (*overstock*).

Model *Joint Economic Lot size* (JELS) pertama kali diperkenalkan oleh Goyal pada tahun 1976. Dalam penelitiannya, Goyal menyatakan bahwa dengan menentukan ukuran *lot* yang optimal, biaya dalam rantai pasok dapat ditekan secara signifikan. Model ini kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Banerjee pada tahun 1986 menjadi sistem integrasi antara pemasok dan pembeli, di mana produsen menerapkan metode *lot-for-lot* untuk memenuhi permintaan pembeli. Pendekatan ini memberikan solusi yang memungkinkan pengurangan total biaya gabungan dari kedua pihak yang terlibat dalam pengelolaan persediaan. Tujuan utama dari model optimasi rantai pasok ini adalah meminimalkan *Joint Total Cost* (JTC) atau biaya total gabungan. Selanjutnya, pada tahun 1988, Goyal menyempurnakan model ini dengan asumsi bahwa pengiriman dilakukan setelah proses produksi selesai.

Model pengendalian persediaan seperti *Joint Economic Lot size* (JELS) telah banyak dikaji dalam berbagai penelitian sebelumnya. Model ini terbukti mampu memberikan penghematan signifikan pada total biaya persediaan gabungan dibandingkan dengan model persediaan yang dilakukan secara independen dan tanpa adanya koordinasi antara anggota rantai pasok. Pada model persediaan independen, keuntungan biasanya hanya dirasakan oleh salah satu pihak, misalnya pembeli, sementara pihak lain, seperti pemasok, sering kali tidak diperhitungkan. Akibatnya, biaya persediaan yang ditanggung oleh pemasok menjadi lebih tinggi, yang pada akhirnya meningkatkan total biaya gabungan. Penelitian sebelumnya oleh (Ouyang et al, 2004) menunjukkan bahwa model integrasi lebih efisien dibandingkan model tanpa integrasi. Total biaya pada model tanpa integrasi tercatat sebesar $6.725,9 per tahun, sedangkan total biaya dengan integrasi adalah $6.660,4 per tahun, menghasilkan penghematan sebesar $65,5 per

tahun atau sekitar 0,97%. Selain itu, (Pujawan, 2005) melaporkan bahwa integrasi dalam sistem persediaan mampu memberikan penghematan hingga 11,14% dibandingkan model tanpa integrasi. Oleh karena itu, pendekatan integrasi seperti JELS menjadi sangat penting untuk mengoptimalkan kepentingan semua pihak dalam rantai pasok, yaitu vendor dan *buyer*. Dengan model JELS, vendor dapat mengoptimalkan ukuran *lot* produksi mereka, sementara *buyer* dapat menentukan ukuran *lot* pemesanan yang optimal. Pendekatan ini memastikan total biaya gabungan dapat diminimalkan.

Dari model JELS tersebut peneliti meminimasi biaya dengan menentukan *Economic Order quantity* yang merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menghitung nilai persediaan bahan baku yang dibutuhkan dengan biaya persediaan (penyimpanan dan pengawasan) seminimum mungkin agar operasional perusahaan dapat berjalan tanpa ada jeda atau penundaan (Bastomi, 2023). *Reorder Point* atau titik pemesanan ulang merupakan titik dimana suatu persediaan menyentuh jumlah tertentu sehingga harus dilakukan pemesanaan ulang (Alfaridz, A. M., & Suseno, S., 2024). Perhitungan *Reorder Point* (ROP) dan *Economic Order quantity* (EOQ) dapat mengurangi risiko terjadinya kekurangan stok dan kelebihan stok, sehingga kegiatan operasional perusahaan dapat berjalan dengan lebih efisien (Djalamang, 2021). Kedua hal ini seringkali digunakan oleh pengusaha untuk mengatur persediaan mereka sehingga lebih efektif dan efisien terutama dari segi biaya.

Biaya yang dikeluarkan dalam setiap proses pengadaan suatu barang disebut dengan biaya pengadaan barang. Menurut (Bahagia, 2006), biaya pengadaan (*procurement cost*) terbagi menjadi 2 bagian, yaitu: biaya pemesanan (*order cost*) dan biaya persiapan (*set-up cost*). Biaya pesan adalah semua pengeluaran yang ditimbulkan untuk mendatangkan barang dari luar. Biaya ini meliputi: biaya penentuan pemasok, biaya pemeriksaan persediaan sebelum dilakukan pemesanan, dan lain-lain. Biaya *set-up* adalah biaya yang dikeluarkan untuk setiap kali memulai persiapan produksi barang. Dalam upaya penurunan total biaya persediaan, pemasok dapat mereduksi atau menurunkan biaya *set-up* dan pembeli dapat menurunkan biaya pesan. Total biaya produksi yang akan digunakan pada penelitian ini terdapat biaya *lost sales* pembeli, biaya persediaan pembeli, biaya pemesanan ke pemasok, biaya pemesanan ke pembeli, biaya persediaan pemasok, biaya *se-tup*, biaya dan biaya emisi karbon. Sehingga, sistem rantai pasok yang diteliti harus mampu mengoptimasi jumlah produk yang mengalir dari rantai hulu sampai kepada konsumen akhir dengan memperhatikan jejak karbon yang dihasilkan.

Supaya rantai pasok bisa berjalan lebih efisien, penting bagi *buyer* dan vendor sama-sama

tahu berapa total biaya yang mereka keluarkan. Kalau salah satu pihak tidak tau detail biayanya, maka akan sulit untuk mencari tahu bagian mana yang bisa diperbaiki agar lebih hemat. Akibatnya, upaya untuk melakukan perbaikan atau penghematan juga jadi tidak maksimal. Dengan mengetahui total biaya secara keseluruhan dari kedua pihak, perusahaan bisa membuat keputusan yang lebih tepat. Karena itu, dalam penelitian ini dibangun model yang bisa menghitung total biaya *buyer* dan vendor secara terintegrasi, supaya bisa dilihat seberapa besar penghematan biaya yang bisa dicapai.

Optimasi pada rantai pasok ini sangat kompleks karena melibatkan produksi terhadap 5 jenis produk yang akan dikirim dari rantai hulu sampai ke konsumen dengan memperhatikan emisi karbon dari setiap aktivitas tersebut. Jumlah variabel yang digunakan dalam optimasi ini juga sangat banyak. Dalam penelitian ini, metode optimasi yang akan digunakan yaitu *Algoritm Evolutionary* yaity sebuah algoritma yang digunakan dalam pencarian solusi dari model optimasi yang telah dibangun. Dalam *algoritm evolutionary* terdapat beberapa parameter yang digunakan yaitu probabilitas mutasi, *corssover*, dan jumlah individu di dalam sub polulasi (Indra & Subanar, 2014). Terdapat tiga karakteristik utama dalam penerapan *Evolutionary Algorithm* (Senatra & Widyadana, 2022) yaitu berbasis populasi, berorientasi pada *fitness*, dan digerakkan oleh variasi. Keunggulan metode *algoritm evolutionary* adalah dapat menyelesaikan masalah yang kompleks dalam kurun waktu yang singkat. Yang di mana penelitian ini, emisi karbon juga akan diteliti pada pendistribusian.

Dari permasalahan di atas, fokus dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan sistem rantai pasok dengan mengintegrasi *Type*-1 dan *Type*-2 dengan memperhatikan emisi karbon secara keselurahan dengan metode *algoritm evolutionary* dengan model matematis dalam pendekatan *Joint Economic Lot Size* (JELS) untuk mengoptimalkan *lot size* pada pembeli dan pemasok sehingga bisa meminimasi total biaya gabungan dengan memperhatikan emisi karbon.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam rantai pasok, pengambilan keputusan antara pembeli dan pemasok yang tidak terintegrasi dapat menyebabkan tingginya total biaya, seperti biaya pemesanan, persediaan, produksi, lost sales, dan emisi karbon. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan integrasi model Type-1 dan Type-2 dalam model optimasi guna meminimalkan biaya gabungan. Model *Joint Economic Lot Size* (JELS) menjadi pendekatan yang digunakan untuk mengoptimalkan keputusan pemesanan dan produksi secara bersamaan. Berdasarkan hal ini, penelitian ini mengajukan dua pertanyaan utama:

1. Bagaimana menyelesaikan model optimasi terintegrasi antara *Type*-1 dan *Type*-2 pada sistem rantai pasok untuk meminimalkan total biaya gabungan?
2. Berapa total biaya gabungan dari pembeli dan pemasok yang optimal menggunakan model *Joint Economic Lot size* (JELS) ketika di integrasikan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dari penelitian ini:

1. Menyelesaikan model optimasi terintegrasi *Type*-1 dan *Type*-2 dalam sistem rantai pasok.
2. Dapat Mengetahui total biaya gabungan dari pembeli dan pemasok yang optimal menggunakan model *Joint Economic Lot size* (JELS)

## 1.4 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat penelitian bagi peneliti, perguruan tinggi, dan perusahaan dalam penelitian tugas akhir ini:

### 1.4.1 Bagi Peneliti

1. Menambah wawasan dan keterampilan praktis dalam bidang industri tekstil dan batik.
2. Mengasah kemampuan analisis dan pemecahan masalah terkait emisi karbon pada proses produksi dan distribusi produk batik.
3. Memberikan pengalaman langsung dalam menjalankan penelitian lapangan yang berhubungan dengan dunia kerja.

### 1.4.2 Bagi Perguruan Tinggi

1. Menambah kontribusi akademik dan penelitian yang relevan untuk industri kreatif, khususnya tekstil dan batik.
2. Memperkuat hubungan kerja sama dengan perusahaan tekstil untuk mendukung program magang dan penelitian lanjutan.
3. Menjadi sumber data dan referensi untuk penelitian terkait industri tekstil dan batik di masa mendatang.

1.4.3 Bagi Perusahaan

1. Mendapatkan solusi atau saran perbaikan dari hasil penelitian untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi.
2. Membangun kerja sama dengan perguruan tinggi untuk riset dan pengembangan produk.
3. Memperoleh perspektif baru dari akademisi yang dapat digunakan untuk inovasi produk dan strategi pemasaran.

## 1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan dalam penelitian ini:

1. Penelitian ini dilakukan hanya untuk satu studi kasus yaitu UMKM Batik X Yogyakarta.
2. Penelitian hanya mempertimbangkan dua *eselon* dalam rantai pasok yaitu pemasok tunggal dan terdiri dari 5 pembeli.
3. Model optimasi dibangun dengan asumsi permintaan bersifat probabilistik.
4. Data yang digunakan berupa data sekunder dari penelitian sebelumnya.
5. Emisi karbon dalam penelitian ini hanya mencakup pada produksi dan distribusi.

## 1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika penelitian dalam laporan penelitian umumnya mencakup beberapa bab utama untuk menguraikan proses dan hasil penelitian secara terstruktur. Berikut penjelasan singkat tiap bagiannya:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai pendahuluan penelitian yang terdiri dari latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan masalah untuk mengungkapkan permasalahan pada obyek yang diteliti, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian, manfaat yang didapat dari penelitian, dan sistematika penulisan tesis. Berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian dan sistematika penelitian. Bagian ini menjelaskan alasan dan tujuan utama dari penelitian yang dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan diuraikan tentang kajian induktif dan deduktif terkait dengan kajian yang akan dilakukan, kajian induktif adalah kajian yang diperoleh dari hasil-hasil penelitian terdahulu. Sedangkan kajian deduktif adalah kajian terkait dengan landasan teori untuk memperoleh informasi dan gap penelitian terhadap metode yang digunakan. Membahas landasan teori yang mendukung penelitian, termasuk hasil-hasil penelitian sebelumnya, konsep-konsep penting, dan hipotesis yang relevan. Ini bertujuan untuk memberikan pemahaman teori yang menjadi dasar penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini akan diuraikan dan dijelaskan tentang konsep penelitian, mulai dari jenis penelitian, objek penelitian, metode yang digunakan, teknik yang dilakukan, model yang dipakai, pembangunan dan pengembangan model, bahan atau materi, data yang diperlukan, alat yang digunakan dalam pengambilan data, serta cara simulasi dan analisis yang dipakai. Menjelaskan pendekatan, desain, teknik pengumpulan data, dan analisis data yang digunakan. Bagian ini memastikan penelitian dapat direplikasi atau dipahami secara metodologis.

BAB IV PENGUMPALAN DAN PENGOLAHAN DATA

berisi penjelasan mengenai proses pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian, mencakup metode, teknik, dan instrumen yang digunakan untuk memperoleh data yang valid dan relevan. Di sini dijelaskan bagaimana data dikumpulkan dari objek penelitian, apakah melalui observasi, wawancara, kuesioner, atau metode lainnya. Selain itu, dijelaskan pula proses pengolahan data, yang meliputi langkah-langkah pengolahan dari data mentah menjadi informasi yang dapat diinterpretasikan, seperti analisis statistik atau teknik analisis lainnya yang sesuai dengan tujuan penelitian.

BAB V PEMBAHASAN

merupakan bagian di mana hasil penelitian yang telah diolah dianalisis dan dijelaskan lebih lanjut. Pada bagian ini, hasil-hasil tersebut dikaitkan dengan teori yang ada serta penelitian sebelumnya untuk memberikan penjelasan yang mendalam. Pembahasan ini juga mencakup interpretasi data, alasan di balik temuan, serta implikasi hasil penelitian terhadap permasalahan yang telah dirumuskan. Bagian ini membantu memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap hasil yang diperoleh dan memastikan bahwa temuan penelitian dapat menjawab rumusan masalah.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

menyajikan ringkasan dari temuan utama penelitian sebagai jawaban atas rumusan masalah. Kesimpulan ditarik berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, memberikan pemahaman akhir mengenai kontribusi penelitian terhadap ilmu atau praktik di lapangan. Selain kesimpulan, bagian ini juga berisi Saran, yang mencakup rekomendasi untuk penelitian di masa mendatang atau saran praktis untuk pihak-pihak yang berkepentingan, seperti perusahaan, masyarakat, atau akademisi. Saran ini bertujuan untuk memberikan arahan tentang tindakan yang dapat diambil berdasarkan temuan penelitian atau menginspirasi penelitian lanjutan untuk mendalami topik yang relevan.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Kajian Literatur

Kajian literatur dalam penelitian ini bertujuan untuk memberikan landasan teoretis yang kuat serta menggambarkan perkembangan penelitian terkait topik yang dibahas. Dalam kajian ini, akan diuraikan konsep, teori, dan hasil penelitian sebelumnya yang relevan untuk membangun kerangka pemikiran penelitian serta mengidentifikasi kesenjangan atau permasalahan yang belum terjawab. Dengan demikian, kajian literatur ini diharapkan dapat mengarahkan penelitian ini menuju pencapaian tujuan yang lebih jelas, dengan pendekatan yang didasarkan pada referensi yang valid dan relevan.

Pada penelitian yang berjudul "***Supply Chain Optimization Model for Fresh Cow's Milk to Reduce Carbon Emissions and Food Waste***" yang dilakukan oleh (Nofariza Aulia Jeremi, 2023). Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rantai pasok susu sapi segar di Jawa Barat dengan fokus pada pengurangan emisi karbon dan *food waste* dalam proses distribusinya. Mengingat tingginya permintaan makanan yang berpotensi meningkatkan emisi karbon dan limbah, penelitian ini menggunakan model *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) untuk mengoptimalkan tiga aspek utama: total biaya, *food waste*, dan emisi karbon. Data dikumpulkan melalui wawancara dengan praktisi industri susu dan diolah menggunakan *software* LINGO 17.0 untuk memperoleh solusi optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total biaya yang optimal adalah Rp18.036.770.000, *food waste* sebesar 21.734 liter, dan emisi karbon sebesar 109.526 liter setara $CO_2$, dengan biaya terbesar berasal dari produksi dan pengemasan susu serta emisi karbon terbesar dari pendinginan produk. Analisis sensitivitas mengungkapkan bahwa peningkatan suhu penyimpanan berdampak signifikan pada peningkatan total biaya dan *food waste.*

Pada penelitian yang berjudul **"Pengembangan Aplikasi Manajemen Total Biaya Gabungan dan Jumlah (*lot*) Produksi Antara Produsen dan Konsumen Menggunakan Model *Joint Economic Lot size* (JELS) pada Industri Mikro Kecil dan Menengah (UMKM)"** yang dilakukan oleh (Surya Darmawan, 2017) membahas penerapan metode JELS untuk meningkatkan efisiensi biaya produksi dan penyimpanan pada UMKM makanan olahan, khususnya produksi bakpia. Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan

(R&D) yang melibatkan observasi, wawancara dengan pemilik pabrik, dan studi literatur untuk memahami konsep JELS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode JELS mampu menghitung jumlah produksi ideal (*lot size*) yang meminimalkan total biaya gabungan antara produsen dan konsumen. Tujuan dari penggunakan JELS adalah untuk mencari nilai optimal dari jumlah produksi oleh produsen dan jumlah pembelian oleh konsumen, nilai optimal ini dapat mengurangi biaya penyimpanan di dalam gudang, biaya distribusi, maupun biasa pemesanan. Model *Joint Economic Lot size* (JELS) dapat dikatakan sebagai model integrasi antara vendor dan *buyer*, model ini meminimasi biaya keseluruhan dari dua *eselon* sistem inventori yang terdiri dari *supplier* tunggal dan satu atau lebih *customer*.

Pada penelitian yang berjudul "**Model *Joint Economic Lot size* Pada Kasus Pemasok-Pembeli Dengan Permintaan Probabilistik**" yang dilakukan oleh (Jauhari W. A., 2009), mengembangkan model *Joint Economic Lot size* (JELS) untuk sistem pemasok-pembeli dengan permintaan probabilistik. Pembahasan dalam jurnal mencakup pengembangan model matematis dan algoritma untuk menemukan solusi optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan model integrasi antara pemasok dan pembeli dapat secara signifikan menurunkan total biaya gabungan dibandingkan dengan model independen, dengan perbedaan biaya mencapai lebih dari Rp 400 ribu.

Pada penelitian yang berjudul **"Pengendalian Biaya Persediaan Terintegrasi Antara Supplier dan *Buyer* Dengan Menggunakan Metode JELS (*Joint Economic Lot size*) (Studi Kasus: Gudang Distributor CV. Berkat Mulia)"** yang dilakukan oleh (Hutabarat, 2017). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebelum integrasi, supplier menggunakan metode EOQ dengan total biaya persediaan sebesar Rp 1.949.178.707, sementara *buyer* menggunakan metode periodik dengan biaya Rp 1.923.207.603. Perbedaan kebijakan ini menyebabkan total biaya yang tinggi. Setelah diterapkan metode JELS (*Joint Economic Lot size*), ukuran *lot* pemesanan disamakan menjadi 392 unit dengan frekuensi 17 kali per tahun, serta penambahan safety stock dan *Reorder Point* di pihak *buyer*. Hasilnya, total biaya persediaan turun drastis menjadi Rp 36.895.840, menghasilkan penghematan sebesar Rp 33.493.421 atau 47,58%. Metode JELS terbukti efektif dalam mengintegrasikan pengendalian persediaan dan menekan biaya secara signifikan.

Pada penelitian berjudul "**Pengendalian Persediaan Produk Obat Herbal pada Permintaan Probabilistik Menggunakan *Joint Economic Lot size***" yang dilakukan oleh (Heryanto, 2019) ) Penelitian ini membahas pengendalian persediaan antara manufaktur dan

distributor pada sebuah perusahaan obat herbal yang sebelumnya berjalan tanpa koordinasi, sehingga menyebabkan tingginya total biaya persediaan, yakni sebesar Rp 5.500.371.476 per bulan. Manufaktur menggunakan metode EPQ (Economic Production Quantity), sedangkan distributor menggunakan metode periodik (P). Ketidaksesuaian *lot* produksi dan pemesanan menyebabkan biaya simpan dan backorder meningkat. Peneliti kemudian mengusulkan metode *Joint Economic Lot size* (JELS) untuk mengintegrasikan pengendalian persediaan kedua *eselon*. Setelah dilakukan perhitungan dengan metode JELS, diperoleh ukuran *lot* optimal dan total biaya persediaan turun menjadi Rp 4.604.766.665 per bulan. Dengan demikian, terjadi penghematan sebesar Rp 895.604.811 atau 16,28%. Penurunan ini terutama disebabkan oleh penyesuaian frekuensi pemesanan, ukuran *lot*, dan koordinasi antara manufaktur dan distributor. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan metode JELS efektif untuk menurunkan total biaya dan menciptakan rantai pasok yang lebih efisien.

Pada penelitian berjudul "***Determination of Joint Lot size using the Supply Chain Approach with Vendor Managed Inventory (VMI) Method at* PT. XYZ**" yang dilakukan oleh (A. A. Nasution et al, 2020). Penelitian ini bertujuan menentukan ukuran *lot* gabungan yang optimal sekaligus meningkatkan sistem rantai pasok perusahaan. Subjek penelitian adalah perusahaan XYZ yang memproduksi makanan hewan, berlokasi di Medan, Sumatera Utara. Metode yang digunakan mencakup perhitungan JELS untuk menentukan ukuran *lot* gabungan yang optimal, serta penerapan VMI (*vendor managed Inventory* ) untuk membangun integrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan JELS menghasilkan total biaya optimal sebesar Rp4.548.249.599, dengan jumlah pengiriman sebanyak 8.692 kantong. Jadwal pengiriman produk jadi kepada pelanggan dilakukan 50 kali, sementara frekuensi pemesanan bahan baku mencapai 13 kali. Metode ini memberikan penghematan biaya sebesar Rp1.239.128.918 dibandingkan kondisi awal sebelum penerapan JELS.

Pada penelitian yang berjudul **"Optimasi Sistem Rantai Pasok Multi-*Eselon* Dengan Permintaan Probabilistik Menggunakan Pendekatan Teori Permainan Stackelberg dan Algoritma Evolusi"** yang dilakukan oleh (Pristiwaji, 2023). Penelitian ini bertujuan mengembangkan model optimasi rantai pasok berbasis teori permainan *stackelberg* untuk mengatasi masalah koordinasi antara pemasok utama dan sampingan dalam memenuhi permintaan konsumen yang stokastik. Model optimasi ini dirancang menggunakan pendekatan *Joint Economic Lot size* (JELS) untuk meminimalkan biaya total (*Joint Total Cost*), yang mencakup biaya pemesanan, penyimpanan, dan kekurangan persediaan di seluruh mata rantai.

Algoritma evolusi digunakan untuk menyelesaikan optimasi dengan memanfaatkan data biaya, permintaan, dan distribusi probabilitas dari pembeli. Hasil simulasi menunjukkan pentingnya pengelolaan *Inventory* awal dan proporsi pemenuhan oleh pemasok untuk mengurangi biaya total, dengan saran memperhatikan *lead time* probabilistik dan implementasi sistem inventori berbasis *Vendor-Managed Inventory* (VMI) untuk meningkatkan efisiensi rantai pasok.

Pada penelitian yang berjudul **"Menentukan Ukuran Pemesanan Gabungan Dengan *Join Economic Lot size* (JELS) Untuk Meminimalkan Total Biaya Gabungan Pada Pemasok, Produsen, dan Pembeli"** yang dilakukan oleh (Ramadhan, 2019). Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis penerapan metode *Joint Economic Lot size* (JELS) untuk mengoptimalkan ukuran pemesanan bahan baku, produksi, dan distribusi produk, sehingga dapat meminimalkan biaya total yang melibatkan pemasok, produsen, dan pembeli. Pembahasannya mencakup perhitungan biaya produksi, nilai tambah, ukuran pemesanan ekonomis, waktu siklus, serta analisis sensitivitas terkait biaya dan kebutuhan harian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan metode JELS, ketiga pihak dapat mengurangi biaya produksi dan logistik secara keseluruhan, meningkatkan efisiensi operasional, dan membangun sinergi yang lebih baik dalam proses kerja sama.

Pada penelitian yang berjudul **"Evaluasi Kebijakan Strategi Bisnis Menggunakan *Model Joint Economic Lot size* (JELS) Dengan Permintaan Probabilistik (Studi Kasus di PT. Semarang Autocomp Manufacturing Indonesia)"** (Ary Arvianto, 2010). Tujuan penelitian tersebut adalah untuk menganalisis manajemen persediaan dan perbandingan biaya antara dua perusahaan, PT.SAMI dan PT.PASI, dengan menggunakan model *Joint Economic Lot size* (JELS) untuk mengoptimalkan ukuran *lot* pemesanan dan *batch* produksi, serta mengurangi biaya persediaan. Pembahasan mencakup perhitungan distribusi normal, iterasi untuk menentukan nilai optimal, penghitungan total biaya gabungan, uji konveksitas, serta analisis biaya persediaan yang menunjukkan bahwa penerapan model JELS dapat mengurangi biaya secara signifikan dan meningkatkan efisiensi dalam manajemen rantai pasokan antara kedua perusahaan.

Pada penelitian yang berjudul "**Optimasi Ukuran *Lot* Pada Sistem Rantai Pasok Multi *eselon* Dengan *Reactive lateral transshipment***" (Ichsan Dio Rinaldi, 2019). Bertujuan untuk mengoptimalkan ukuran *lot* dalam sistem rantai pasok multi *eselon* yang melibatkan satu pemasok (UMKM Batik X Yogyakarta) dan lima pembeli dengan mempertimbangkan kondisi permintaan yang stokastik serta kemungkinan terjadinya produk cacat. Model yang digunakan

adalah *Joint Economic Lot size* (JELS) yang diperluas dengan mekanisme *reactive lateral transshipment*, yaitu kemampuan pembeli untuk saling memesan produk satu sama lain dalam kondisi darurat ketika stok habis. Dalam pengolahan data, digunakan dua pendekatan model, yaitu model tanpa koordinasi (di mana pemasok dan pembeli melakukan optimasi secara mandiri) dan model dengan koordinasi (di mana optimasi dilakukan secara terintegrasi antara pemasok dan seluruh pembeli). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model dengan koordinasi menghasilkan total biaya gabungan sebesar Rp1.232.404.600, sedangkan model tanpa koordinasi mencapai Rp1.280.191.700. Artinya, model terkoordinasi memberikan efisiensi biaya sebesar Rp47.787.100 atau sekitar 14,37%. Pembahasan hasil menunjukkan bahwa koordinasi dalam rantai pasok memungkinkan seluruh pihak untuk membuat keputusan yang lebih tepat terkait jumlah produksi, frekuensi pemesanan, dan pemesanan antar pembeli. Selain itu, pendekatan ini mampu mengurangi terjadinya kekurangan stok serta menekan biaya persediaan secara keseluruhan. Secara keseluruhan, penerapan model JELS dengan koordinasi dan transshipment terbukti mampu meningkatkan efisiensi operasional dan menjadi solusi strategis dalam pengelolaan persediaan UMKM batik.

Pada penelitian yang berjudul "**Pembangunan Model Optimasi Sistem Rantai Pasok Produk Batik Dengan Mempertimbangan Jejak Karbon**" (Ardita Maharani Handoko, 2024) . Penelitian ini membangun model optimasi rantai pasok produk batik dengan mempertimbangkan emisi karbon sebagai bagian dari total biaya gabungan antara pemasok dan pembeli. Menggunakan model *Joint Economic Lot size* (JIELS) dan Algoritma Genetika, penelitian membandingkan dua skenario: tanpa koordinasi dan dengan koordinasi antara pemasok dan lima pembeli. Hasilnya menunjukkan bahwa model dengan koordinasi menghasilkan total biaya yang lebih rendah, yaitu Rp1.024.124.825 dibandingkan Rp1.030.635.320 pada model tanpa koordinasi. Artinya, terdapat penghematan sebesar Rp6.510.495 (sekitar 1,10%). Penelitian ini menegaskan bahwa koordinasi dalam sistem rantai pasok dan perhatian terhadap emisi karbon dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan.

Pada penelitian yang berjudul "**Implementasi *Joint Economic Lot-Sizing* Guna Mengoptimalkan Total Biaya *Buyer* Dan *Vendor***" yang dilakukan oleh (Rifai, 2018). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan model *Joint Economic Lot-Sizing* (JELS) dalam mengoptimalkan ukuran *lot* antara *buyer* dan *vendor*, serta untuk menentukan ukuran *lot* gabungan, menghitung jumlah pengiriman, dan mengevaluasi sistem persediaan. Pembahasan dalam penelitian ini mencakup manfaat dari penerapan model tersebut, seperti negosiasi ukuran

*lot* yang lebih baik dan pengurangan biaya persediaan, yang dapat menghasilkan harga produk yang lebih kompetitif.

Pada penelitian yang berjudul "***Supply Chain coordination for the joint determination of order quantity and Reorder Point using credit option***" yang dilakukan oleh (S. Kamal Chaharsooghi, 2009) Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model koordinasi dalam rantai pasok yang secara simultan menentukan *order quantity* dan *reorder point*, dengan menggunakan skema insentif berupa opsi kredit. Model ini dirancang untuk meningkatkan profitabilitas seluruh rantai pasok melalui keputusan yang terkoordinasi, sambil mempertimbangkan ketidakpastian permintaan dan waktu pemenuhan. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa koordinasi dalam menentukan titik pemesanan ulang dan kuantitas pemesanan dapat meningkatkan profitabilitas baik untuk setiap anggota rantai pasok maupun secara keseluruhan, dibandingkan dengan pengambilan keputusan secara terpisah.

Pada penelitian yang berjudul "**Model Penentuan Ukuran *Lot* Gabungan Dalam Sistem Rantai Pasok *Single Vendor-Multi Buyer* Dengan *Reactive lateral transshipment***" yang dilakukan oleh (Kusumawardhani, 2022). Menunjukkan bahwa penerapan model JELS dengan mempertimbangkan *reactive lateral transshipment* mampu menurunkan total biaya gabungan dari Rp1.170.316.700 menjadi Rp1.154.828.600, sehingga diperoleh penghematan sebesar Rp15.488.100 atau 1,32%.

Pada penelitian yang berjudul "***Analysis of an Economic Order quantity and Reorder Point Inventory Control Model for Company* XYZ**" yang dilakukan oleh (Jose L. Gonzalez, 2010). Tujuan penelitian dalam jurnal ini adalah untuk merekomendasikan model pengendalian persediaan berbasis *Economic Order quantity* (EOQ) dan *Reorder Point* (ROP) untuk perusahaan XYZ. Model ini bertujuan mengatasi masalah kekurangan stok akibat metode peramalan yang kurang efektif dan mengurangi total biaya inventaris perusahaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan model yang direkomendasikan dapat mengurangi biaya total inventaris hingga 61%, dari $13.654 menjadi $5.366 per kuartal, dengan penghematan sekitar $8.300. Model ini tidak hanya meningkatkan akurasi peramalan tetapi juga memastikan stok mencukupi untuk memenuhi permintaan pelanggan dan meningkatkan daya saing perusahaan.

Pada penelitian yang berjudul "**Penerapan *Algoritma evolutionary dan Nearest Neighbor* untuk Optimasi Rute Distribusi**" yang dilakukan oleh (Rika Sri Utami, 2024). Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan rute distribusi barang dari gudang ke 9 retail dengan

membandingkan dua metode: *algoritma evolutionary* dan nearest neighbor. Permasalahan awal adalah penentuan rute distribusi masih berdasarkan intuisi pengemudi, sehingga menghasilkan biaya dan waktu tempuh yang tidak efisien. Dengan menggunakan *algoritma evolutionary*, diperoleh rute distribusi terpendek sejauh 54,5 kilometer melalui urutan: warehouse-2-1-5-9-4-6-7-3-8-warehouse. Sedangkan metode nearest neighbor menghasilkan rute dengan jarak 55 kilometer, hanya selisih 0,5 kilometer. Hal ini menunjukkan bahwa *algoritma evolutionary* lebih optimal karena mampu mengeksplorasi banyak kemungkinan kombinasi rute untuk menemukan solusi global terbaik. Hasil ini juga berpotensi menghemat konsumsi bahan bakar dan waktu tempuh distribusi. Penelitian menyimpulkan bahwa *algoritma evolutionary* lebih unggul dalam meminimalkan jarak distribusi dibandingkan metode konvensional seperti *nearest neighbor*.

Pada penelitian yang berjudul "**Menentukan Rute Kendaraan PT. Sarana Cahaya Makmur Metode *Algoritma Ant Colony Optimization***" yang dilakukan oleh (Guardio Eraniola, 2021). Penelitian ini menggunakan *algoritma Ant Colony Optimization* (ACO) untuk menentukan rute distribusi terbaik agar sopir dapat menyelesaikan pengiriman tepat waktu. Sebelumnya, rute pengiriman dilakukan secara manual dan menyebabkan keterlambatan, dengan jarak tempuh 67,5 km dan waktu kembali ke gudang pukul 15:28. Setelah diterapkan ACO, rute optimal ditemukan dengan total jarak 47,1 km, memungkinkan sopir kembali pukul 14:40, lebih cepat dan efisien. Hasil ini menunjukkan bahwa ACO mampu meminimalkan jarak dan waktu pengiriman secara signifikan, sehingga meningkatkan efisiensi distribusi perusahaan.

Pada penelitian yang berjudul "**Optimasi Rute Distribusi Dengan Penyelesaian Vehicle Routing Problem Menggunakan *Algoritma Sweepp* Pada PT. XYZ di Pontianak**" yang dilakukan oleh (Arnila Rozalina, 2020). Menunjukkan bahwa penerapan *algoritma Sweep* dan *Nearest Neighbour* berhasil mengoptimalkan rute distribusi PD. XYZ dari 7 rute menjadi 5 rute, dengan penghematan jarak tempuh sebesar 78,38 km (23,21%), waktu distribusi berkurang 89,4 menit, dan biaya distribusi turun sebesar Rp 45.043,92 (22,83%). Tabel 2.1 adalah kajian teoritis pada penelitian ini untuk membedakan penelitian terdahulu dan penelitian yang sekarang.

Tabel 2. 1 Kajian Teoritis

| No. | Peneliti | Model | Pola Permintaan | Struktur *Supply Chain* | Total Cost | Rute Optimal Distribusi | Mempertimbangkan Emisi Karbon | *Algoritma evolutionary* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | (Surya Darmawan, 2017) | JELS | Deterministik | *Single Vendor-Multi buyer* | √ | - | - | - |
| 2. | (Jauhari W. A., 2009) | JELS | Probabilistik | *Single vendor-Single buyer* | √ | - | - | - |
| 3. | (Hutabarat, 2017) | JELS EOQ | Deterministik | *Supplier-buyer* | √ | - | - | - |
| 4. | (Heryanto, 2019) | JELS | Stokastik dan Probabilistik | *Supplier-buyer* | √ | - | - | - |
| 5. | A. A. Nasution et al. (2020). | JELS | Deterministik | *Supplier-manufacturer-buyer* | √ | - | - | - |
| 6. | (Nofariza Aulia Jeremi, 2023 | MILP | Probabilistik | *Multi Vendor-Multi buyer* | √ | - | √ | - |

| No. | Peneliti | Model | Pola Permintaan | Struktur *Supply Chain* | Total Cost | Rute Optimal Distribusi | Mempertimbangkan Emisi Karbon | *Algoritma evolutionary* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7. | (Ardita Maharani Handoko, 2024) | JELS | Probabilistik | *Single Vendor-Multi buyer* | √ | - | √ | √ |
| 9. | (Pristiwaji, 2023) | JELS | Stokastik | *Multi Vendor-Multi buyer* | √ | - | - | √ |
| 10. | (Ary Arviantoo, 2010). | JELS | Probabilistik | *Single Vendor-Multi buyer* | √ | - | - | - |
| 11. | (Ichsan Dio Rinaldi, 2019) | JELS | Stokastik | *multi eselon* | √ | - | - | - |
| 12. | (Rika Sri Utami, 2024) | - | - | - | - | √ | - | √ |
| 13. | (Guardio Eraniola, 2021 | - | - | - | - | √ | - | - |

| No. | Peneliti | Model | Pola Permintaan | Struktur *Supply Chain* | Total Cost | Rute Optimal Distribusi | Mempertimbangkan Emisi Karbon | *Algoritma evolutionary* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14. | (S. Kamal Chaharsooghi, 2009) | JELS | Stokastik | *Single vendor-Single buyer* | - | - | - | - |
| 15. | (Arnila Rozalina, 2020) | - | - | - | - | √ | - | - |
| 16. | (Kusumawardhani, 2022) | JELS | Probabilistik | *Single Vendor-Multi buyer* | √ | - | - | √ |

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Emisi Karbon

Menurut (U.S Environmental Protection Agency, 2013) $CO_2e$ (carbon dioxide equivalent) adalah sebuah matriks yang mengonversi berbagai jenis Gas Rumah Kaca (GRK) ke dalam satuan yang setara dengan karbon dioksida ($CO_2$) berdasarkan potensi pemanasan global (Global Warming Potential/GWP) masing-masing gas. Istilah ini digunakan untuk menggambarkan dampak total emisi GRK, termasuk karbon dioksida ($CO_2$), nitrogen oksida ($N_2O$), metana ($CH_4$), perfluorokarbon (PFC), hidrofluorokarbon (HFC), dan sulfur heksafluorida ($SF_6$), dalam satu ukuran yang seragam. Besaran emisi GRK dapat dinyatakan dalam $CO_2e$ dengan mengalikan jumlah emisi suatu gas dengan nilai GWP-nya. Misalnya, jika 1 kg sulfur heksafluorida ($SF_6$) dilepaskan ke atmosfer, maka setara dengan 25.200 kg $CO_2e$, karena $SF_6$ memiliki nilai GWP sebesar 25.200. Tabel 2.2.1 menunjukkan nilai GWP dari masing-masing gas.

Tabel 2. 2. 1 Nilai GWP

| Gas Rumah Kaca | Global Warming Potential |
|---|---|
| Karbon dioksida (CO2) | 1 |
| Metana (CH4) | 29,8 |
| Nitro oksida (N2O) | 273 |
| Hidrofluokabon (HFC4) | 5-14.600 |
| Perfluokarbon (PFC3) | 78-12.400 |
| Sulfur heksafluorida (SF6) | 25.200 |

*Sumber : Kyoto Gases (IPCC 2021)*

### 2.2.2 Gas Rumah Kaca

Gas Rumah Kaca (GRK) adalah sekelompok gas di atmosfer bumi yang berperan sebagai pelindung dengan menyerap sinar matahari dan menjaga keseimbangan suhu planet. Namun, jika konsentrasinya meningkat secara berlebihan, gas-gas ini juga dapat memantulkan kembali radiasi inframerah, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap pemanasan global. Akibatnya, perubahan iklim menjadi semakin nyata dengan meningkatnya suhu rata-rata bumi, mencairnya es di kutub, serta perubahan pola cuaca ekstrem yang dapat berdampak pada kehidupan manusia dan ekosistem (Rahmadania, N, 2022). Menurut Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 98 Tahun 2021, Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan gas yang terdapat di atmosfer, baik yang berasal dari proses alami maupun aktivitas manusia (antropogenik), serta memiliki kemampuan untuk menyerap dan memantulkan kembali radiasi inframerah. Keberadaan gas-gas ini dalam jumlah seimbang sangat penting untuk menjaga suhu bumi tetap stabil. Namun, peningkatan emisi GRK akibat aktivitas manusia, seperti industri, transportasi, dan deforestasi, telah menyebabkan efek pemanasan global yang semakin mengkhawatirkan. Oleh karena itu, upaya pengurangan emisi dan penerapan teknologi ramah lingkungan menjadi langkah krusial dalam mengendalikan dampak perubahan iklim.

Protokol Kyoto telah mengidentifikasi enam jenis Gas Rumah Kaca (GRK) yang menjadi fokus utama untuk dikurangi guna mengendalikan perubahan iklim. Keenam gas tersebut meliputi karbon dioksida ($CO_2$), nitrogen oksida ($N_2O$), metana ($CH_4$), perfluorokarbon (PFC), hidrofluorokarbon (HFC), dan sulfur heksafluorida ($SF_6$). Setiap gas ini memiliki dampak berbeda terhadap pemanasan global, dengan beberapa di antaranya memiliki potensi pemanasan jauh lebih tinggi dibandingkan karbon dioksida. Oleh karena itu, berbagai upaya seperti

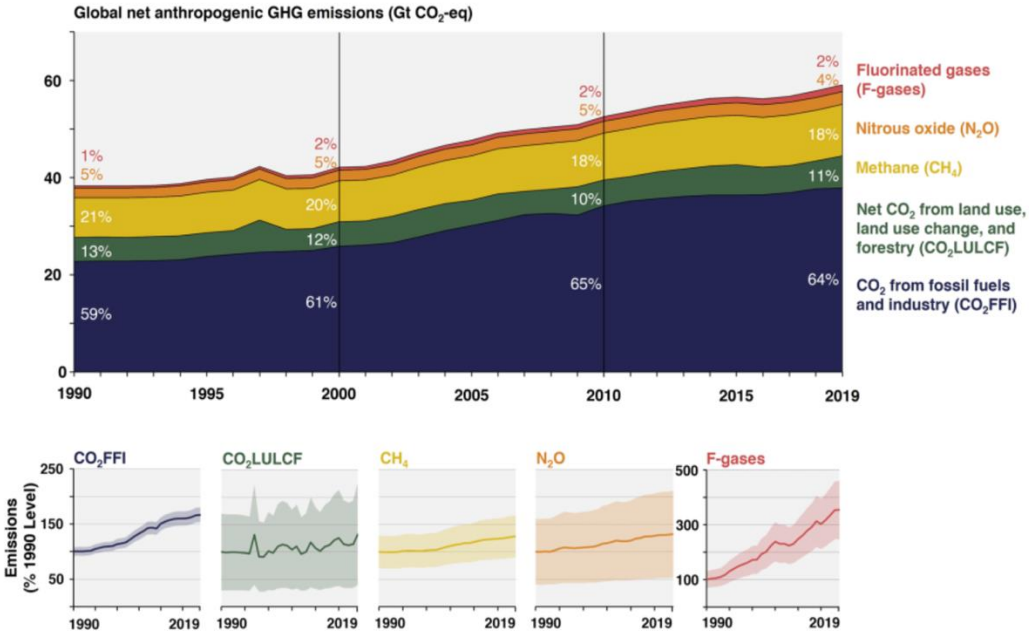
peningkatan efisiensi energi, penggunaan teknologi ramah lingkungan, serta pengembangan energi terbarukan terus dilakukan untuk mengurangi emisi gas-gas ini dan memperlambat laju perubahan iklim global (United Nations, 1998). Kelompok gas ini ditargetkan untuk dikurangi karena dianggap sebagai faktor utama dalam pemanasan global, atau yang lebih dikenal dengan global warming. Konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) yang berlebihan di atmosfer dapat menyebabkan peningkatan suhu bumi secara signifikan, yang berdampak pada perubahan iklim. Selain itu, keberadaan GRK juga sangat memengaruhi keseimbangan ekosistem dan berpotensi membahayakan kesehatan manusia. Oleh karena itu, pengurangan emisi GRK melalui penggunaan energi ramah lingkungan, efisiensi energi, dan pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan menjadi langkah penting dalam menjaga keseimbangan alam dan kesehatan manusia (Manisalidis. I., 2020). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dari Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) merilis laporan berjudul "Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change", yang mengungkapkan bahwa rata-rata emisi Gas Rumah Kaca (GRK) tahunan dari tahun 2010 hingga 2019 mencapai level tertinggi sepanjang sejarah manusia. Selama beberapa dekade terakhir, angka ini terus meningkat dengan rata-rata pertumbuhan 1,3% per tahun (Long, H., & Feng, G., 2024). Di negara-negara berkembang, terdapat korelasi yang kuat antara emisi karbon dioksida ($CO_2$) dan pertumbuhan ekonomi, di mana peningkatan aktivitas industri, urbanisasi, dan konsumsi energi fosil menjadi faktor utama penyebab lonjakan emisi. Hal ini mencerminkan tantangan besar bagi negara-negara tersebut dalam menyeimbangkan pertumbuhan ekonomi dengan keberlanjutan lingkungan.

### 2.2.3 Sumber Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Sumber emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dapat dikategorikan ke dalam dua jenis, yaitu emisi alami (natural) dan emisi akibat aktivitas manusia (antropogenik). Perbedaan utama antara keduanya terletak pada faktor penyebabnya. Emisi alami berasal dari proses alamiah, seperti kebakaran hutan, aktivitas lautan, pelepasan gas dari lapisan es, lahan basah, letusan gunung berapi, serta gempa bumi. Karena sifatnya yang tidak dapat diprediksi secara pasti, emisi jenis ini memerlukan penelitian ilmiah lebih lanjut untuk memahami pola dan dampaknya terhadap perubahan iklim (YUE, 2018).

Sementara itu, emisi antropogenik disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan kegiatan industri (IPCC, 2022). Kontribusi emisi dari sumber antropogenik jauh lebih besar dibandingkan emisi alami, sehingga berbagai upaya pengurangan emisi harus difokuskan pada sektor energi, transportasi, dan penggunaan lahan guna

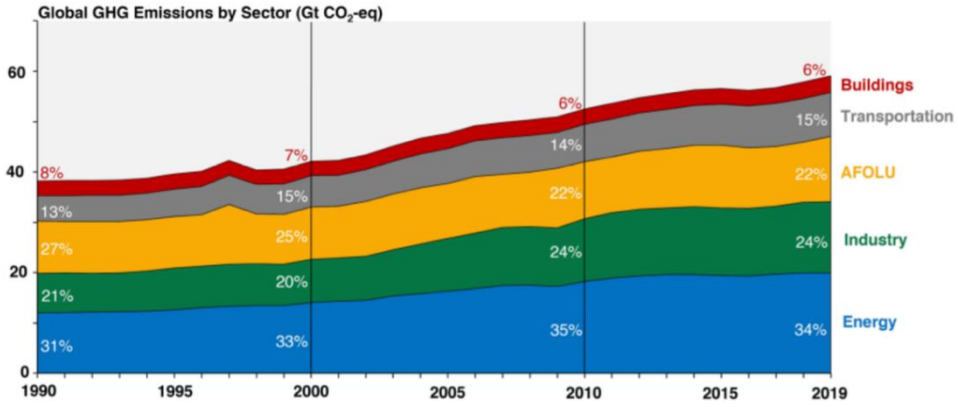
mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Menurut Sixth Assessment Report (AR6) yang dirilis oleh IPCC, diperkirakan bahwa sejak era industri, suhu permukaan bumi telah mengalami kenaikan sebesar 1,4°C akibat peningkatan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) seperti metana ($CH_4$), karbon dioksida ($CO_2$), dan nitrogen oksida ($N_2O$) di atmosfer. Dari total kenaikan tersebut, sekitar 1,1°C secara langsung disebabkan oleh aktivitas manusia, terutama melalui pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan emisi industri (Jones, 2023). Pada Gambar 2.2.1 merupakan tren emisi GRK antropogenik pada tahun 1990-2019.




Gambar 2. 2. 1 Tren emisi GRK antropogenik pada tahun 1990-2019

Sumber: IPCC (2022)

Dari data di atas, dapat disimpulkan bahwa pada tahun 2019, bahan bakar fosil dan aktivitas industri menjadi penyumbang utama emisi Gas Rumah Kaca (GRK), dengan kontribusi sebesar 64% dalam bentuk karbon dioksida ($CO_2$). Laporan IPCC juga mengungkapkan bahwa sektor industri merupakan sumber emisi $CO_2e$ global terbesar kedua di tahun yang sama, setelah sektor energi (IPCC, 2022). Hal tersebut bisa diperhatikan pada Gambar 2.2.2 di bawah ini yang menjelaskan kontribusi setiap sektor terhadap munculnya emisi GRK global.

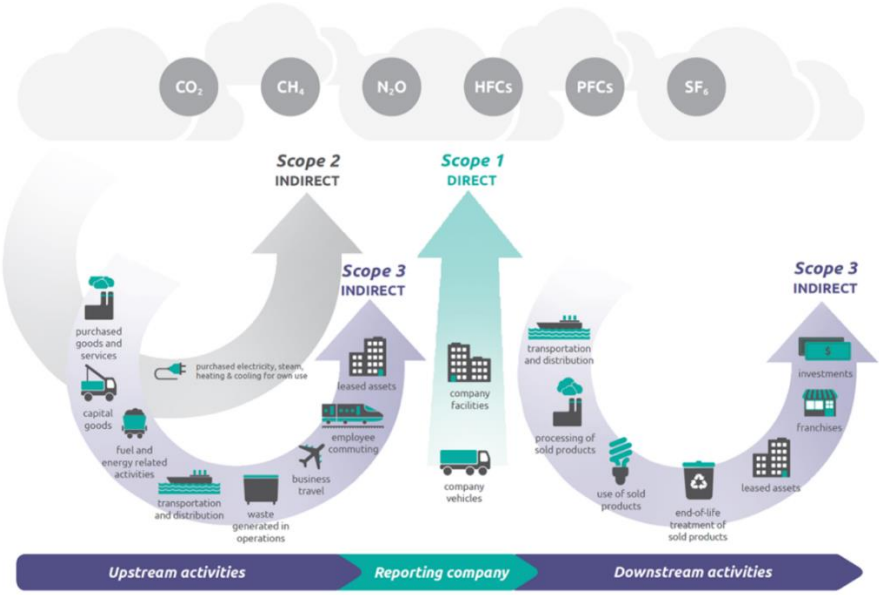



Gambar 2. 2. 2 Kontribusi Setiap Sektor Terhadap Emisi GRK

Sumber: IPCC (2022)

### 2.2.4 *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol)

GHG Protocol berfungsi sebagai standar acuan atau alat yang digunakan untuk menghitung jumlah emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang dihasilkan oleh perusahaan maupun berbagai organisasi, sehingga memungkinkan dilakukannya inventarisasi emisi GRK secara sistematis. Inventarisasi ini mencakup berbagai jenis GRK, termasuk karbon dioksida ($CO_2$), nitrogen oksida ($N_2O$), metana ($CH_4$), perfluorokarbon (PFC), hidrofluorokarbon (HFC), dan sulfur heksafluorida ($SF_6$) ((WBCSD), 2013). Gambar 2.2.2 menunjukkan 3 kriteria batasan atau *scope* yaitu *scope* 1, *scope* 2, dan *scope* 3.




Gambar 2. 2. 3 3 *Scope*

Sumber : EPA (Environmental Protection Agency)

a. *Scope* 1

*Scope* 1 mengacu pada emisi Gas Rumah Kaca (GRK) langsung yang berasal dari sumber yang dimiliki atau dikendalikan oleh suatu perusahaan. Contohnya termasuk emisi dari pembakaran bahan bakar pada tungku, kendaraan operasional, serta produksi kimia yang menggunakan peralatan yang dimiliki dan dikendalikan oleh perusahaan. Sumber emisi ini dapat berasal dari pembakaran langsung bahan bakar fosil seperti gas alam, bahan bakar minyak, propana, dan diesel yang digunakan dalam pembangkit listrik, produksi uap, atau sistem pemanas. Selain itu, emisi dari mesin pendingin akibat kebocoran atau pemeliharaan juga termasuk dalam kategori ini. Meskipun jumlah emisinya relatif kecil, gas pendingin memiliki nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang tinggi, sehingga dampaknya terhadap perubahan iklim cukup signifikan. Selain dari pembangkit energi dan mesin pendingin, *Scope* 1 juga mencakup emisi dari kendaraan, mesin, dan peralatan lain yang digunakan dalam operasional perusahaan. Oleh karena itu, perusahaan perlu menerapkan strategi efisiensi energi dan peralihan ke bahan bakar rendah karbon untuk mengurangi emisi langsung ini secara efektif (Innovation Center for U.S Dairy, 2019).

b. *Scope* 2

*Scope* 2 mengacu pada emisi Gas Rumah Kaca (GRK) tidak langsung yang dihasilkan dari penggunaan energi listrik yang dibeli atau dikonsumsi oleh suatu perusahaan. Emisi ini berasal dari pembangkit listrik yang memasok energi bagi perusahaan, sehingga meskipun perusahaan tidak secara langsung menghasilkan emisi tersebut, penggunaannya tetap berkontribusi terhadap total emisi GRK.

Menurut (GHG Protocol , 2015) energi yang termasuk dalam *Scope* 2 meliputi:

1) Listrik, digunakan secara luas dalam infrastruktur utilitas untuk mengoperasikan mesin, sistem penerangan, serta kendaraan listrik.
2) Uap, dihasilkan dari proses pemanasan air dan umumnya dimanfaatkan dalam berbagai kegiatan industri.
3) Panas, dimanfaatkan dalam bangunan komersial untuk pengaturan suhu serta pemanasan air, dan dalam industri digunakan dalam berbagai proses produksi. Sumber panas ini bisa berasal dari listrik, energi matahari, maupun sistem pembakaran termal seperti boiler atau pembangkit listrik termal.

4) Pendinginan, seperti panas, sistem pendingin juga menggunakan energi listrik untuk mendistribusikan udara atau air yang diperlukan dalam proses pendinginan ruangan maupun peralatan industri.

c. *Scope* 3

*Scope* 3 mencakup emisi Gas Rumah Kaca (GRK) tidak langsung lainnya yang tidak termasuk dalam *Scope* 1 dan *Scope* 2. Emisi ini berasal dari aktivitas yang berhubungan dengan perusahaan, tetapi sumbernya berada di luar kendali langsung perusahaan. Secara umum, *Scope* 3 terbagi menjadi dua kategori, yaitu emisi hulu (upstream) dan emisi hilir (downstream). Emisi hulu mencakup emisi yang dihasilkan dari barang dan jasa yang diperoleh atau dibeli oleh perusahaan, sementara emisi hilir mencakup emisi yang berasal dari barang atau jasa yang dijual oleh perusahaan dan berkontribusi terhadap emisi pihak lain dalam rantai pasokan.

Dalam emisi hulu, terdapat beberapa kategori utama. Kategori 1, barang dan jasa yang dibeli, yang mencakup emisi dari produksi bahan baku dan layanan yang digunakan perusahaan. Kategori kedua, barang modal yaitu emisi dari pembuatan dan pemeliharaan aset seperti mesin dan bangunan. Kategori 3, kegiatan terkait bahan bakar dan energi yang tidak termasuk dalam *Scope* 1 dan 2, seperti ekstraksi dan transportasi energi yang digunakan perusahaan. Kategori 4, transportasi hulu, yakni emisi dari pengangkutan bahan baku sebelum sampai ke perusahaan. Kategori 5, limbah dari operasi, yang mencakup emisi dari pembuangan dan pengelolaan limbah yang dihasilkan selama operasional perusahaan. Kategori 6, perjalanan bisnis, yaitu emisi dari transportasi dan akomodasi karyawan saat melakukan perjalanan dinas. Kategori 7, perjalanan karyawan, yang merujuk pada emisi dari perjalanan harian karyawan ke tempat kerja. Kategori 8, aset sewaan hulu, yaitu emisi yang dihasilkan dari aset yang disewa oleh perusahaan untuk operasionalnya.

Sementara itu, dalam emisi hilir, terdapat beberapa kategori lainnya. Kategori 9, transportasi dan distribusi hilir, yaitu emisi dari pengiriman produk ke pelanggan atau pengecer. Kategori 10, pengolahan produk yang dijual, yaitu emisi yang dihasilkan saat produk perusahaan diproses lebih lanjut oleh pihak lain. Kategori 11, penggunaan produk yang dijual, yaitu emisi yang terjadi selama penggunaan produk oleh pelanggan. Kategori 12, perlakuan akhir masa pakai produk, yang mencakup emisi dari pembuangan, daur ulang, atau pengolahan limbah produk setelah digunakan. Kategori 13, aset sewaan hilir, yaitu emisi dari aset yang disewakan oleh perusahaan kepada pihak lain. Kategori 14, waralaba,

yaitu emisi dari aktivitas bisnis yang dijalankan oleh mitra waralaba perusahaan. Kategori 15, investasi, yaitu emisi yang dihasilkan dari investasi perusahaan dalam berbagai bentuk portofolio keuangan seperti saham dan obligasi.

Pada penelitian ini akan fokus membahas mengenai *scope* 3 – kategori 9 yaitu emisi GRK yang berasal dari downstream trasnsportation and distribution. Downstream merupakan porses disaat barang atau jasa dijual kepasa entitas lainnya. Sementara pada model bisnis Perusahaan Batik X, aktivitas yang termasuk di dalam proses tersebut adalah pengiriman barang atau jasa berupa produk batik kepada para pembeli. Berdasarkan studi yang dilakukan UNFCCC, sektor transportasi pengangkutan barang tercatat sebagai salah satu sektor terbesar dan tercepat dalam penghasil emisi gas rumah kaca (GRK) (Mechouar dkk, 2022).

Sumber emisi dalam kategori ini berasal dari operasional kendaraan yang tidak dimiliki oleh perusahaan pelapor, melainkan dioperasikan oleh pihak eksternal, seperti jasa kurir atau pengangkut yang bertugas mendistribusikan barang menuju fasilitas milik perusahaan. Beberapa aktivitas yang termasuk dalam kategori ini mencakup transportasi melalui udara, kereta api, darat, dan laut, serta penyimpanan produk di gudang, pusat distribusi, dan fasilitas ritel sebelum sampai ke tujuan akhir.

### 2.2.5 Perhitungan Jejak Karbon

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) pada tahun 2006 menekankan pentingnya evaluasi terhadap informasi ilmiah, teknis, serta aspek sosial-ekonomi yang berkaitan dengan perubahan iklim akibat aktivitas manusia. Selain itu, IPCC juga menilai potensi dampak perubahan iklim serta berbagai strategi adaptasi dan mitigasi untuk mengurangi dampak tersebut. Dalam perhitungan emisi karbon dioksida (CO2), metode yang digunakan adalah mengalikan volume energi yang dikonsumsi dengan faktor emisi yang telah ditetapkan berdasarkan jenis energi yang digunakan. Menurut (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan , 2017), faktor emisi didefinisikan sebagai total jumlah emisi GRK yang dilepaskan ke atmosfer per satuan aktivitas tertentu. Sebagai langkah dalam upaya pengurangan emisi GRK dan pelaksanaan inventarisasi, pemerintah menerbitkan Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 yang berisi pedoman penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca nasional. Untuk mempermudah implementasi kebijakan tersebut, Kementerian Lingkungan Hidup juga

merilis Buku Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional pada tahun 2012.

Persamaan dalam pendugaan jejak karbon, umumnya seperti persamaan di bawah ini

$$Emisi = DA\ X\ FE \tag{2.1}$$

Keterangan

DA : Data Aktivitas Manusia

FE : Faktor Emisi

### 2.2.6 Sistem Produksi

Proses produksi merupakan suatu cara, metode ataupun teknik mengenai bagaimana sumber-sumber dalam hal ini tenaga kerja, mesin, bahan dan dana yang ada dapat ditransformasikan untuk memperoleh suatu hasil. Produksi juga dapat diartikan sebagai kegiatan untuk menciptakan atau menambah kegunaan barang atau jasa (Assauri, 2004). Dengan demikian produksi dapat diartikan sebagai suatu cara, metode ataupun teknik untuk menciptakan atau menambah kegunaan barang atau jasa menggunakan sumber-sumber yang ada. Menurut (Putri, 2016) kegiatan produksi dalam sebuah perusahaan merupakan kegiatan inti yang spesifik serta berbeda dengan bidang fungsional lainnya seperti keuangan, personalia dan lain-lain. Sistem produksi modern melakukan tranformasi input bahan mentah menjadi output sebuah produk yang memiliki nilai tambah dan dapat dijual ke pasar dengan harga yang kompetitif.

(Ginting, 2007) mendefinisikan sistem produksi sebagai kumpulan dari sub sistem yang saling berinteraksi dengan tujuan mentransformasikan input produksi menjadi output produksi. Input produksi yang dimaksud disini dapat berupa bahan baku, mesin, tenaga kerja, modal dan informasi. Sedangkan output produksi adalah produk yang dihasilkan termasuk dengan hasil sampingannya, seperti limbah, informasi, dan sebagainya, Sub sistem dari sistem produksi tersebut antara lain adalah perencanaan dan pengendalian produksi, pengendalian kualitas, penentuan standar-standar operasi, penentuan fasilitas produksi, perawatan fasilitas produksi serta penentuan harga pokok produksi.

### 2.2.7 *Supply Chain*

*Supply Chain* merupakan jaringan fisik yang terdiri dari perusahaan-perusahaan yang bersama-sama bekerja untuk memproduksi dan menghantarkan suatu produk ke tangan pengguna akhir. Jaringan perusahaan tersebut terdiri atas *supplier*, pabrik, distributor, toko, dan ritel, serta

perusahaan pendukung seperti perusahaan logistik (Pujawan, 2005). Tujuan dari *Supply Chain* adalah memperpendek rantai fisik *Supply Chain*, untuk membangun *service* serta menurunkan waktu dan biaya untuk mendapatkan produk pelanggan akhir dalam jumlah besar ke market di seluruh dunia (Kulkarni & Sharma, 2009).

Pada *Supply Chain* terdapat tiga macam aliran yang dikelola, pertama adalah aliran barang yang mengalir dari hulu (*upstream*) ke hilir (*downstream*), contohnya adalah bahan baku dari supplier yang dikirim ke pabrik untuk diproduksi. Setelah selesai diproduksi, produk dikirim ke distributor lalu ke pengecer atau ritel baru kemudian sampai ke tangan pengguna akhir. Aliran yang kedua adalah aliran uang dan sejenisnya mengalir dari hilir ke hulu. Aliran yang ketiga adalah aliran informasi yang bisa terjadi dari hulu ke hilir ataupun sebaliknya. Informasi ini dapat berupa informasi ketersediaan kapasitas produksi ataupun status pengiriman barang (Pujawan, 2005).

### 2.2.8 *Supply Chain* Management

Istilah *Supply Chain* dan *Supply Chain management* sudah sering digunakan di berbagai media, seperti majalah manajemen, buletin, koran, buku, dan dalam berbagai diskusi. Namun, seringkali kedua istilah tersebut disalahartikan. Banyak yang menganggap bahwa *Supply Chain* adalah sebuah perangkat lunak. Bahkan, ada yang berpendapat bahwa *Supply Chain* hanya berlaku untuk perusahaan manufaktur saja. (Chopra, 2004) bahkan, istilah "*Supply Chain management*" disebut-sebut baru muncul pada awal tahun 90-an dan diperkenalkan oleh para konsultan manajemen. *Supply Chain* dapat diartikan sebagai serangkaian aktivitas (berupa entitas atau fasilitas) yang terlibat dalam proses mengubah dan mendistribusikan barang, mulai dari bahan mentah yang berasal dari alam hingga menjadi produk akhir yang sampai ke tangan konsumen. Berdasarkan definisi ini, *Supply Chain* mencakup perusahaan yang mengambil bahan mentah dari alam, perusahaan yang mengolah bahan mentah menjadi bahan setengah jadi atau komponen, pemasok bahan pendukung, perusahaan perakitan, distributor, dan pengecer yang menjual produk tersebut kepada konsumen akhir. Manajemen rantai pasokan adalah serangkaian aktivitas yang terintegrasi, mulai dari proses pengadaan material dan pelayanan jasa, hingga mengubahnya menjadi barang setengah jadi atau barang jadi, serta mendistribusikannya kepada konsumen. Aktivitas dalam rantai pasokan melibatkan banyak pihak yang saling bersinergi dan berkoordinasi satu sama lain (Heizer J. d., 2011). Manajemen rantai pasokan bertujuan untuk meningkatkan produktivitas perusahaan secara keseluruhan

dengan memanfaatkan waktu, lokasi, dan kuantitas bahan baku seefisien mungkin (Pongoh, 2016).

Dalam *Supply Chain* terdapat beberapa pelaku utama, yakni perusahaan-perusahaan yang memiliki kepentingan bersama, yaitu:

*a. Supplier*

Jaringan dimulai dari sumber yang menyediakan bahan awal, di mana rantai distribusi baru dimulai. Bahan awal ini dapat berupa bahan baku, bahan mentah, bahan tambahan, barang dagangan, suku cadang, dan lain-lain.

*b. Supplier-Manufactures-Distribution*

Produk yang telah dihasilkan oleh perusahaan manufaktur perlu segera disalurkan kepada pelanggan. Meskipun ada banyak metode untuk menyalurkan produk kepada pelanggan, cara yang paling umum adalah melalui distributor, dan ini biasanya menjadi pilihan mayoritas *Supply Chain*.

*c. Supplier-Manufactures-Distribution-Retail Outlet*

Pedagang besar biasanya memiliki fasilitas sendiri atau dapat menyewa dari pihak lain. Gudang ini digunakan untuk menyimpan barang sebelum didistribusikan kembali ke pengecer. Di sini terdapat peluang untuk menghemat biaya dalam bentuk jumlah inventaris dan biaya gudang dengan merancang ulang pola pengiriman barang, baik dari gudang manufaktur maupun ke toko pengecer.

*d. Supplier-Manufactures Distribution-Retail Outlet-Customer*

Para pengecer atau retailer menjual barang langsung kepada pelanggan atau pengguna akhir. Outlet retail mencakup berbagai jenis, seperti toko kelontong, supermarket, warung, dan sebagainya.

### 2.2.9 Persediaan (*Inventory* )

Menurut (Alexandri, 2009) persediaan adalah aset yang terdiri dari barang-barang milik perusahaan yang dimaksudkan untuk dijual dalam periode usaha tertentu, termasuk barang yang masih dalam proses pengerjaan atau produksi, serta bahan baku yang menunggu untuk digunakan dalam proses produksi.

1. Jenis-jenis Persediaan

   (Heizer J. R., 2010), menyatakan berdasarkan proses produksi, persediaan terbagi menjadi empat jenis, yaitu:

a. Persediaan Bahan Mentah (*Raw Material Inventory* )

Persediaan bahan mentah adalah bahan-bahan yang telah dibeli namun belum diproses. Sumber bahan ini dapat berasal dari alam atau diperoleh melalui supplier yang menyediakan bahan baku. Persediaan ini penting karena merupakan dasar bagi proses produksi dan mempengaruhi kelancaran operasional.

b. Persediaan Barang Setengah Jadi (*Work in Process*)

Persediaan barang setengah jadi atau barang dalam proses mencakup komponen atau bahan mentah yang telah melewati beberapa tahap produksi tetapi belum selesai sepenuhnya. Barang ini masih membutuhkan proses lebih lanjut sebelum menjadi barang jadi. Manajemen persediaan barang setengah jadi penting untuk memastikan efisiensi dalam alur produksi dan mengurangi waktu tunggu.

c. Persediaan Pemeliharaan, Perbaikan, dan Operasional (*Maintenance, Repair, Operating Inventory* )

Persediaan ini mencakup barang-barang yang disediakan untuk pemeliharaan, perbaikan, dan kebutuhan operasional yang diperlukan untuk menjaga mesin dan proses tetap produktif. Persediaan ini sangat penting untuk mencegah downtime yang dapat mengganggu proses produksi dan menyebabkan kerugian.

d. Persediaan Barang Jadi (*Finished Goods Inventory* )

Persediaan barang jadi adalah produk yang telah selesai diproduksi dan siap untuk dijual. Persediaan ini mencerminkan output dari proses produksi dan berperan penting dalam memenuhi permintaan pasar. Manajemen persediaan barang jadi perlu dilakukan dengan cermat untuk memastikan ketersediaan produk yang cukup tanpa menyebabkan kelebihan stok yang bisa meningkatkan biaya penyimpanan.

2. Fungsi Persediaan

(Heizer J. R., 2010), menyatakan keempat fungsi persediaan bagi perusahaan adalah:

a. *Decouple* atau Memisahkan Tahapan Proses Produksi

Konsep "*decouple*" berarti memisahkan beberapa tahapan dalam proses produksi. Misalnya, jika terjadi fluktuasi dalam persediaan, perusahaan mungkin perlu menambah persediaan agar proses produksi dapat berjalan tanpa terganggu oleh keterlambatan dari pemasok. Ini membantu menjaga kelancaran produksi meskipun ada variabilitas di sisi pasokan.

b. *Decouple* dari Fluktuasi Permintaan

   Dengan melakukan "*decouple*" perusahaan dapat mengatasi fluktuasi permintaan dan menyediakan persediaan barang yang memberikan berbagai pilihan kepada pelanggan. Tipe persediaan ini umumnya digunakan dalam bisnis ritel untuk memastikan bahwa produk selalu tersedia, meningkatkan kepuasan pelanggan, dan mencegah kehilangan penjualan akibat kekurangan stok.

c. Memanfaatkan Diskon Kuantitas

   Perusahaan dapat mengambil keuntungan dari sistem diskon kuantitas dengan melakukan pemesanan dalam jumlah besar. Pembelian dalam jumlah banyak biasanya mengurangi biaya pengiriman per unit, sehingga bisa menghemat biaya total. Strategi ini juga dapat membantu perusahaan memperoleh persediaan lebih murah dan mengoptimalkan *cash flow*.

d. Melindungi Terhadap Inflasi dan Kenaikan Harga

   Memiliki persediaan yang cukup dapat melindungi perusahaan dari dampak inflasi dan kenaikan harga bahan baku. Dengan menyimpan persediaan saat harga masih rendah, perusahaan dapat mengurangi risiko biaya produksi yang meningkat di masa depan, menjaga margin keuntungan tetap stabil.

### 2.2.10 *Supply Chain Management*

Manajemen persediaan melibatkan proses perencanaan, pengendalian, dan pengawasan terhadap semua aspek yang berkaitan dengan stok perusahaan, mulai dari pengadaan bahan baku, penyimpanan, hingga distribusi produk jadi. Tujuan utamanya adalah memastikan ketersediaan bahan atau produk sesuai kebutuhan, sambil menekan biaya penyimpanan dan meminimalkan risiko kekurangan atau kelebihan stok (Nurdiana, 2023). Strategi manajemen persediaan mencakup pemantauan stok, peramalan permintaan, pengendalian kualitas, dan pengoptimalan proses untuk meningkatkan efisiensi dan profitabilitas perusahaan. Manajemen persediaan sangat krusial bagi kelancaran operasional perusahaan karena membantu menjaga keseimbangan stok, sehingga mengurangi risiko kekurangan atau kelebihan persediaan serta mencegah kesalahan pencatatan. Perencanaan dan pengendalian persediaan, sebagai salah satu aset penting perusahaan, harus menjadi prioritas manajemen. Hal ini penting untuk mengelola keseluruhan stok, termasuk bahan baku dan produk jadi, guna memenuhi kebutuhan proses produksi dan permintaan pelanggan (Sari, 2022).

Menurut Assauri (2004), persediaan merupakan suatu aktiva yang meliputi barang-barang milik Perusahaan dengan maksud untuk dijual dalam suatu periode usaha yang masih dalam proses produksi. Adpaun jenis jenis persediaan yaitu:

1. *Batch stock*

*Batch stock* merupakan persediaan yang diadakan karena kita membeli atau membuat bahan-bahan dalam jumlah yang lebih besar daripada jumlah yang dibutuhkan pada saat itu. Keuntungan yang diperoleh dari adanya *batch stock* adalah:

a. Memperoleh potongan pada harga pembelian.
b. Memperoleh efisiensi produksi.
c. Adanya penghematan di dalam biaya angkutan.

2. *Fluctuation Stock*

Persediaan yang diadakan untuk menghadapi fluktuasi permintaan konsumen yang tidak dapat diramalkan. Bila terdapat fluktuasi permintaan yang sangat besar maka persediaan ini dibutuhkan sangat besar pula untuk menjaga kemungkinan naik turun permintaan tersebut.

3. *Anticipation Stock*

Persediaan yang diadakan untuk menghadapi fluktuasi permintaan yang dapat diramalkan berdasarkan pola musiman yang terdapat dalam satu tahun dan untuk menghadapi penggunaan atau penjualan yang meningkat.

Biaya-biaya yang timbul dari adanya persediaan, antara lain (Assauri, 2004):

a. Biaya pemesanan (*Ordering Costs*)

   Biaya yang dikeluarkan berkenaan dengan pemesanan barang-barang dari penjual, sejak dari pesanan dibuat dan dikirim ke penjual sampai barang tersebut dikirim dan diserahkan serta diinspeksi di gudang. Jadi biaya ini berhubungan dengan pesanan tetapi sifatnya agak konstan, Dimana besarnya biaya yang dikeluakan tidak tergantung pada besarnya atau banyaknya barang yang dipesan. Biaya yang termasuk dalam biaya pemesanan ialah semua biaya yang dikeluarkan dalam rangka mengadakan pemesanan bahan tersebut, diantaranya:

- Biaya administrasi pembelian dan penempatan order
- Biaya pengangkutan dan bongkar muat

- Biaya penerimaan dan biaya pemeriksaan

Rumus biaya pemesanan menurut (Heizer, 2005) adalah sebagai berikut:

$$\text{Biaya Pesan} = \frac{D}{Q}\ x\ S \qquad (2.2)$$

b. Biaya Penyimpanan (*Holding Cost*)

Biaya-biaya yang diperlukan berkenaan dengan adanya persediaan yang meliputi seluruh pengeluaran yang dikeluarkan Perusahaan sebagai akibat adanya jumlah persediaan. Biaya yang termasuk dalam biaya ini ialah biaya yang timbul karena barang disimoan, yaitu biaya pergudangan yang terdiri dari:

- Biaya sewa gudang
- Upah dan gaji tenaga pengawa dan pelaksana pergudangan
- Biaya peralatan material dan yang lainnya

Menurut (Heizer, 2005) biaya penyimpanan dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Biaya Penyimpanan} = \frac{Q}{2}\ x\ H \qquad (2.3)$$

Sehingga dalam penentuan biaya persediaan terdapat 2 (dua) jenis biaya yang berubah dan biayan yang dipertimbangkan. Pertama berubah menurut dengan intensitas pesanan ialan biayan pesanan. Kedua biaya yang berubah sesuai dengan jumlah persediaan bahan baku yaitu biaya penyimpanan. Selanjutnya menentukan jumlah biaya persediaan (TC) dengan menjumlahkan biaya pesan dan biaya simpan. Adapun rumusnya sebagai berikut:

$$TIC = \left(\frac{D}{Q}\ x\ S\right) + \left(\frac{Q}{2}\ x\ H\right) + (unit\ cost\ x\ D) \qquad (2.4)$$

Beberapa manfaat dari pengendalian persediaan antara lain:

a. Pengurangan biaya

   Manajemen inventori yang efisien membantu bisnis menekan biaya penyimpanan persediaan yang berlebihan dan memaksimalkan penjualan.

b. Peningkatan arus kas

   Dengan mengelola inventori secara efektif, bisnis dapat menghindari dana yang terikat pada stok berlebih dan memastikan produk terjual tepat waktu untuk mencegah pembusukan atau keusangan.

c. Peningkatan efisiensi

Ketika inventori dikelola dengan baik, bagian lain dari rantai pasokan juga menjadi lebih teratur, mengurangi kesalahan seperti kesalahan pengiriman, kekurangan, kehabisan stok, dan kelebihan stok.

Beberapa manfaat dari pengendalian persediaan antara lain:

a. Perencanaan Persediaan Bahan Baku

Perencanaan persediaan bahan baku adalah proses merencanakan kebutuhan, pengadaan, dan pengelolaan bahan baku yang dibutuhkan untuk menjaga kelancaran produksi di perusahaan. Proses ini mencakup analisis permintaan, perkiraan kebutuhan bahan baku, penjadwalan pengadaan, serta penentuan sumber pasokan yang diperlukan untuk menjamin ketersediaan bahan tepat waktu, dengan tetap menekan biaya penyimpanan dan risiko kekurangan.

b. Pengendalian Persediaan Bahan Baku

Pengendalian bahan baku di perusahaan bertujuan mendukung kelancaran operasi lainnya. Pengendalian bahan baku yang baik tercapai ketika seluruh kegiatan perusahaan saling terintegrasi. Karena persediaan fisik melibatkan investasi besar pada aset lancar, pengendalian persediaan menjadi fungsi manajemen yang sangat krusial. Semua bagian organisasi bekerja sama untuk memaksimalkan penjualan serta pemanfaatan produk dan sumber daya. Mempertahankan jumlah stok pada tingkat tertentu dikenal sebagai pengendalian stok, dan sangat penting untuk persediaan barang dan material.

c. Penilaian Persediaan

Beberapa tantangan muncul dalam penilaian persediaan selama satu periode:

a) Menentukan total dan nilai persediaan yang telah terjual dan tercatat sebagai biaya.
b) Menentukan total dan nilai persediaan yang masih ada dan dicantumkan dalam neraca.
c) Mengidentifikasi seluruh biaya langsung dan tidak langsung yang diperlukan untuk menyiapkan dan mendistribusikan persediaan yang akan dijual.
d) Mengidentifikasi biaya yang terkait dengan pengadaan persediaan. Harga pokok barang terdiri dari harga pembelian dan biaya pengiriman, sementara biaya lain

dicatat secara terpisah dalam periode tertentu. Sistem akuntansi umumnya berfokus pada transaksi persediaan di perusahaan industri dan dagang.

d. Pengawasan Persediaan Bahan Baku

Pengawasan persediaan bahan baku mencakup pengelolaan dan pemantauan jumlah, kualitas, serta arus keluar masuk bahan baku di perusahaan. Proses ini meliputi pemantauan persediaan, perencanaan pengadaan, kontrol kualitas, serta langkah-langkah untuk mencegah kekurangan atau kelebihan stok yang dapat mempengaruhi produksi. Metode pengawasan dapat melibatkan sistem manajemen persediaan, teknologi, serta penerapan praktik terbaik dalam pengelolaan bahan baku.

4. Pengawasan Persediaan Bahan Baku

Pengawasan persediaan bahan baku mencakup pengelolaan dan pemantauan jumlah, kualitas, serta arus keluar masuk bahan baku di perusahaan. Proses ini meliputi pemantauan persediaan, perencanaan pengadaan, kontrol kualitas, serta langkah-langkah untuk mencegah kekurangan atau kelebihan stok yang dapat mempengaruhi produksi. Metode pengawasan dapat melibatkan sistem manajemen persediaan, teknologi, serta penerapan praktik terbaik dalam pengelolaan bahan baku.

### 2.2.11 *Supply Chain Management*

(Ginting, 2007) mendefinisikan fungsi utama persediaan adalah sebagai penyangga, penghubung antar proses produksi dan distribusi untuk memperoleh efisiensi. Fungsi lainnya adalah sebagai penyeimbang harga terhadap fluktuasi permintaan. Secara lebih spesifik, persediaan dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Persediaan dalam *Lot size*

   Persediaan timbul karena adanya persyaratan ekonomi untuk penyediaan kembali, lebih ekonomis untuk melakukan penyediaan jumlah *lot* yang besar atau dengan kecepatan yang sedikit lebih cepat daripada permintaan. Penentuan kebutuhan ekonomi meliputi biaya *set-up*, biaya persiapan produksi atau pembelian dan biaya transportasi.

2. Persediaan Candangan

   Pengendalian persediaan muncul karena adanya ketidakpastian. Peramalan permintaan pembeli biasanya disertai dengan kesalahan peramalan. *Lead time* dapat terjadi lebih dalam dari yang diperkirakan. Jumlah produksi yang ditolak hanya dapat diprediksi dalam proses. Persediaan cadangan melindungi dari kegagalan memenuhi permintaan pembeli atau memenuhi kebutuhan manufaktur tepat pada waktunya.

3. Persediaan Antisipasi

   Persediaan dapat timbul untuk mengantisipasi penurunan persediaan (*supply*) dan peningkatan permintaan (*demand*) maupun fluktuasi harga. Untuk menjaga kesinambungan pengiriman produk ke pembeli, perusahaan dapat menjaga persediaan apabila terjadi libur kerja atau antisipasi adanya mogok kerja.

4. Persediaan *Pipeline*

   Sistem persediaan dapat diibaratkan sebagai kumpulan tempat (*stock point*) dengan aliran antar tempat persediaan tersebut. Pengendalian persediaan terdiri dari pengendalian aliran persediaan dan jumlah persediaan yang akan terakumulasi pada titik-titik persediaan. Jika aliran melibatkan perubahan pada produk fisik, seperti perlakuan panas atau beberapa komponen, persediaan dalam aliran adalah persediaan barang setengah jadi (*work in process*). Apabila suatu produk tidak dapat diubah secara fisik namun dipindahkan dari satu tempat penyimpanan ke tempat lain, persediaan tersebut disebut persediaan transportasi. Jumlah dari persediaan setengah jadi dan persediaan transportasi disebut persediaan *pipeline*.

5. Persediaan Lebih

   Persediaan lebih merupakan persediaan yang tidak dapat digunakan karena kelebihan atau adanya kerusakan fisik.

   Tujuan pengelolaan persediaan adalah untuk menyediakan jumlah material yang tepat, lead time yang tepat serta biaya yang rendah. Biaya persediaan merupakan keseluruhan biaya operasi atas sistem persediaan (Yamit, 1999). Adapun yang termasuk ke dalam biaya persediaan menurut (Ginting, 2007) adalah sebagai berikut:

   a. Biaya Pembelian atau *Purchase Cost* dari suatu item adalah harga pembelian setiap unit item jika item tersebut berasal dari sumber-sumber eksternal, lalu biaya produksi per unit apabila item tersebut berasal dari internal perusahaan atau diproduksi sendiri.

Dalam kebanyakan teori persediaan, komponen biaya pembelian tidak dimasukkan ke dalam total biaya pembelian untuk periode tertentu dan hal tersebut tidak mempengaruhi jawaban optimal tentang berapa banyak barang yang harus dipesan.

b. Biaya Pengadaan atau *Procurement Cost*, biaya pengadaan dapat dibedakan menjadi 2 jenis sesuai dengan asal barang yaitu biaya pemesanan (*ordering cost*) apabila barang didapatkan dari *supplier* dan biaya pembuatan (*set-up cost*) apabila barang diperoleh dari hasil produksi sendiri.
c. Biaya Penyimpanan atau *Holding Cost*, yaitu biaya yang timbul akibat disimpannya suatu item. Biaya penyimpanan terdiri atas biaya-biaya yang bervariasi secara langsung dengan kuantitas persediaan.
d. Biaya Kekurangan Persediaan atau *Stockout/Shortage Cost*¸ yaitu biaya yang timbul apabila persediaan tidak mencukupi permintaan produk atau kebutuhan barang. Biaya ini merupakan biaya yang paling sulit diperkirakan. Salah satu contoh keadaan yang menyebabkan timbulnya *stockout cost* yaitu kehilangan penjualan (*lost sales*); yaitu ketika perusahaan tidak mampu memenuhi suatu pesanan, maka ada nilai penjualan yang hilang bagi perusahaan. Akibat dari *lost sales* adalah pelanggan merasa kecewa sehingga berpindah ke pesaing lainnya.

### 2.2.12 *Supply Chain Management*

Menurut (Rusdiana, 2018) Pengendalian persediaan adalah kegiatan untuk menjaga jumlah persediaan pada tingkat yang diinginkan. Pengendalian persediaan atau kata asingnya adalah *Inventory control*, adalah fungsi managerial yang sangat penting karena persediaan/stok obat akan memakan biaya yang melibatkan investasi yang besar dalam pos aktiva lancar. Karena itu perlu dikendalikan dengan efektif dan efisien (Seto, 2004).

Pengendalian persediaan merupakan fungsi yang mengatur dan mengarahkan cara pelaksanaan dari suatu rencana baik dengan pengaturan dalam bentuk tata laksana, yaitu: manual, standar, kriteria, ataupun prosedur melalui Tindakan untuk memungkinkan optimasi dan penyelengaraan suatu program oleh unsur dan unit terkait (subagya, 1994).

Teknik pengendalian merupakan hal yang terpenting dalam mengelola persediaan di gudang, berapa jumlah titik pengaman (*buffer stock*) persediaan yang harus ada, serta kapan saatnya mulai mengadakan pemesanan Kembali (*Reorder Point*/ROP).

Mengendalikan persediaan yang tepat bukan hal yang mudah. Apabila jumlah persediaan terlalu besar mengakibatkan timbulnya dana menganggur yang besar (tertanam dalam persediaan), meningkatnya biaya penyimpanan, dan resiko kerusakan barang yang lebih besar. Namun, jika persediaan terlalu sedikit mengakibatkan risiko terjadinya kekurangan persediaan (*stock out*) karena seringkali bahan/barang tidak dapat didatangkan secara mendadak dan sebesar yang dibutuhkan, yang menyebabkan terhentinya, proses produksi, tertundanya penjualan bahkan hilangnya pelanggan (Herjanto, 2008).

1. Pengendalian Persediaan dengan Metode *Economic Order quantity* (EOQ)

   *Economic Order quantity* (EOQ) adalah sejumlah persediaan barang yang dapat dipesan pada suatu periode untuk tujuan meminimalkan biaya dari persediaan barang tersebut (Sabarguna, 2004). Dua macam biaya yang dipertimbangkan dalam model EOQ adalah biaya penyimpanan dan biaya pemesanan (Mardiyanti, 2009).

   Menurut (Heizer dan Render, 2010), model EOQ adalah salah satu teknik kontrol persediaan tertua dan paling dikenal atau eknik ini relatif mudah digunakan, tetapi berdasarkan asumsi yaitu:

- Jumlah permintaan diketahui, konstan dan *independent*.
- Penerimaan persediaan bersifat instan dan selesai seluruhnya. Dengan kata lain persediaan dari sebuah pesanan dating dalam satu kelompok pada suatu waktu.
- Tidak tersedia diskon kuantitas.
- Biaya variabel hanya biaya untuk penyetelan atau pemesanan dan biaya menyimpan persediaan dalam waktu tertentu.
- Kehabisan persediaan dapat sepenuhnya dihindari jika pemesanan dilakukan pada waktu yang tepat.

   Model persediaan umumnya meminimumkan biaya total. Dengan asumsi yang diberikan di atas biaya paling signifikan adalah biaya pemesanan dan biaya penyimpanan. Jadi, jika kita meminimalkan biaya pemesanan dan biaya penyimpanan, kita juga akan meminimalkan biaya total. Seiring dengan meningkatkan kuantitas yang dipesan, jumlah pemesanan pertahunnya akan menurun. Namun, biaya penyimpanan akan meningkat karena jumlah persediaan yang harus diurus lebih banyak. Berikut adalah rumus untuk menentukan jumlah pemesanan optimum menurut heizer dan render (2010):

$$Q = \sqrt{2DS/H} \tag{2.5}$$

   Keterangan:

Q : Jumlah optimum unit per pesanan

D : Jumlah Permintaan suatu periode

S : Biaya pemesanan untuk setiap pesanan

H : Biaya penyimpanan per unit per tahun

2. Pengendalian Persediaan dengan Menghitung *Reoder Point* (ROP)

   Keseimbangan antara persediaan dan permintaam perlu diciptakan agar kemampuan pelayanan dapat berlanjut. Terputusnya kemampuan pelayanan adalah karena persediaan sudah habis. Oleh karen itu sebelum persediaan habis maka pemesanan barang harus sudah dilakukan. Untuk itu dicari waktu yang tepat, pada saat pembelian harus dilakukan sehinggan pelayanan tidak terputus. Tetapi, persediaan masih dalam batas-batas yang ekonomis (Anief, 2001).

   Menurut (John dan harding, 2001), pengendalian barang dengan *Reorder Point* (ROP), Keputusan mengenai kapan mengajukan pemesanan kembali terletak pada dua faktor, yaitu; yang pertama pertimbangan tingkat pemesanan kembali secara langsung berdasarkan pada pemakaian normal dan yang kedua pertimbangan sedia pengaman berdasarkan derajat ketidakpastian dan Tingkat pelayanan yang diminta.

   Dengan mempertimbangan *safety stock* maka perhitungan titik pemesanan Kembali menurut (haizer dan render, 2010) adalah:

$$ROP = (d \times l) + SS \tag{2.6}$$

   Keterangan:

   ROP : *Reoder Point*

   d : permintaan harian

   L : *lead time* (waktu tunggu)

   SS : persediaan pengaman (*Safety stock* atau buffer *stock*)

### 2.2.13 Metode Pengendalian Persediaan

Dalam jurnal (Tia Octaviany, 2023), ada beberapa metode manajemen persediaan yang umum digunakan yaitu:

1. Metode *Economic Order quantity* (EOQ)

   Metode EOQ atau Kuantitas Pesanan Ekonomi digunakan untuk menentukan jumlah optimal pesanan agar biaya total persediaan minimal. Dengan metode ini, perusahaan

membeli persediaan sesuai dengan jumlah yang diperhitungkan optimal berdasarkan pesanan yang diterima dan permintaan. EOQ mempertimbangkan biaya penyimpanan, biaya pemesanan, dan kebutuhan persediaan, sehingga menghasilkan jumlah pesanan yang efisien dan menghindari kelebihan stok.

2. Metode *Material Requirement Planning* (MRP)

   Metode MRP memastikan bahan baku selalu tersedia di gudang dalam jumlah minimum yang memadai. Perusahaan menerapkan sistem ini untuk menjaga stok tetap ada tanpa mengalami kekosongan (*zero stock*) namun tetap efisien dalam biaya. MRP menggunakan data penjualan, proyeksi produksi, dan informasi stok untuk merencanakan pengadaan bahan baku. Dengan jumlah persediaan yang terkendali, biaya penyimpanan dapat ditekan, dan proses produksi tetap berjalan lancar.

3. Metode *Just in Time* (JIT)

   Metode JIT memungkinkan perusahaan memesan persediaan dalam periode yang lebih dekat dengan kebutuhan produksi. Jadwal pemesanan diatur secara periodik dan terencana, sehingga bagian keuangan lebih mudah memperkirakan biaya pengeluaran. Keunggulan metode ini adalah perusahaan dapat mengurangi kebutuhan ruang penyimpanan dan menghindari penyimpanan stok dalam jumlah besar. Risiko keusangan atau pemborosan juga lebih rendah, namun metode ini memerlukan manajemen pemasok yang andal agar persediaan tiba tepat waktu.

4. Metode Analisa ABC

   Metode ini mengelompokkan persediaan berdasarkan nilai atau volume pentingnya. Klasifikasi ini biasanya terbagi dalam tiga kategori:

- A untuk item bernilai tinggi dan frekuensi penggunaan tinggi (pengawasan ketat)
- B untuk item dengan nilai menengah (pengawasan sedang)
- C untuk item bernilai rendah dan penggunaan jarang (pengawasan minimum)

5. Metode *Periodic Review*

   Pada metode ini, pemesanan persediaan dilakukan secara terjadwal, berdasarkan siklus waktu tertentu, misalnya mingguan atau bulanan. Metode ini memudahkan dalam mengelola anggaran karena biaya pengadaan dapat diperkirakan. Metode *periodic review* cocok untuk bisnis dengan permintaan yang stabil dan teratur, namun tidak fleksibel jika terjadi perubahan mendadak dalam permintaan atau pasokan.

### 2.2.14 Konsep Emisi Karbon

Emisi karbon merupakan emisi gas rumah kaca yang dilepaskan oleh pribadi atau kelompok dalam melakukan kegiatannya per periode tertentu yang diukur dengan satuan ton- setara-CO2(tCO2e) atau kg-setara-CO2 (kgCO2e) (Lestari, 2019). Menurut (Hakim iqbal, 2019) ada berbagai bentuk gas rumah kaca, yaitu Carbon dioxide (CO2), Methane (CH4), Nitrous oxide(N2O), Hydroflouroc arbons (HFCs), Perflurocarbo ns (PFCs), dan Sulfur hexafluoride (SF6). Keenam jenis Gas Rumah Kaca (GRK) memiliki potensi penyebab pemanasan global yang berbeda-beda (Wiratno, 2020). Karbon dioksida memiliki potensi penyebab pemanasan gobal terendah diantara keenam jenis gas, meskipun konsentrasinya paling tinggi di atmosfer. Menurut (Shidarta, 2019) walaupun potensinya yang terendah, angka acuan untuk indeks daya penyebab pemanasan global yang disebut *Global Warming Potential* (GWP) untuk karbon dioksida adalah 1 gas metana mempunyai GWP sebesar 21 yang berarti 1 ton metana mempunyai potensi menyebabkan pemanasan global 21 kali lebih tinggi daripada 1 ton karbon dioksida. Hal tersebut menunjukan bahwa untuk mengurangi emisi gas metana sebanyak 1 ton setara dengan mengurangi emisi karbon dioksida sebanyak 21 ton (Fatkhudin, 2017).

### 2.2.15 $CO_2$ Emission

Karbondioksida ($CO_2$) merupakan salah satu emisi gas rumah kaca yang memberikan andil paling besar terhadap peningkatan suhu rata-rata bumi. Emisi $CO_2$ di atmosfer berperan sebagai penajaga suhu bumi agar tetap berada dalam kisaran yang nyaman bagi kehidupan manusia (Murdiyarso, 2003). Terjadinya peningkatan emisi $CO_2$ secara signifikan akibat aktivitas manusia menyebabkan terjadinya peningkatan suhu rata-rata bumi dimana emisi berasal dari pembakaran hutan dan konsumsi bahan bakar fosil (Junaedi, 2007).

### 2.2.16 Konsep Carbon Tax

*Carbon tax* merupakan jenis pajak atas polusi yang dikenakan pada penggunaan bahan bakar fosil untuk memperbaiki kegagalan pasar (Baranzini, 2017). Kegagalan utama pasar pada produk bahan bakar fosil adalah timbulnya eksternalitas negatif seperti perubahan iklim dan polusi udara. Tidak adanya carbon tax, konsumen tidak menanggung biaya penuh atas penggunaan produk, yang merupakan jumlah dari produksi, biaya distribusi dan biaya sosial seperti kerugian ekonomi dari perubahan iklim dan polusi udara. Secara teori menurut (Zhou, 2021) dan (Fremstad, 2019) peningkatan biaya akibat pengenaan pajak akan menurunkan

permintaan atas bahan bakar fosil. Adanya alasan tersebut, apabila tidak ada *carbon tax* akan mengarah pada konsumsi bahan bakar yang berlebihan, dan *carbon tax* bertujuan mengoreksi kegagalan pasar tersebut dengan memasukkan biaya sosial atas eksternalitas negatif yang timbul ke dalam harga jual bahan bakar.

Kebijakan carbon tax menurut (Nar, M, 2021) memiliki tiga kelebihan utama dibanding kebijakan yang lain dalam mengendalikan emisi gas rumah kaca. Pertama, *carbon tax* adalah kebijakan ekonomi yang luas dan dapat memotong emisi dari setiap sumber utama, sementara kebijakan lain cenderung menargetkan emisi dari sumber tertentu, seperti listrik, pemanas, atau transportasi. *Carbon tax* dapat diberlakukan untuk semua jenis bahan bakar fosil, sehingga mencakup semua sumber emisi utama. Kedua, *carbon tax* menyediakan sinyal harga yang jelas untuk perusahaan dan rumah tangga, yang memungkinkan mereka untuk membuat pembelian dan keputusan investasi yang lebih baik. Oleh karena itu, *carbon tax* dapat memaksimalkan efeknya pada perilaku konsumen dengan menunjukkan sinyal harga yang jelas.

*Carbon tax* juga dapat membawa manfaat ekonomi. Menurut (Hájek, 2019) dan (Geroe, 2019) salah satu manfaat berasal dari menghilangkan eksternalitas negatif bahan bakar fosil. Biaya privat marjinal tidak termasuk eksternalitas negatif karena dengan tidak adanya pajak, biaya privat marjinal lebih rendah dari biaya sosial marginal. Dalam posisi ini, keseimbangan biaya privat marjinal dan permintaan berada pada titik optimal bagi individu tetapi belum berada pada titik optimal bagi masyarakat. Hal ini menyebabkan timbulnya *welfare loss* akibat kelebihan konsumsi bahan bakar fosil, atau yang sering disebut sebagai *deathweight loss*. Jika pendapatan dari *carbon tax* didistribusikan secara optimal, maka *carbon tax* akan benar-benar dapat menghilangkan *welfare loss* dan meningkatkan kesejahteraan sosial. Hal itu berarti manfaat lain carbon tax muncul ketika pendapatan dari *carbon tax* digunakan untuk mengimbangi pendapatan pajak lainnya.

Pada prinsipnya, pajak seperti pajak penghasilan dan pajak komoditi mendistorsi pasar dan mengurangi kesejahteraan sosial ketika mereka dibebankan pada semua barang. Adanya pajak akan menggeser keseimbangan dari yang titik optimal, sehingga mengakibatkan hilangnya kesejahteraan. Atas hal tersebut *carbon tax* dapat mencegah hilangnya kesejahteraan jika pendapatan dari *carbon tax* digunakan untuk mengimbangi pajak lainnya. Dengan cara ini, *carbon tax* dapat meningkatkan kesejahteraan sosial dengan menghilangkan *welfare loss* dari polusi (perubahan iklim) dan mengimbangi pajak lainnya yang menimbulkan *welfare loss*. Manfaat ini sering disebut sebagai "dividen ganda" dan merupakan atribut penting dari *carbon*

*tax* (Metcalf, 2021).

### 2.2.17 Distribusi

Dalam kamus bahasa Indonesia, pengertian distribusi adalah pembagianpengiriman barang-barang kepada orang banyak atau ke beberapa tempat (Anwar, 2001). Selain itu philip Kotler mendefinisikan distribusi adalah himpunan perusahaan dan perorangan yang mengambil alih hak, atau membantu dalam mengalihkan hak atas barang atau jasa tersebut berpindah dari produsen ke konsumen (Aziz, 2008).

Distribusi adalah salah satu aspek dari pemasaran. Kegiatan pendistribusian ini dilakukan untuk menyalurkan barang dari produsen ke konsumen, sehingga penggunaan barang tersebut sesuai dengan yang diperlukan konsumen dari mulai jenis, jumlah, harga, tempat, dan saat dibutuhkan. Kegiatan distribusi terdiri dari perdagangan, pengangkutan, penyimpanan, dan lain-lain. Kegiatan distribusi ini berhubungan dengan *Supply Chain* dimana *Supply Chain management* (Manajemen Rantai Pasokan) sebagai suatu pendekatan yang digunakan untuk mencapai pengintegrasian yang efisien dari *supplier, manufacturer, distributor, retailer,* dan *customer*. Artinya barang diproduksi dalam jumlah yang tepat, pada saat yang tepat, dan pada tempat yang tepat dengan tujuan mencapai suatu biaya dari sistem secara keseluruhan yang minimum dan juga mencapai *service level* yang diinginkan. (Levi, dkk. 2000). Kegiatan *Supply Chain* memiliki dampak yang signifikan pada profitabilitas perusahaan dalam bentuk pengadaan barang dan jasa. Dengan adanya *Supply Chain* ini perusahaan berkolaborasi antara *supplier*, distributor, dan *customer* untuk pengiriman barang dari produsen kepada konsumen.

Distribusi sangatlah bagian yang penting pada perusahaan, karena transportasi distribusi dapat berperan dalam mencapai keunggulan kompetitif (Reiman, 1998). Kinerja pembawa transportasi dapat mempengaruhi efektivitas fungsi logistik seluruh perusahaan. Oleh karena itu, proses pemilihan pembawa transportasi yang tepat adalah penting untuk keberhasilan perusahaan. Kotler dan Armstrong (Kotler, 2008), menyaakan bahwa tempat (distribusi) adalah kegiatan yang dilakukan perusahaan yang membuat produk tersedia bagi pelanggan sasaran. Sedangkan (Tjiptono, 2008) menyatakan bahwa pendistribusian dapat diartikan sebagai kegiatan pemasaran yang berusaha memperlancar dan mempermudah penyampaian barang dan jasa dari produsen ke konsumen, sehingga penggunaanya sesuai dengan yang diperlukan (jenis, jumlah, harga, tempat, dan saat dibutuhkan). Tetapi menurut (Meixell, 2008) meningkatnya kepedulian terhadap dampak masalah energi dan lingkungan merupakan salah satu dari

tantangan logistik yang mempengaruhi terhadap pendistribusian barang (kargo).

### 2.2.18 Optimasi *Algoritma Evoulutionary*

Metode *evolutionary algorithm* adalah salah satu teknik dalam *solver Microsoft Excel* yang dapat digunakan untuk menemukan solusi optimal dari sebuah model (Yulianto et al., 2020). Secara umum, *evolutionary algorithm* merupakan algoritma optimasi yang terinspirasi dari teori Darwin tentang kemampuan individu untuk beradaptasi di lingkungan alaminya. Konsep utama dari algoritma ini adalah bahwa dalam lingkungan dengan sumber daya terbatas, individu dalam suatu populasi akan bersaing untuk memperebutkan sumber daya tersebut. Proses ini menghasilkan seleksi alam, di mana hanya individu yang paling sesuai dan adaptif yang akan bertahan (*survival of the fittest*). Akibatnya, populasi yang dihasilkan cenderung terdiri dari individu-individu yang memiliki kemampuan adaptasi terbaik. *Algoritma evolutionary* didasarkan oleh filososfi evolusi makhluk hidup. Keunggulan *algoritma evolutionary* menurut (Hillier & Lieberman, 2015) dalam (Yulianto et al., 2020) dibandingkan dengan algoritma lainnya yaitu sebagai berikut:

1. Algoritma tidak dipengaruhi oleh kompleksitas fungsi objektif, selama fungsi tersebut dapat dievaluasi pada permasalahan uji coba yang diberikan.
2. Algoritma juga secara subtansial tidak dipengaruhi oleh kompleksitas dari kendala-kendala yang ada.
3. *Solver evolutionary* sendiri tidak terjebak pada lokal optimum suatu hasil dan akan terus bekerja secara random untuk mencari hasil yang lebih optimal lagi. Algoritma ini juga dapat menemukan hasil global optimum dalam prosesnya jika dijalankan secara terus menerus, oleh karena itu metode ini sangat cocok digunakan untuk permasalahan yang cenderung kecil.

Menurut (Yu dan Gen, 2010), terdapat tiga karakteristik utama dalam penerapan *Evolutionary Algorithm* (Senatra & Widyadana, 2022):

1. Berbasis populasi

   Evolutionary Algorithm menggunakan kumpulan solusi yang disebut populasi untuk melakukan optimasi atau mempelajari suatu masalah secara bersamaan.
2. Berorientasi pada *fitness*

   Setiap solusi dalam populasi disebut individu, yang memiliki representasi genetik berupa kode (*code*) dan evaluasi kinerja yang dikenal sebagai *fitness value*. Algoritma ini memprioritaskan individu dengan nilai *fitness* yang lebih tinggi sebagai acuan untuk proses optimasi dan konvergensi.
3. Digerakkan oleh variasi

   Tiap individu mengalami berbagai perubahan melalui variasi untuk meniru proses perubahan genetik, yang penting dalam eksplorasi area populasi untuk menemukan solusi optimal.

### 2.2.19 Model Ukuran *Lot* Ekonomis Gabungan (*Joint Economic Lot size*)

Model EOQ dan EPQ merupakan pengelolaan inventori secara klasik yang dilakukan secara independen. Ukuran *lot* pemesanan yang dilakukan oleh pembeli hanya berdasarkan pertimbangan dari pembeli untuk meminimasi total biaya pembeli tanpa menghitung total biaya yang ditanggung oleh pemasok dalam memenuhi permintaan pembeli. Sedangkan kondisi yang terjadi di situasi real tidak selalu seperti itu, dalam satu waktu bisa saja pemasok lebih memegang kendali dari pembeli dengan membuat keputusan mengenai seberapa banyak *lot* yang harus dikirim. Penelitian awal mengenai model *integrasi Single-vendor* dan *Single-buyer* pertama kali dikembangkan oleh Goyal (1977) penelitian ini mengembangkan model integrasi untuk *Single vendor-Single buyer* dengan permintaan yang konstan. Tujuannya adalah untuk mengetahui optimasi biaya yang terjadi apabila *supplier* dan *customer* memutuskan untuk menentukan ukuran persediaan yang paling optimal secara bersama-sama.

Di dalam Siajadi et al. (2006) disebutkan bahwa istilah *Joint Economic Lot size* dikembangkan oleh (Banerjee, 1986) yang mengasumsikan bahwa *vendor* memproduksi berdasarkan *lot*-per-*lot* sebagai respon untuk memenuhi pesanan dari satu pembeli. Permintaan diasumsikan deterministik dan *vendor* sebagai pemasok tunggal. Gagasan dari konsep ini bahwa *vendor* dan pembeli adalah mitra di dalam *value chain* dalam produksi dan pengiriman produk yang berkualitas tinggi kepada pelanggan. Berdasarkan hasil model ini, Banerjee

menyimpulkan bahwa penentuan ukuran *lot* ekonomi secara bersama-sama untuk kedua belah pihak dapat mengurangi total biaya gabungan secara substantial, menghasilkan *win-win solution*. Penelitian mengenai JELS kemudian dilanjutkan kembali oleh (Goyal, 1988) dengan judul "*A Joint Economic Lot- Size Model for Purchaser and Vendor: A Comment*" dimana ia memeriksa model biaya relevan total gabungan untuk sistem persediaan produksi *Single vendor-Single buyer*.

Model yang dikembangkan Goyal (1988) menghasilkan total biaya gabungan yang lebih optimal dibandingkan dengan model JELS milik Banerjee. Menurut (Sodikin & Mudiarti, 2008) model *Joint Economic Lot size* atau JELS adalah dimana dua pihak atau lebih pada struktur *Supply Chain* dalam hal ini produsen dan pembeli melakukan koordinasi dalam menentukan ukuran *lot* yang jumlah keseluruhan merupakan jumlah optimal yang menguntungkan bagi kedua belah pihak.

### 2.2.20 Ukuran Pemesanan (*Lot size*)

*Lot size* merupakan kuantitas pesanan dari item yang memberitahukan MRP berapa banyak kuantitas yang harus dipesan serta teknik *lot size* apa yang dipakai. Terdapat dua pendekatan dalam menyelesaikan masalah *lot sizing*, yaitu pendekatan *period by period* dan *level by level*. Teknik *lot sizing* menggunakan *period by period* yang ada sekarang adalah pendekatan koefisien (*coefficeient approach*). Pendekatan koefisien ini mempunyai kinerja yang lebih baik daripada teknik-teknik *lot sizing* yang menggunakan pendekatan *level by level*. Sedangkan teknik *lot sizing* menggunakan *level by level* yang diterapkan pada MRP antara lain *Fixed Order Quantity, Economic Order Quantity, Period Order Quantity, Lot for Lot,* dan lain lain.

# BAB III
# METODE PENELITIAN

## 3.1 Objek dan Subjek Penelitian

Objek penelitian ini berfokus pada pengelolaan persediaan produk di tingkat pemasok dan pembeli untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. Subjek penelitian adalah produk batik yang diproduksi oleh pemasok. Penelitian dilakukan pada sebuah UMKM Batik X di Yogyakarta, yang berperan sebagai pemasok tunggal untuk memproduksi berbagai produk yang kemudian didistribusikan kepada pembeli yang bertindak sebagai reseller sebelum sampai ke pelanggan akhir. Penelitian ini secara khusus menyoroti sistem persediaan di UMKM Batik X. Tujuan utama penelitian adalah menemukan solusi optimal untuk meminimasi total cost terkait *Inventory* atau persediaan, *stockout*, dan emisi karbon dalam proses sistem rantai pasok.

## 3.2 Jenis Data Penelitian

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dan studi pustaka. Data sekunder merupakan sumber yang tidak langsung memberikan data kepada pengumpul data (Sugiyono, 2017). Data sekunder merupakan data yang diperoleh dengan dua cara yaitu studi pustaka dan pengumpulan data historis. Dalam penelitian ini peneliti mendapat studi pustaka yang diperoleh dari secara tidak langsung misalnya dari buku, jurnal, laporan, dan materi-materi yang berkaitan dengan manajemen persediaan. Dalam penelitian ini data-data yang diperlukan terdiri dari data dari pemasok dan pembeli. Untuk data yang dimiliki UMKM Batik X sebagai pemasok adalah sebagai berikut:

1. Data pemesanan pembeli (Q)
2. Biaya *set-up*
3. Biaya penyimpanan
4. Biaya *Lost sales*
5. Biaya emisi karbon

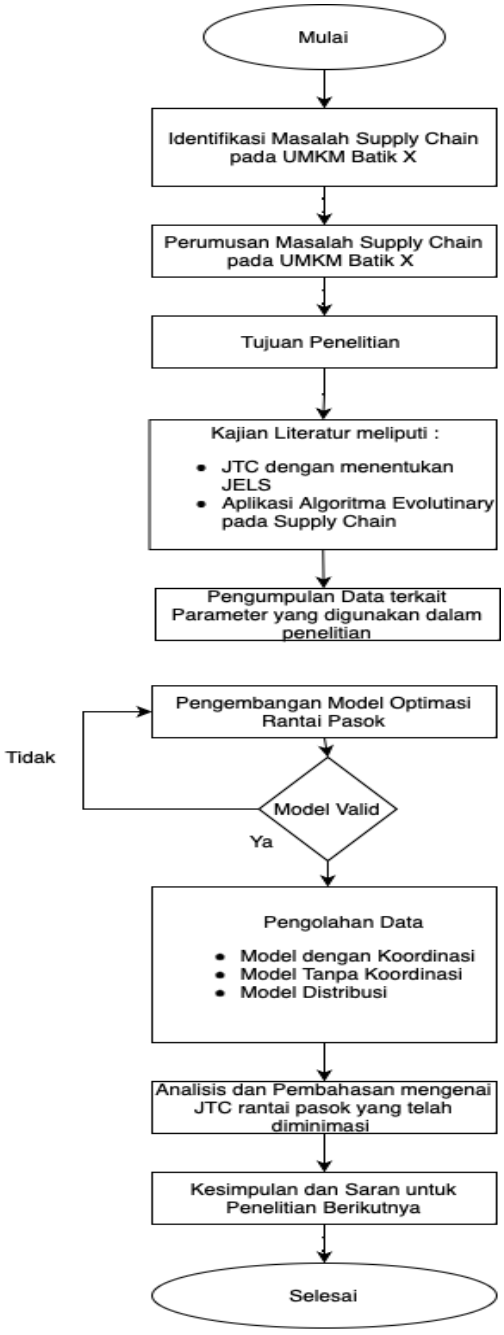
Sedangkan kebutuhan data dari *Buyer* 1, 2, 3, 4 dan 5 adalah sebagi berikut:

1. Data distribusi permintaan dari konsumen dan antar pembeli
2. Biaya pemesanan ke pemasok
3. Biaya pemesanan antar pembeli
4. Biaya penyimpanan

5. Biaya *Lost sales*

## 3.3 Alur Penelitian

Gambar 3.1 adalah  alur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:




Gambar 3. 1 Alur penelitian

1. Mulai

Tahap awal ini menandakan dimulainya proses penelitian. Peneliti mempersiapkan diri dengan mengidentifikasi tujuan utama dan cakupan penelitian yang akan dilakukan. Pada tahap ini, diperlukan pemahaman awal tentang masalah yang akan diselesaikan.

2. Identifikasi Masalah

Peneliti menganalisis situasi atau isu yang sedang terjadi untuk menemukan masalah yang perlu dipecahkan. Identifikasi ini penting untuk memastikan bahwa penelitian memiliki relevansi dan tujuan yang jelas. Data awal, baik kuantitatif maupun kualitatif, sering dikumpulkan untuk memahami konteks masalah. Adapun permasalahan pada UMKM Batik X Yogyakarta yaitu tidak terdapat koordinasi yang baik antara pihak pemasok (*vendor*) dan pembeli (*buyer*). Dan dari *buyer* juga mengalami permintaan yang tidak pasti atau permintaan yang bersifat stokastik sehingga membuat frekuensi pemesanan yang kerap dan akan membuat biaya pesan semakin besar. Permintaan yang bersifat probabilistik juga menyebabkan sebuah resiko terjadinya kekurangan persediaan (*storage*) berupa *lost sales* yang biayanya ditanggung oleh *buyer*. Pada penelitian ini juga, *vendor* melakukan kegiatan produksi yang melibatkan emisi karbon. Dengan adanya keterlibatan emisi karbon, membuat biaya akan semakin bertambah. Dengan permasalahan Tipe-1 diatas, penelitian ini bertujuan untuk meminimasi total biaya antara *vendor* dan *buyer* dari hasil produksi permintaan yang optimal menggunakan model matematis dengan mengkoordinasikan antara *vendor* dan *buyer* untuk menentukan jumlah produksi serta jumlah pemesanan yang optimal, sehingga bisa mengoptimalkan dari total biaya yang didapatkan dengan mempertimbangkan emisi karbon. Selanjutnya, untuk Tipe-2 pada penelitian ini berupa mengelola terkait biaya distribusi dengan mempertimbangan emisi karbon. Pada Tipe-2 bertujuan untuk meminimasi biaya dengan rute terpendek, sehingga bisa mengoptimalkan dari total biaya distribusi dengan mempertimbangkan emisi karbon tersebut.

3. Perumusan Masalah

Setelah masalah teridentifikasi, langkah berikutnya adalah merumuskannya dalam bentuk yang spesifik dan terukur. Perumusan ini biasanya mencakup pertanyaan penelitian atau hipotesis yang ingin diuji. Tahap ini penting untuk menentukan ruang lingkup penelitian agar tidak melebar dari tujuan. Pada tahap ini, peneliti melakukan identifikasi masalah yang terjadi pada UMKM Batik X Yogyakarta berupa minimasi total cost pada rantai pasok. Dalam penelitian pada UMKM Batik kali ini akan menggunakan Tipe-1 dan Tipe-2 dalam proses rantai pasok UMKM Batik. Tipe-1 ini terkait produksi yang dilakukan oleh vendor dalam sistem manufaktur sering kali memerlukan proses pemanasan berulang pada setiap kali produksi dimulai. Meskipun *volume* produksi pada setiap siklusnya tidak besar, emisi karbon yang dihasilkan cenderung tinggi karena proses pemanasan ini harus dilakukan berulang kali setiap kali ada permintaan baru. Hal ini terjadi karena mesin harus dinyalakan, dipanaskan, dan disiapkan ulang setiap kali produksi dimulai, kemudian dimatikan setelah produksi selesai. Di sisi lain, produksi dalam jumlah besar sekaligus dapat mengurangi frekuensi set-up dan emisi karbon yang dihasilkan. Namun, pendekatan ini berisiko menyebabkan *overstock* pada *vendor*. Oleh karena itu, terdapat dilema antara meminimalkan emisi karbon melalui produksi dalam jumlah besar sekaligus dengan risiko *overstock.* Pada pengelolaan produksi dan distribusi, Tipe-1 dan Tipe-2 memiliki karakteristik yang saling memengaruhi, namun sering kali dianalisis secara terpisah. Pada Tipe-1, upaya untuk meminimalkan emisi karbon di pabrik internal sering kali sudah dilakukan. Namun, ketika Tipe-2, yang melibatkan proses distribusi kepada pembeli, diperhitungkan, ternyata strategi pada Tipe-1 dapat memengaruhi pola distribusi secara signifikan. Dalam Tipe-2, *vendor* cenderung fokus hanya pada pengurangan emisi karbon internal tanpa mempertimbangkan dampaknya terhadap distribusi. Hal ini dapat menyebabkan emisi karbon distribusi menjadi sangat tinggi, meskipun emisi di pabrik sudah diminimalkan. Sebaliknya, dengan mengintegrasikan Tipe-1 dan Tipe-2, ditemukan potensi untuk mengoptimalkan emisi karbon secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan terintegrasi yang mempertimbangkan dampak bersama kedua tipe untuk mencapai solusi yang lebih berkelanjutan.

Pada tahap ini, peneliti menentukan apa yang ingin dicapai melalui penelitian ini, seperti pemecahan masalah, pengembangan teori baru, atau peningkatan proses tertentu. Tujuan yang dirumuskan harus relevan dengan masalah dan dapat diukur keberhasilannya.

4. Kajian Literatur

Kajian literatur pada penelitian ini terdiri dari kajian deduktif dan kajian induktif. Kajian deduktif berisi tentang kajian teoritis pada penelitian, pada penelitian ini kajian deduktif membahas mengenai *Supply Chain management*, persediaan, metode pengendalian persediaan, metode *Joint Economic Lot size* (JELS, dan model *algoritma evolutionary*. Sedangkan untuk kajian induktif yaitu membahas mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang memiliki topik yang relevan dengan penelitian yang diangkat yang kemudian dibuat research gap untuk membedakan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan.

5. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini digunakan data sekunder dari UMKM Batik X Yogyakarta. Jenis penelitian ini berupa data kuantitaif dan dimenggunakan uji validitas. Yang kemudian, data tersebut akan diolah pada tahap selanjutnya.

6. Pengembangan Model

Pada tahap ini, peneliti akan membangun sebuah model matematis yang menjadi fokus dari penelitian. Langkah pertama yang dilakukan yaitu menjelaskan karakteristik sistem yang diteliti, kemudian dilakukan pengembangan model matematis dengan mempertimbangkan variabel-variabel yang digunakan. Model yang telah dibangun akan diverifikasi kembali guna memastikan bahwa model yang dibangun telah merepresentasi model dalam kondisi nyata atau tidak dan juga memiliki dimensi satuan yang sama atau tidak. Apabila model valid maka akan dilanjutkan ke tahap pengolahan data dengan analisis numerik, namun apabila tidak maka model perlu dikembangkan Kembali.

7. Validasi Model

Pada tahap ini, peneliti akan merancang model matematis sebagai inti dari penelitian. Langkah awal yang dilakukan adalah mendeskripsikan karakteristik sistem yang menjadi objek penelitian. Selanjutnya, dilakukan pengembangan model matematis dengan

memperhatikan variabel-variabel yang relevan. Model yang telah dibuat kemudian diverifikasi untuk memastikan apakah model tersebut telah merepresentasikan kondisi nyata dengan baik dan memiliki kesesuaian dimensi satuan. Jika model terbukti valid, proses dilanjutkan ke tahap pengolahan data menggunakan analisis numerik. Namun, jika model dinyatakan tidak valid, perlu dilakukan pengembangan ulang hingga model memenuhi kriteria validasi. Tabel 3.1 menunjukkan validasi model dari semua biaya yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3. 1 Validasi model

| Persamaan | Pemeriksaan Satuan | Status |
|---|---|---|
| Biaya simpan pembeli | $HC_b = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} I_{btp} \times h_b$<br>$HC_b = unit \times \frac{Rp/unit}{bulan}$<br>$HC_b = \cancel{unit} \times \frac{Rp/\cancel{unit}}{\cancel{bulan}}$<br>$HC_b = Rp$ | Valid |
| Biaya *lost sales* pembeli | $SC_b = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} X_{btp} \times l_b$<br>$SC_b = unit \times \frac{Rp}{unit}$<br>$SC_b = \cancel{unit} \times \frac{Rp}{\cancel{unit}}$<br>$SC_b = Rp$ | Valid |
| Biaya pemesanan pembeli ke pemasok | $OC_{bv} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} Q_{btp} \times A_{bv}$<br>$OC_{bv} = unit \times \frac{Rp}{unit}$<br>$OC_{bv} = \cancel{unit} \times \frac{Rp}{\cancel{unit}}$<br>$OC_{bv} = Rp$ | Valid |

| Persamaan | Pemeriksaan Satuan | Status |
|---|---|---|
| Biaya pemesanan pembeli ke pembeli | $OC_{bb} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} d_{btp} \times A_{bb}$<br>$OC_{bb} = unit \times \frac{Rp}{unit}$<br>$OC_{bb} = \cancel{unit} \times \frac{Rp}{\cancel{unit}}$<br>$OC_{bb} = Rp$ | Valid |
| Biaya simpan pemasok | $HC_v = \sum_{p=1}^{p}\sum_{t=1}^{t} I_{vtp} \times h_v$<br>$HC_v = unit \times \frac{Rp/unit}{bulan}$<br>$HC_v = \cancel{unit} \times \frac{Rp/\cancel{unit}}{\cancel{bulan}}$<br>$HC_v = \frac{Rp}{bulan}$<br>$HC_v = Rp$ | Valid |
| Biaya *setup* pemasok | $SC = \sum_{t=1}^{t} \left(\frac{t}{3}\right)_t x\ S$<br>$SC = setup \times \frac{Rp}{setup}$<br>$SC = \cancel{setup} \times \frac{Rp}{\cancel{setup}}$<br>$SC = Rp$ | Valid |
| Biaya emisi karbon pemasok | $CC_v = \sum_{t=1}^{t} PC_t\ x\ C_v$<br>$CC_v = unit \times \frac{Rp}{unit}$ | Valid |

| Persamaan | Pemeriksaan Satuan | Status |
|---|---|---|
| | $CC_v = \cancel{unit} \times \frac{Rp}{\cancel{unit}}$<br>$CC_v = \frac{Rp}{bulan}$<br>$CC_v = Rp$ | |
| | $CC_s = \sum_{t=1}^{t} \left(\frac{t}{3}\right)_t x\ C_S$<br>$SC = setup \times \frac{Rp}{setup}$<br>$SC = \cancel{setup} \times \frac{Rp}{\cancel{setup}}$<br>$SC = Rp$ | Valid |
| Biaya Emisi Karbon Distribusi | $CC_d = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n} D_{ij} \times W_{ij}^{p} \times r_e \times E_c$<br>$CC_d = km\ x\ kg\ x\ \frac{kg.CO_2}{kg\ x\ km} \times \frac{Rp}{kg.CO_2}$<br>$CC_d = \cancel{km}\ x\ \cancel{kg}\ x\ \frac{\cancel{kg.CO_2}}{\cancel{kg}\ x\ \cancel{km}} \times \frac{Rp}{\cancel{kg.CO_2}}$<br>$CC_d = Rp$ | Valid |

8. Pengolahan Data

Data yang valid diolah menggunakan teknik statistik, analisis data kualitatif, atau metode lain sesuai kebutuhan. Tujuannya adalah untuk menyusun hasil yang dapat diinterpretasikan dan mendukung analisis. Pada tahap ini akan dibangun dua bentuk model yaitu model tanpa koordinasi dan model dengan koordinasi:

a. Pada model tanpa koordinasi, optimasi dilakukan secara terpisah antara pemasok dan pembeli menggunakan *solver Evolutionary*. Langkah-langkahnya meliputi pertama,

menghasilkan pola permintaan yang telah diperoleh dengan memanfaatkan *Microsoft Excel.* Untuk permintaan berdistribusi normal, digunakan fungsi =NORMINV, sedangkan untuk distribusi *uniform*, digunakan fungsi =RANDBETWEEN. Selanjutnya, dilakukan perhitungan biaya yang diperlukan untuk menghitung total biaya pemasok dan total biaya pembeli. Setelah itu, optimasi dilakukan menggunakan *solver Evolutionary* dengan batasan-batasan yang telah ditentukan. Proses ini bertujuan untuk menentukan ukuran *lot* pemesanan dan produksi yang optimal sehingga dapat meminimalkan total biaya pemesanan dan total biaya produksi.

Model tanpa koordinasi adalah kondisi di mana pengambilan keputusan dilakukan secara masing-masing antara pemasok dan pembeli. Pembeli melakukan optimasi nilai *Q* dan *r* sendiri dan pemasok juga melakukan hal yang serupa yaitu melakukan optimasi nilai *P* dan *r* secara masing-masing. Tabel 3.2 menunjukkan langkah-langkah perhitungan model tanpa koordinasi pembeli.

Tabel 3. 2 Langkah-langkah perhitungan model tanpa koordinasi pembeli

| | |
|---|---|
| **1** | *Generate* data permintaan pada masing-masing pembeli untuk setiap produk batik dengan menggunakan fungsi *Ms. Excel* untuk distribusi normal dengan fungsi,<br>$= INT(NORMNIV(RAND(); D; \sigma))$,<br>sedangkan untuk distribusi *uniform* dapat menggunakan fungsi,<br>$= RANDBETWEEN(Batas\ Atas; Batas\ Bawah)$ |
| **2** | Membuat model simulasi perhitungan menggunakan tabel *Excel* yang terdiri dari tabel perhitungan total permintaan dari pelanggan dan pembeli lain, total persediaan akhir, banyaknya *lost sales*, dan total pemesanan. Rumusnya sebagai berikut:<br>Total Permintaan = Permintaan Pelanggan + Permintaan Pembeli<br>Persediaan Akhir = Persediaan Awal – Total Permintaan<br>*Lost sales* terjadi apabila terdapat permintaan yang lebih besar dari persediaan yang ada atau kondisi di mana persediaan akhir kurang dari 0 atau bernilai negatif. Hal tersebut dapat diketahui berarti permintaan pelanggan tidak dapat terpenuhi. |
| **3** | Pemesanan $Q_b$ terjadi apabila persediaan akhir kurang dari nilai *Reorder Point* dan tidak melakukan order pada periode sebelumnya. Nilai $Q_b$ dan $r_b$ pada awal perhitungan diasumsikan belum ada atau menggunakan angka *random* untuk kemudian dioptimasi |

menggunakan *solver Microsoft Excel* dengan *algoritma evolutionary*. Fungsi tujuan adalah melakukan minimasi total biaya masing-masing pembeli untuk setiap produk, dengan variabel pengubah $Q_b$ dan $r_b$ serta batasan-batasan tertentu.

**4** Menghitung total biaya persediaan pembeli dengan rumus:

$$HC_b = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} I_{btp} \times h_b$$

**5** Menghitung total biaya *lost sales* pembeli dengan rumus:

$$SC_b = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} X_{btp} \times l_b$$

**6** Menghitung total biaya pemesanan ke pemasok dan biaya pemesanan antar pembeli dengan rumus berikut:

$$OC_{bv} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} Q_{btp} \times A_{bv}$$

$$OC_{bb} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} d_{btp} \times A_{bb}$$

**7** Menghitung total biaya pembeli ($TC_b$) dengan menjumlahkan biaya persediaan pembeli, biaya *lost sales* pembeli, biaya pemesanan ke pemasok dan biaya pemesanan ke pembeli lain.

$$TC_b = HC_b + SC_b + OC_{bv} + OC_{bb}$$

Tabel 3.3 menunjukkan lang-langkah perhitungan model tanpa koordinasi pemasok.

Tabel 3. 3 Langkah-langkah perhitungan model tanpa koordinasi pemasok

**1** Data permintaan pemasok didapatkan dari total jumlah pemesanan yang dilakukan oleh pembeli untuk setiap produk selama periode *t*, total jumlah permintaan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$D = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} D_{btp}$$

| | |
|---|---|
| | Di mana :<br>$Q_b$ = Jumlah pemesanan dari pembeli *b* |
| **2** | Membuat model simulasi perhitungan menggunakan tabel *Ms. Excel*, terdapat tabel yang diperlukan dalam melakukan perhitungan yaitu perhitungan total permintaan, total persediaan akhir, banyaknya *lost sales* dan total produksi. Berikut merupakan rumus perhitungan:<br>Total Permintaan = Total Pesanan Pembeli<br>Persediaan Akhir = Persediaan Awal – Permintaan<br>*Lost sales* terjadi apabila permintaan lebih besar daripada persediaan yang ada atau persediaan akhir kurang dari 0 atau negatif. Hal tersebut dapat diketahui berarti permintaan pelanggan tidak dapat terpenuhi. |
| **3** | Pemasok melakukan produksi apabila persediaan akhir kurang dari nilai produksi kembali (*reorder point*). Nilai *P* optimal dihitung menggunakan *solver Evolutionary* pada *Ms. Excel*. Fungsi tujuan dari penggunaan *solver Evolutionary* adalah untuk meminimasi total biaya pemasok untuk setiap produk, dengan variabel pengubah *P* serta batasan-batasan tertentu. |
| **4** | Menghitung total biaya persediaan pemasok untuk setiap produk dari semua *buyer* dengan rumus berikut:<br>$$HC_v = \sum_{p=1}^{p} \sum_{t=1}^{t} I_{tp} \times h_v$$ |
| **5** | Menghitung total biaya *setup* pemasok dengan rumus berikut:<br>$$SC = \sum_{t=1}^{t} \left(\frac{t}{3}\right)_t x\ S$$ |
| **6** | Menghitung total biaya emisi karbon pemasok dengan rumus berikut:<br>$$CC_v = \sum_{t=1}^{t} PC_t\ x\ C_v$$ |

| | |
|---|---|
| | $$CC_s = \sum_{t=1}^{t} \left(\frac{t}{3}\right)_t x\ C_S$$ |
| **7** | Menghitung total biaya pemasok ($TC_v$) dengan menjumlahkan biaya persediaan, biaya *Lost sales* dan biaya *setup* .<br>$$TC_v = HC_v + SC + CC_v + C_S$$ |

b. Pada model dengan koordinasi, perhitungan optimasi dilakukan secara gabungan antara pemasok dan pembeli menggunakan solver Evolutionary. Model ini memanfaatkan data yang telah diperoleh dari tahap pengolahan pada model tanpa koordinasi. Dengan data tersebut, dilakukan perhitungan biaya untuk menentukan total biaya gabungan. Selanjutnya, optimasi dilakukan untuk menentukan ukuran *lot* pemesanan dan produksi yang optimal menggunakan solver Evolutionary, dengan mempertimbangkan batasan-batasan yang telah ditetapkan. Tujuan akhirnya adalah memperoleh total biaya gabungan yang paling optimal.

Model dengan koordinasi adalah kondisi di mana pengambilan keputusan dilakukan secara terintegrasi antara pemasok dan pembeli. Pada model tersebut dilakukan optimasi biaya pada total biaya gabungan antara pemasok. Tabel 3.4 menunjukkan langkah-langkah perhitungan model dengan koordinasi.

Tabel 3. 4 Langkah-langkah perhitungan model dengan koordinasi

| | |
|---|---|
| **1.** | Menggunakan model awal yang sudah ada pada perhitungan sebelumnya |
| **2.** | Melakukan optimasi dengan melakukan *solver Evolutionary* pada *Ms. Excel* dengan opsi fungsi tujuan adalah sel total biaya gabungan antara semua pembeli dan pemasok. Variabel pengubah adalah nilai $Q_b$ dan $r_b$ dari pembeli dan $P$ dari pemasok yang diperoleh pada perhitungan sebelumnya. Terdapat batasan-batasan yang digunakan dalam melakukan optimasi sebagai berikut:<br>a. Nilai $Q_b$, $r_b$, dan $P$merupakan bilangan integer<br>b. Terdapat batas bawah pada nilai $Q_b$ dan $rb$ yaitu $\geq 0$ atau bernilai positif<br>c. Sedangkan batas atas pada nilai $Q_b$ dan $rb$ yaitu $\leq 100$ |

d. Nilai *P* bernilai positif

e. Nilai $P \geq 0$

**3.** Menghitung total persediaan akhir pembeli, total *lost sales* pembeli, total pemesanan pembeli, total persediaan akhir pemasok, total *lost sales* pemasok, dan total produksi pemasok.

**4.** Menghitung total persediaan akhir pembeli dengan menggunakan rumus berikut:

$$HC_b = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} I_{btp} \times h_b$$

**5.** Menghitung total biaya *lost sales* pembeli dengan menggunakan rumus berikut:

$$SC_b = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} X_{btp} \times l_b$$

**6.** Menghitung total biaya pemesanan ke pemasok dan biaya pemesanan antar pembeli dengan menggunakan rumus berikut:

$$OC_{bv} = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} Q_{btp} \times A_{bv}$$

$$OC_{bb} = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} d_{btp} \times A_{bb}$$

**7.** Menghitung total biaya persediaan pemasok pada setiap produk dari semua pembeli dengan menggunakan rumus berikut:

$$HC_v = \sum_{p=1}^{p} \sum_{t=1}^{t} I_{vtp} \times h_v$$

**8.** Menghitung total biaya *setup* pemasok dengan menggunakan rumus berikut:

$$SC = \sum_{t=1}^{t} \left(\frac{t}{3}\right)_t x\, S$$

**9.** Menghitung biaya Emisi Karbon pemasok dengan menggunakan rumus berikut:

$$CC_v = \sum_{t=1}^{t} PC_t \, x \, C_v$$

$$CC_s = \sum_{t=1}^{t} \left(\frac{t}{3}\right)_t \, x \, C_S$$

**10.** Menghitung total biaya pembeli dan pemasok dengan menjumlahkan biaya-biaya berikut:

$$JTC = HC_b + SC_b + OC_{bv} + OC_{bb} + HC_v + SC + CC_v + CC_s$$

c. Model untuk distribusi

Pada model distribusi dilakukan penentuan rute optimal untuk menghasilkan biaya emisi karbon yang rendah. Pada model distribusi ini memerlukan perhitungan permintaan berupa jumlah berat dari produk pada hasil perhitungan model tanpa koordinasi dan dengan koordinasi. Tabel 3.5 menunjukkan langkah-langkah perhitungan biaya distribusi.

Tabel 3. 5 Langkah-langkah Perhitungan Biaya Distribusi

| Distribusi |
|---|
| No. Langkah-Langkah |
| 1. Menentukan Matriks Jarak |
| 2. Menentukan Jarak antara Vendor-*Buyer*-Vendor secara acak terlebih dahulu dengan patokan pembuatan rute sementara. |
| 3. Menentukan Berat yang akan di Angkut |
| 4. Menentukan Biaya Emisi Karbon setiap Penurunan Barang $$CC_d = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n} D_{ij} \times W_{ij}^{p} \times r_e \times E_c$$ |
| 5. Menentukan Total Biaya Emisi Karbon JTC = $CC_1 + CC_2 + CC_3 + CC_4 + +CC_5$ |
| 6. Melakukan optimasi dengan melakukan solver Evolutionary pada Ms. Excel dengan opsi fungsi tujuan adalah sel total biaya gabungan |

antara semua Produk Batik . Variabel pengubah adalah rute distribusi. Terdapat batasan-batasan yang digunakan dalam melakukan optimasi sebagai berikut:

a. Nilai rute distribusi bernilai alldifferent

9. Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini, dilakukan analisis dan pembahasan pada hasil perhitungan menggunakan *solver Evolutionary* antara kedua model yang telah dilakukan pada tahap pengolahan data. Analisis dilakukan dengan melakukan perbandingan terhadap variabel keputusan berupa ukuran *lot* pemesanan, ukuran *lot* produksi, titik pemesanan kembali, dan titik produksi kembali, serta kriteria performansi penelitian yang berupa total biaya gabungan antara model tanpa koordinasi dan model dengan koordinasi. Pada tahapan ini juga dilakukan pembahasan mengenai penghematan yang terjadi antara kedua model.

10. Kesimpulan dan Saran

Peneliti merumuskan kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan pembahasan. Kesimpulan ini mencakup jawaban terhadap pertanyaan penelitian, pencapaian tujuan, dan rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut atau penerapan praktis. Saran biasanya diberikan untuk mengatasi keterbatasan penelitian atau mengusulkan arah penelitian lanjutan.

11. Selesai

Penelitian dinyatakan selesai ketika seluruh tahapan telah dilakukan dan laporan penelitian telah disusun. Hasil penelitian dapat dipublikasikan atau digunakan untuk tujuan tertentu, seperti pengembangan kebijakan atau inovasi.

# BAB IV
# PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA atau PEMBANGUNAN SISTEM

## 4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan bertujuan agar dapat memenuhi semua kebutuhan pada penelitian yang akan dilakukan. Dalam penelitian ini, data yang dibutuhkan merupakan data sekunder dari UMKM Batik X Yogyakarta. Tabel 4.1 merupakan data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4. 1 Data sekunder vendor dan *buyer*

| **Jenis Biaya** | **Jenis Produk Batik** | | | | | **Satuan** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Batik 1** | **Batik 2** | **Batik 3** | **Batik 4** | **Batik 5** | |
| ***Vendor*** | | | | | | |
| Biaya *setup* (*S*) | 5.700 | 5.700 | 5.700 | 5.700 | 5.700 | Rp/unit/*setup* |
| Biaya simpan | 3.500 | 3.500 | 3.500 | 3.500 | 3.500 | Rp/unit/bulan |
| (*hv*) | 5.500 | 6.500 | 4.000 | 7.000 | 4.000 | Rp/unit |
| ***Buyer 1*** | | | | | | |
| Biaya pesan (*A*) | 13.000 | 13.000 | 13.000 | 13.000 | 13.000 | Rp/4pcs |
| Biaya simpan | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | Rp/unit/bulan |
| (*hb*) | 20.000 | 25.000 | 20.000 | 20.000 | 25.000 | Rp/unit |
| Biaya *lost sales* | | | | | | |
| (*lb*) | | | | | | |
| ***Buyer 2*** | | | | | | |
| Biaya pesan (*A*) | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | Rp/4pcs |
| Biaya simpan | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | Rp/unit/bulan |
| (*hb*) | 25.000 | 25.000 | 25.000 | 25.000 | 25.000 | Rp/unit |
| Biaya *lost sales* | | | | | | |
| (*lb*) | | | | | | |
| ***Buyer 3*** | | | | | | |
| Biaya pesan (*A*) | 10.000 | 10.000 | 10.000 | 10.000 | 10.000 | Rp/4pcs |

| Jenis Biaya | Jenis Produk Batik | | | | | Satuan |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Batik 1** | **Batik 2** | **Batik 3** | **Batik 4** | **Batik 5** | |
| Biaya simpan | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | Rp/unit/bulan |
| (*hb*) | 25.000 | 30.000 | 25.000 | 30.000 | 25.000 | Rp/unit |
| Biaya *lost sales* | | | | | | |
| (*lb*) | | | | | | |
| ***Buyer 4*** | | | | | | |
| Biaya pesan (*A*) | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | Rp/4pcs |
| Biaya simpan | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | Rp/unit/bulan |
| (*hb*) | 35.000 | 25.000 | 25.000 | 25.000 | 25.000 | Rp/unit |
| Biaya *lost sales* | | | | | | |
| (*lb*) | | | | | | |

Tabel 4.2 merupakanproses *transshipment* atau pemesanan antar pembeli terdapat biaya pemesanan antar pembeli sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Biaya pemesanan antar *buyer*

| **Hubungan** | **Jumlah Biaya Pemesanan (*A*)** | **Satuan** |
|---|---|---|
| *Buyer 1* ke *Buyer 5* | 13.000 | Rp/4 unit |
| *Buyer 2* ke *Buyer 1* | 8.000 | Rp/4 unit |
| *Buyer 3* ke *Buyer 1* | 8.000 | Rp/4 unit |
| *Buyer 3* ke *Buyer 5* | 8.000 | Rp/4 unit |
| *Buyer 4* ke *Buyer 2* | 8.000 | Rp/4 unit |

Tabel 4.3 menunjukkan data emisi karbon yang di hasilkan dari tiga mesin dibawah ini.

Tabel 4. 3 Data emisi karbon vendor

| **Machine** | **Energy Consumption** | **Energy Consumption after *Setup*** | **Carbon Intensity** | **Carbon Tax** | **Daily Carbon Emission Cost** |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Boiling and dying machine* | 450kWh | 180 kWh | 0,2 kgCo2 | 30 /Kg | Rp 11.070 |
| *Drying machine* | 300kWh | 240 kWh | 0,2 kgCo2 | 30 /Kg | Rp 7.380 |
| *Wax melting machine* | 550kWh | 60 kWh | 0,2 kgCo2 | 30 /Kg | Rp 13.530 |

Tabel 4.4 merupakan data jarak dalam bentuk latitude dan longitude.

Tabel 4. 4 Data latitude dan longitude

| **Retailer** | **Latitude** | **Longitude** |
|---|---|---|
| Vendor | -6,888 | 109,675 |
| B1 | -6,83936 | 109,6828 |
| B2 | -6,85484 | 109,6373 |
| B3 | -6,87804 | 109,7242 |
| B4 | -6,90989 | 109,7208 |
| B5 | -6,93216 | 109,7165 |

Dari Tabel 4.4 di hasilkan matrik jarak pada tabel 4.5 yang menunjukkan jarak antar vendor ke *buyer*, dan *buyer* ke *buyer*.

Tabel 4. 5 Matriks jarak

| | | **Vendor** | **B1** | **B2** | **B3** | **B4** | **B5** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| **Vendor** | 1 | 0 | 2,018414 | 4,373759 | 5,478237 | 5,155945 | 4,903022 |
| **B1** | 2 | 2,018414 | 0 | 5,097353 | 4,818748 | 4,979879 | 5,111295 |
| **B2** | 3 | 4,373759 | 5,097353 | 0 | 9,698731 | 9,510547 | 9,272968 |
| **B3** | 4 | 5,478237 | 4,818748 | 9,698731 | 0 | 1,252547 | 2,201454 |
| **B4** | 5 | 5,155945 | 4,979879 | 9,510547 | 1,252547 | 0 | 0,961239 |
| **B5** | 6 | 4,903022 | 5,111295 | 9,272968 | 2,201454 | 0,961239 | 0 |

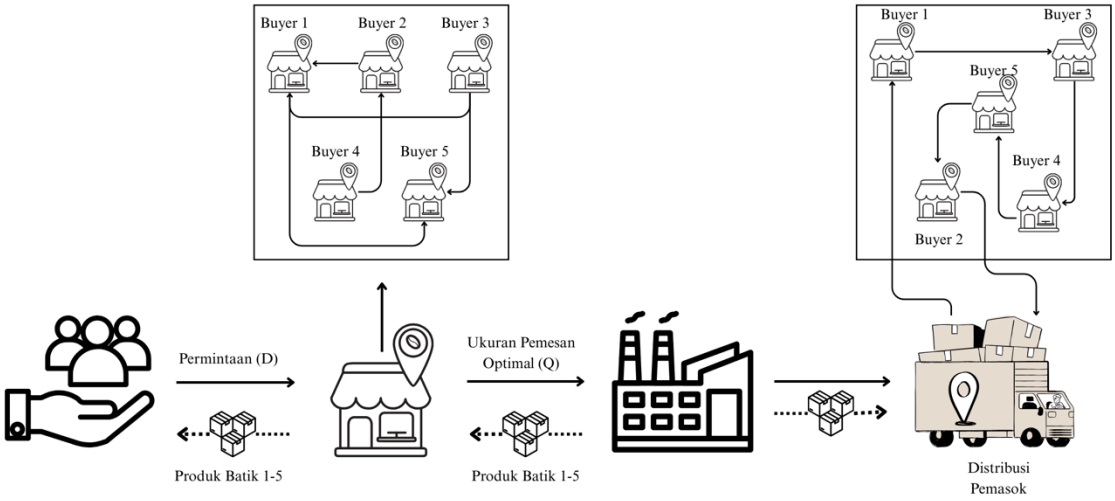
## 4.2 Deskripsi Sistem

Dalam penelitian ini, sistem yang dipertimbangkan adalah rantai pasok multi-*eselon*, di mana *eselon* pertama terdiri dari pemasok atau vendor, dan *eselon* kedua adalah pembeli atau *buyer*. Penelitian ini melibatkan satu pemasok tunggal (*Single* vendor) dan beberapa pembeli (multi *buyer*). Penelitian ini juga memperhitungkan sistem lateral transshipment antar pembeli, yang merupakan situasi di mana pembeli dapat melakukan transaksi dengan pembeli lain untuk memenuhi kebutuhan produk yang diperlukan oleh pelanggan. Dalam penjelasan sistem tersebut disebut sebagai Tipe-1. Selain untuk memenuhi kebutuhan produk kepada pembeli, dalam penelitian ini juga mempertimbangkan terkait proses distribusi produk antara vendor ke *buyer*, *buyer* ke *buyer* yang disebut sebagai Tipe-2.

Proses rantai pasok Tipe-1 dimulai ketika lima pembeli, yaitu *Buyer* 1, *Buyer* 2, *Buyer* 3, *Buyer* 4, dan *Buyer* 5, menerima permintaan dari pelanggan akhir. Pembeli kemudian memeriksa ketersediaan stok produk di gudang. Jika stok mencapai titik pemesanan ulang (reorder point), pembeli akan melakukan pemesanan produk sebanyak Q unit kepada pemasok, dengan biaya pemesanan sebesar A. Setelah menerima informasi pemesanan dari pembeli, pemasok akan memulai produksi dengan ukuran *lot* produksi sebesar P dan biaya *setup* sebesar S dan biaya emisi karbon. Adapun proses rantai pasok Tipe-2 dimulai ketika produk yang diinginkan pelanggan akhir sudah terpenuhi, pihak vendor maupun *buyer* harus mendistribusikan produk tersebut agar sampai pada tujuan yang tepat.

Dalam penelitian ini, permintaan pelanggan dianggap stokastik dengan distribusi normal yang memiliki rata-rata D dan standar deviasi σ, atau bisa juga berdistribusi uniform. Permintaan di antara pembeli mengikuti distribusi uniform, sementara lead time dalam penelitian ini dianggap konstan. Permintaan yang bersifat stokastik menyebabkan risiko kekurangan persediaan (shortage), yang berujung pada *lost sales* yang biayanya ditanggung oleh pembeli. Dikarenakan pada penelitian ini dari pemasok memiliki proses produksi yang menggunakan bahan baku yang melibatkan emisi karbon dimana tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengelola total biaya dari hasil produksi permintaan yang optimal menggunakan model matematis dengan mengkoordinasikan pemasok tunggal dan pembeli untuk menentukan jumlah produksi serta jumlah pemesanan yang optimal, sehingga dapat mengoptimalkan dari total biaya yang didapatkan dengan mempertimbangkan emisi karbon. Dilanjutkan pada proses pendistribusian produk, yang dimana pendistribusian ini juga menggunakan model matemastis untuk meminimasi biaya terkait penentuan rute terpendek yang digunakan untuk mendapatkan

total biaya yang optimal dengan mempertimbangkan emisi karbon. Gambar 4.1 merupakan proses rantai pasok di internal Perusahaan pada UMKM Batik.




Gambar 4. 1 Proses rantai pasok pada UMKM Batik

Dalam sistem yang dikembangkan terdapat 2 model yaitu model tanpa koordinasi yang merupakan kondisi di mana setiap *eselon* pada rantai pasok mengambil keputusan secara mandiri tanpa berkomunikasi atau berkoodinasi secara efektif dengan *eselon* lainnya. Dalam model ini, setiap *eselon* berfokus untuk memaksimalkan keuntungan tanpa memperhatikan dampak *eselon* lain pada suatu rantai pasok. Terdapat contoh model tanpa koordinasi yaitu pada suatu rantai pasok pakaian ritel, *eselon* produsen pakaian memproduksi pakaian sesuai dengan perkiraan permintaan mereka sendiri, kemudian dari *eselon* distributor melakukan pembeli secara besar-besaran dari produsen sesuai dengan estimasi mereka sendiri, sedangkan dari *eselon* pengecer menentukan pesanan mereka berdasarkan penilaian mereka sendiri terhadap permintaan konsumen tanpa berbagi informasi *real-time* dengan distributor atau produsen.

Kemudian terdapat model dengan koordinasi yang merupakan kondisi di mana setiap *eselon* rantai pasokan berusaha untuk bekerja bersama secara efisien dan berkoordinasi untuk mencapai tujuan bersama. Terdapat contoh model dengan koordinasi yaitu pada suatu rantai pasok peralatan elektronik, *eselon* produsen dan distributor melakukan koordinasi dengan berbagi informasi yang diperlukan seperti biaya yang diperlukan, tingkat permintaan komponen, waktu pengiriman. Kemudian produsen dan distributor merencanakan pesanan bersama seperti menentukan berapa banyak komponen yang akan dipesan dan dengan frekuensi seberapa sering pesanan akan dilakukan.

Dalam sistem distribusi *Type*-2, proses pengiriman produk sepenuhnya diserahkan kepada pihak eksternal, seperti jasa kurir logistik. Artinya, perusahaan batik sebagai produsen tidak terlibat langsung dalam aktivitas pengantaran barang kepada konsumen. Hal ini terjadi karena saat ini rantai pasok internal perusahaan belum mencakup sistem distribusi yang terstruktur atau dimiliki sendiri. Oleh karena itu, pengelolaan distribusi dilakukan secara independen oleh pihak eksternal. Namun, seiring berkembangnya kesadaran terhadap dampak lingkungan, perusahaan mulai mempertimbangkan untuk mengelola sendiri proses distribusi tersebut. Salah satu alasan utamanya adalah untuk dapat memperhitungkan dan mengendalikan emisi karbon yang dihasilkan selama proses pengiriman produk ke konsumen. Dengan demikian, perusahaan tidak hanya berfokus pada efisiensi biaya dan operasional, tetapi juga mulai memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan dalam aktivitas logistiknya.

Komponen Model

Notasi Model

Berikut merupakan notasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

**Indeks**

$v$ : pemasok (*vendor*)

$b$ : indeks pembeli (*buyer*), b = 1, 2, 3, 4, 5

$p$ : indeks produk, $p$ = 1, 2, 3, 4, 5

$t$ : periode, $t$ = 1, 2, …$T$

**Parameter**

| | | |
|---|---|---|
| $D$ | : permintaan pembeli ke pemasok | (unit) |
| $d$ | : permintaan antara pembeli ke pembeli lain | (unit) |
| σ | : standar deviasi permintaan pembeli | (unit/bulan) |
| $P$ | : ukuran *lot* produksi pemasok | (unit/bulan) |
| $Q$ | : ukuran *lot* pemesanan pembeli | (unit) |
| $A$ | : biaya pemesanan pembeli ke pemasok | (Rp/4pcs) |
| $A_{bb}$ | : biaya pemesanan pembeli ke pembeli lain | (Rp/4pcs) |
| $S$ | : biaya *setup* pemasok per sekali *setup* | (Rp/unit/bulan) |
| $EK$ | : biaya emisi karbon pemasok | (unit) |
| $h_v$ | : biaya simpan pemasok per unit per tahun | (Rp/unit/bulan) |
| $h_b$ | : biaya simpan pembeli per unit per tahun | (Rp/unit/bulan) |
| $r_b$ | : titik pemesanan ulang pembeli (*reorder point*) | (unit) |

$L$ : panjang waktu tenggang (*lead time*) (bulan)

$l_b$ : keuntungan yang hilang (*lost sales*) pembeli (Rp/unit)

$JTC$ : total biaya persediaan gabungan (Rp)

Variabel Keputusan dan Kriteria Performasi

Variabel keputusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$Q^*$ : ukuran *lot* pemesanan optimal pembeli (unit)

$P^*$ : ukuran *lot* produksi optimal pemasok (unit)

$r_b^*$ : titik pemesanan ulang pembeli (unit)

*Route* : urutan rute optimal (km)

Dan berikut merupakan kriteria perfomansi yang digunakan:

$TC_b$ : total biaya dari pembeli

$TC_v$ : total biaya dari pemasok

$TC_d$ : total biaya distribusi

$JTC$ : total biaya gabungan pembeli dan pemasok

Asumsi dan Batas Model

Terdapat asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model ini terbatas pada sistem persediaan pemasok tunggal, *multi* pembeli, dan *multi* produk.
2. Biaya transportasi per unit dari vendor ke *buyer* maupun *buyer* ke *buyer* adalah konstan dan independent terhadap jumlah pesanan, sehingga biaya transportasi bisa di abaikan.
3. Mempertimbangkan biaya emisi karbon transportasi per unit dari *vendor* ke *buyer*.
4. *Leadtime* adalah konstan yaitu 5 hari.
5. Tingkat produksi lebih besar dari 0
6. Tidak mempertimbangkan *safety stock* dan *backorder*.
7. Tidak ada *quantity discount.*
8. Biaya-biaya yang ada dalam penelitian ini adalah konstan tidak dipengaruhi oleh inflasi dan lainnya.

**Pengembangan Fungsi Model Matematika**

**Fungsi Tujuan**

Fungsi tujuan pada model yang dikembangkan yaitu untuk meminimasi total biaya gabungan antara pemasok dan pembeli yang terdiri dari biaya persediaan pemasok, biaya *setup* produksi,

biaya *lost sales* pemasok, biaya persediaan pembeli, biaya pemesanan ke pemasok, biaya *lost sales* pembeli, dan biaya pemesanan antar pembeli. Variabel keputusan dari model ini yaitu jumlah pemesanan produk dari pembeli ke pemasok, titik pemesanan kembali serta jumlah produksi yang optimal dari pemasok, sehingga diperoleh fungsi tujuan dari model ini sebagai berikut:

$$Minimasi\ JTC = TC_v + TC_b + TC_{dist} \quad (4.1)$$

Terkait komponen biaya yang terlibat pada fungsi tujuan akan dijelaskan secara rinci pada sub bab berikut:

**Total Biaya Pembeli ($TC_b$)**

1. Biaya Persediaan Pembeli

   Biaya persediaan pembeli merupakan biaya yang dikeluarkan oleh pembeli dalam menangani penyimpanan produk. Biaya persediaan pembeli merupakan biaya antara total dari jumlah persediaan selama periode tertentu dikalikan dengan biaya simpan pembeli per unit. Berikut merupakan rumus dalam menentukan biaya persediaan pembeli:

   $$HC_b = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} I_{btp} \times h_{bp} \quad (4.2)$$

   Dimana:

   $I_{btp}$ : Persediaan yang dimiliki oleh pembeli *b*, periode *t*, dan produk *p*

   $h_{bp}$: Biaya penyimpanan per unit pembeli *b* pada produk *p*

2. Biaya *Lost sales* Pembeli

   Biaya kekurangan (*Shortage Cost*) terdiri dari dua bagian yaitu ekspektasi biaya *backorder* dan biaya *Lost sales* (hilangnya penjualan). Biaya *shortage* muncul ketika terjadi ketidaksediaan produk pada waktu yang diperlukan dan tidak ada persediaan di gudang. Pada penelitian ini kekurangan persediaan dianggap sebagai *Lost sales* dan diasumsikan pembeli tidak melakukan *backorder* atau pemesanan ulang secara mendadak. *Lost sales* terjadi apabila pembeli tidak sanggup memenuhi permintaan pelanggan, yang di mana hal tersebut terjadi apabila terdapat permintaan yang lebih besar dari stok produk yang tersedia di gudang. Berikut merupakan rumus total biaya *Lost sales* yang ditanggung pembeli:

   $$SC_b = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} LS_{btp} \times l_b \quad (4.3)$$

   Dimana:

   $LS_{btp}$ : *Lost sales* yang terjadi pada pembeli *b*, periode *t*, dan produk *p*

   $l_b$ : Biaya *lost sales* per unit yang ditanggung oleh pembeli *b*, dan produk *p*

3. Biaya Pemesanan ke Pemasok

   Biaya pemesanan merupakan banyaknya biaya yang dikeluarkan oleh pembeli *b* pada saat melakukan pemesanan ke pemasok. Berikut merupakan rumus biaya pemesanan ke pemasok:

$$OC_{bv} = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} Q_{btp} \times A_{bv} \quad (4.4)$$

   Dimana:

   $Q_{btp}$ : Banyaknya pemesanan yang dilakukan oleh pembeli *b*, periode *t*, produk *p* ke pemasok

   $A_{bv}$ : Biaya pemesanan pembeli *b* ke pemasok

4. Biaya Pemesanan antar Pembeli

   Biaya pemesanan antar pembeli merupakan biaya yang dikeluarkan pada saat pembeli melakukan pemesanan produk ke pembeli lain. Data permintaan antar pembeli didapatkan dari hasil *generate random* berdasarkan data distribusi *uniform* menggunakan *Microsoft Excel*. Berikut merupakan rumus biaya pemesanan antar pembeli:

$$OC_{bb} = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} d_{btp} \times A_{bb} \quad (4.5)$$

   Dimana:

   $d_{btp}$ : Pemesanan yang dilakukan antar pembeli pada produk *b*, periode *t*, pembeli *p*

   $A_{bb}$ : biaya pemesanan antar pembeli

   Di mana:

   $HC_b$ : total biaya persediaan pembeli

   $SC_b$ : total biaya *Lost sales* pembeli

   $OC_{bv}$ : total biaya pemesanan pembeli ke pemasok

   $OC_{bb}$ : total biaya pemesanan pembeli ke pembeli

**Total Biaya Pemasok ($TC_v$)**

1. Biaya Persediaan Pemasok (*Inventory Cost*)

   Biaya persediaan pemasok atau dapat disebut biaya simpan merupakan biaya yang dikeluarkan oleh pemasok dalam menangani penyimpanan produk. Biaya persediaan dapat diperoleh dari perkalian antara total jumlah persediaan pada periode tertentu dengan biaya simpan pemasok per unit. Berikut merupakan rumus total biaya persediaan pemasok:

$$HC_v = \sum_{p=1}^{p} \sum_{t=1}^{t} I_{vtp} \times h_v \quad (4.6)$$

Dimana:

$I_{vtp}$ : Persediaan yang dimiliki oleh *vendor* pada periode *t* dan produk *p*

$h_v$ : Biaya simpan pada produk *p* milik pemasok

2. Biaya *Setup*

Biaya *setup* merupakan biaya yang diperoleh dari perkalian antara jumlah produksi dalam satu kali *setup* dikalikan dengan biaya *setup* yang harus dikeluarkan untuk setiap kali produksi. Berikut merupakan rumus total biaya *setup* yang harus dikeluarkan oleh *vendor*:

$$SC = \sum_{t=1}^{t} \left(\frac{t}{3}\right)_t \times S \quad (4.7)$$

3. Biaya Emisi Karbon

$$CC_v = (EC\ x\ CI\ x\ CT) x\ C_v$$

$$CC_v = \sum_{t=1}^{t} PC_{tv} \times\ C_v \quad (4.8)$$

Dimana :

EC : Konsumsi Energi tiap mesin yang dikeluarkan

CI : Intensitas Karbon

CT : Pajak Karbon

$PC_v$ : Jumlah Konsumsi Energi Emisi Karbon yang dikeluarkan Mesin

$C_v$ : Biaya Emisi Karbon

$$CC_s = \sum_{t=1}^{t} \left(\frac{t}{3}\right)_t x\ C_S \quad (4.9)$$

Dimana:

t = periode

$CC_v$ = biaya harian untuk emisi karbon

$CC_S$ = biaya emisi karbon untuk *setup*

**Total Biaya Gabungan (JTC)**

Total biaya gabungan dapat diperoleh dari penjumlahan total biaya antara pembeli dan pemasok. Sehingga total biaya gabungan dapat diperoleh dengan model matematis yang dirumuskan sebagai berikut:

$$JTC = HC_b + SC_b + OC_{bv} + OC_{bb} + HC_v + SC + CC_v + CC_s \quad (4.10)$$

$HC_v$ : total biaya persediaan pemasok

$SC$ : total biaya *setup* pemasok

$CC$ : total biaya emisi karbon pemasok

**Total Biaya Distribusi (TCd)**

1. Biaya Emisi Karbon Distribusi

   Biaya emisi karbon pada distribusi di hasilkan dari data aktivitas manusia yang menghasilkan emisi karbon dikalikan dengan faktor emisi serta biaya emisi karbon itu sendiri. Adapun aktiivitas manusia yang menghasilkan emisi karbon beruapa transportasi yang digunakan dalam pengiriman produk yang dipengaruhi berat produk (kg) dan jarak (km) dengan.

$$CC_d = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n} D_{ij} \times W_{ij}^{p} \times r_e \times E_c \quad (4.11)$$

   Dimana:

   $D_{ij}$ : total jarak dari lokasi awal (*i*) ke Lokasi tujuan (*j*)

   $W_{ij}^{p}$: total berat produk *p* yang dikirim dari lokasi *i* ke Lokasi tujuan *j*

   $r_e$ : emisi karbon yang dihasilkan dari kegiatan distribusi

   $E_c$ : Biaya Emisi Karbon

**Algoritma Model Pemecah Solusi**

Model pemecah solusi yang akan dilakukan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu solusi model kondisi ril tanpa koordinasi dan solusi model dengan koordinasi.

**Model Tanpa Koordinasi**

Model tanpa koordinasi adalah kondisi di mana pengambilan keputusan dilakukan secara masing-masing antara pemasok dan pembeli. Pembeli melakukan optimasi nilai *Q* dan *r* sendiri dan pemasok juga melakukan hal yang serupa yaitu melakukan optimasi nilai *P* dan *r* secara masing-masing. Tabel 4.6 merupakan langkah-langkah perhitungan model tanpa koordinasi pembeli.

Tabel 4. 6 Langkah-langkah perhitungan model tanpa koordinasi pembeli

| | |
|---|---|
| **1** | *Generate* data permintaan pada masing-masing pembeli untuk setiap produk batik dengan menggunakan fungsi *Ms. Excel* untuk distribusi normal dengan fungsi,<br>$= INT(NORMNIV(RAND(); D; \sigma))$,<br>sedangkan untuk distribusi *uniform* dapat menggunakan fungsi,<br>$= RANDBETWEEN(Batas\ Atas; Batas\ Bawah)$ |
| **2** | Membuat model simulasi perhitungan menggunakan tabel *Excel* yang terdiri dari tabel perhitungan total permintaan dari pelanggan dan pembeli lain, total persediaan akhir, banyaknya *lost sales*, dan total pemesanan. Rumusnya sebagai berikut:<br>Total Permintaan = Permintaan Pelanggan + Permintaan Pembeli<br>Persediaan Akhir = Persediaan Awal – Total Permintaan<br>*Lost sales* terjadi apabila terdapat permintaan yang lebih besar dari persediaan yang ada atau kondisi di mana persediaan akhir kurang dari 0 atau bernilai negatif. Hal tersebut dapat diketahui berarti permintaan pelanggan tidak dapat terpenuhi. |
| **3** | Pemesanan $Q_b$ terjadi apabila persediaan akhir kurang dari nilai *Reorder Point* dan tidak melakukan order pada periode sebelumnya. Nilai $Q_b$ dan $r_b$ pada awal perhitungan diasumsikan belum ada atau menggunakan angka *random* untuk kemudian dioptimasi menggunakan *solver Microsoft Excel* dengan *algoritma evolutionary*. Fungsi tujuan adalah melakukan minimasi total biaya masing-masing pembeli untuk setiap produk, dengan variabel pengubah $Q_b$ dan $r_b$ serta batasan-batasan tertentu. |
| **4** | Menghitung total biaya persediaan pembeli dengan rumus:<br>$$HC_b = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} I_{btp} \times h_b$$ |
| **5** | Menghitung total biaya *lost sales* pembeli dengan rumus:<br>$$SC_b = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} X_{btp} \times l_b$$ |
| **6** | Menghitung total biaya pemesanan ke pemasok dan biaya pemesanan antar pembeli dengan rumus berikut: |

$$OC_{bv} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} Q_{btp} \times A_{bv}$$

$$OC_{bb} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} d_{btp} \times A_{bb}$$

**7** Menghitung total biaya pembeli ($TC_b$) dengan menjumlahkan biaya persediaan pembeli, biaya *lost sales* pembeli, biaya pemesanan ke pemasok dan biaya pemesanan ke pembeli lain.

$$TC_b = HC_b + SC_b + OC_{bv} + OC_{bb}$$

Tabel 4.7 merupakan langkah-langkah perhitungan model tanpa koordinasi pemasok.

Tabel 4. 7 Langkah-langkah Perhitungan Model Tanpa Koordinasi Pemasok

**1** Data permintaan pemasok didapatkan dari total jumlah pemesanan yang dilakukan oleh pembeli untuk setiap produk selama periode *t*, total jumlah permintaan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$D = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} Q_b$$

Di mana :

$Q_b$ = Jumlah pemesanan dari pembeli *b*

**2** Membuat model simulasi perhitungan menggunakan tabel *Ms. Excel*, terdapat tabel yang diperlukan dalam melakukan perhitungan yaitu perhitungan total permintaan, total persediaan akhir, banyaknya *lost sales* dan total produksi. Berikut merupakan rumus perhitungan:

Total Permintaan = Total Pesanan Pembeli

Persediaan Akhir = Persediaan Awal – Permintaan

*Lost sales* terjadi apabila permintaan lebih besar daripada persediaan yang ada atau persediaan akhir kurang dari 0 atau negatif. Hal tersebut dapat diketahui berarti permintaan pelanggan tidak dapat terpenuhi.

| | |
|---|---|
| **3** | Pemasok melakukan produksi dengan Nilai *P* optimal dihitung menggunakan *solver Evolutionary* pada *Ms. Excel.* Fungsi tujuan dari penggunaan *solver Evolutionary* adalah untuk meminimasi total biaya pemasok untuk setiap produk, dengan variabel pengubah *P* serta batasan-batasan tertentu. |
| **4** | Menghitung total biaya persediaan pemasok untuk setiap produk dari semua *buyer* dengan rumus berikut: $$HC_v = \sum_{p=1}^{p}\sum_{t=1}^{t} I_{vtp} \times h_v$$ |
| **5** | Menghitung total biaya *setup* pemasok dengan rumus berikut: $$SC = \sum_{t=1}^{t}\sum_{v=1}^{v} \left(\frac{t}{3}\right) x\ S$$ |
| **6** | Menghitung total biaya emisi karbon pemasok dengan rumus berikut: $$CC_v = \sum_{p=1}^{p}\sum_{t=1}^{t} PC_v \times C_v$$ $$CC_s = \sum_{t=1}^{t}\sum_{v=1}^{v} \left(\frac{t}{3}\right) x\ C_S$$ |
| **7** | Menghitung total biaya pemasok ($TC_v$) dengan menjumlahkan biaya persediaan, biaya *Lost sales* dan biaya *setup* . $$TC_v = HC_v + SC_v + SC + CC$$ |

**Model Dengan Koordinasi**

Model dengan koordinasi adalah kondisi di mana pengambilan keputusan dilakukan secara terintegrasi antara pemasok dan pembeli. Pada model tersebut dilakukan optimasi biaya pada total biaya gabungan antara pemasok. Tabel 4.8 merupakan langkah-langkah dari penggunaan model dengan koordinasi.

Tabel 4. 8 Langkah-langkah perhitungan model dengan koordinasi

| | |
|---|---|
| **1.** | Menggunakan model awal yang sudah ada pada perhitungan sebelumnya |
| **2.** | Melakukan optimasi dengan melakukan *solver Evolutionary* pada *Ms. Excel* dengan opsi fungsi tujuan adalah sel total biaya gabungan antara semua pembeli dan pemasok. Variabel pengubah adalah nilai $Q_b$ dan $r_b$ dari pembeli dan dan $P$ dari pemasok yang diperoleh pada perhitungan sebelumnya. Terdapat batasan-batasan yang digunakan dalam melakukan optimasi sebagai berikut:<br>a. Nilai $Q_b$, $r_b$, dan $P$ merupakan bilangan integer<br>b. Terdapat batas bawah pada nilai $Q_b$ dan *rb* yaitu $\geq 0$ atau bernilai positif<br>c. Sedangkan batas atas pada nilai $Q_b$ dan *rb* yaitu $\leq 100$<br>d. Nilai $P$ bernilai positif $\leq 100$<br>e. Nilai $P$ lebih besar sama dengan ($P \geq 0$) |
| **3.** | Menghitung total persediaan akhir pembeli, total *lost sales* pembeli, total pemesanan pembeli, total persediaan akhir pemasok, total *lost sales* pemasok, dan total produksi pemasok. |
| **4.** | Menghitung total persediaan akhir pembeli dengan menggunakan rumus berikut:<br>$$HC_b = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} I_{btp} \times h_b$$ |
| **5.** | Menghitung total biaya *lost sales* pembeli dengan menggunakan rumus berikut:<br>$$SC_b = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} X_{btp} \times l_b$$ |
| **6.** | Menghitung total biaya pemesanan ke pemasok dan biaya pemesanan antar pembeli dengan menggunakan rumus berikut:<br>$$OC_{bv} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} Q_{btp} \times A_{bv}$$<br>$$OC_{bb} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} d_{btp} \times A_{bb}$$ |

**7.** Menghitung total biaya persediaan pemasok pada setiap produk dari semua pembeli dengan menggunakan rumus berikut:

$$HC_v = \sum_{p=1}^{p} \sum_{t=1}^{t} I_{vtp} \times h_v$$

**8.** Menghitung total biaya *setup* pemasok dengan menggunakan rumus berikut:

$$SC = \sum_{t=1}^{t} \sum_{v=1}^{v} \left(\frac{t}{3}\right) x\, S$$

**9.** Menghitung total biaya emisi karbon dengan rumus berikut:

$$CC_v = \sum_{p=1}^{p} \sum_{t=1}^{t} PC_v \times C_v$$

$$CC_s = \sum_{t=1}^{t} \sum_{v=1}^{v} \left(\frac{t}{3}\right) x\, C_S$$

**10.** Menghitung total biaya pembeli dan pemasok dengan menjumlahkan biaya-biaya berikut:

$$JTC = HC_b + SC_b + OC_{bv} + OC_{bb} + HC_v + SC_v + SC + CC_v$$

**Model Distribusi**

Model distribusi ini adalah model yang akan menentukan biaya emisi karbon pada saat pengiriman produk menggunakan transportasi, yang dimana total cost emisi karbon ini akan di totalkan dengan kedua model di atas yaitu model dengan koordinasi dan model tanpa koordinasi. Tabel 4.9 merupakan langkah-langkah model distribusi.

Tabel 4. 9 Langkah-langkah model distribusi

| Distribusi |
|---|
| No. Langkah-Langkah |

1. Menentukan Matriks Jarak
2. Menentukan Jarak antara Vendor-*Buyer*-Vendor secara acak terlebih dahulu dengan patokan pembuatan rute sementara
3. Menentukan berat yang akan di Angkut
4. Menentukan Biaya Emisi Karbon

$$CC_d = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n} D_{ij} \times W_{ij}^{p} \times r_e \times E_c$$

5. Menentukan Total Biaya Emisi Karbon

JTC = $CC_1 + CC_2 + CC_3 + CC_4 + +CC_5$

6. Melakukan optimasi dengan melakukan solver Evolutionary pada Ms. Excel dengan opsi fungsi tujuan adalah sel total biaya gabungan antara semua Produk Batik . Variabel pengubah adalah rute distribusi. Terdapat batasan-batasan yang digunakan dalam melakukan optimasi sebagai berikut:
   a. Nilai rute distribusi bernilai alldifferent

**Validasi Model**

Validasi model pada penelitian ini merupakan tahap pembuktian formulasi model dari model yang telah dikembangkan dengen melakukan pengecekan dimensi satuan model. Tahapan untuk melakukan validasi model dapat dilakukan dengen memeriksa kesesuaian dimensi satuan pada ruas kanan dan kiri. Pada tahapan ini digunakan sumber penelitian terdahulu dari Kusumawardhani (2022) sebagai dasaran pada validasi model yang akan dilakukan dengan penambahan variabel yaitu Biaya emiai karbon distribusi. Tabel 4.10 merupakan hasil validasi pada model yang dikembangkan:

Tabel 4. 10 Validasi model

| Persamaan | Pemeriksaan Satuan | Status |
|---|---|---|
| Biaya simpan pembeli | $HC_b = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} I_{btp} \times h_b$ | Valid |

| Persamaan | Pemeriksaan Satuan | Status |
|---|---|---|
| | $HC_b = unit \times \frac{Rp/unit}{bulan}$<br>$HC_b = \cancel{unit} \times \frac{Rp/\cancel{unit}}{\cancel{bulan}}$<br>$HC_b = Rp$ | |
| Biaya *lost sales* pembeli | $SC_b = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} X_{btp} \times l_b$<br>$SC_b = unit \times \frac{Rp}{unit}$<br>$SC_b = \cancel{unit} \times \frac{Rp}{\cancel{unit}}$<br>$SC_b = Rp$ | Valid |
| Biaya pemesanan pembeli ke pemasok | $OC_{bv} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} Q_{btp} \times A_{bv}$<br>$OC_{bv} = unit \times \frac{Rp}{unit}$<br>$OC_{bv} = \cancel{unit} \times \frac{Rp}{\cancel{unit}}$<br>$OC_{bv} = Rp$ | Valid |
| Biaya pemesanan pembeli ke pembeli | $OC_{bb} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} d_{btp} \times A_{bb}$<br>$OC_{bb} = unit \times \frac{Rp}{unit}$<br>$OC_{bb} = \cancel{unit} \times \frac{Rp}{\cancel{unit}}$<br>$OC_{bb} = Rp$ | Valid |
| Biaya simpan pemasok | $HC_v = \sum_{p=1}^{p}\sum_{t=1}^{t} I_{vtp} \times h_v$<br>$HC_v = unit \times \frac{Rp/unit}{bulan}$ | Valid |

| Persamaan | Pemeriksaan Satuan | Status |
|---|---|---|
| | $HC_v = \cancel{unit} \times \frac{Rp/\cancel{unit}}{\cancel{bulan}}$<br>$HC_v = \frac{Rp}{bulan}$<br>$HC_v = Rp$ | |
| Biaya *setup* pemasok | $SC = \sum_{t=1}^{t} \left(\frac{t}{3}\right)_t x\ S$<br>$SC = setup \times \frac{Rp}{setup}$<br>$SC = \cancel{setup} \times \frac{Rp}{\cancel{setup}}$<br>$SC = Rp$ | Valid |
| Biaya emisi karbon pemasok | $CC_v = \sum_{t=1}^{t} PC_t\ x\ C_v$<br>$CC_v = unit \times \frac{Rp}{unit}$<br>$CC_v = \cancel{unit} \times \frac{Rp}{\cancel{unit}}$<br>$CC_v = \frac{Rp}{bulan}$<br>$CC_v = Rp$ | Valid |
| | $CC_s = \sum_{t=1}^{t} \left(\frac{t}{3}\right)_t x\ C_S$<br>$SC = setup \times \frac{Rp}{setup}$ | Valid |

| Persamaan | Pemeriksaan Satuan | Status |
|---|---|---|
| | $SC = \cancel{setup} \times \frac{Rp}{\cancel{setup}}$<br>$SC = Rp$ | |
| Biaya Emisi Karbon Distribusi | $CC_d = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n} D_{ij} \times W_{ij}^{p} \times r_e \times E_c$<br>$CC_d = km\ x\ kg\ x\ \frac{kg.CO_2}{kg\ x\ km} \times \frac{Rp}{kg.CO_2}$<br>$CC_d = \cancel{km}\ x\ \cancel{kg}\ x\ \frac{\cancel{kg.CO_2}}{\cancel{kg}\ x\ \cancel{km}} \times \frac{Rp}{\cancel{kg.CO_2}}$<br>$CC_d = Rp$ | Valid |

## 4.3 Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan data sekunder, yang Dimana sudah dijelaskan pada bab metodologi penelitian sebelumnya. Pada tahap ini, peneliti melakukan perhitungan dengan 2 model yaitu model dengan koordinasi dan model tanpa koordinadiuntuk mengetahui model yang paling optimal.

A. Contoh Perhitungan Model Tanpa Koordinasi

a. Perhitungan untuk Biaya Pembeli

**Langkah pertama : Generate Data Permintaan Pembeli**

Dalam penelitian ini, data permintaan bersifat stokastik dikarenakan data tersebut bisa berdistribusi normal atau uniform dengan permintaan setiap periodenya berbeda-beda atau bervariasi. Kali ini, pada contoh perhitungan model tanpa koordinasi dilakukan pada permintaan dari *buyer* 1 ke produk batik 1 selama periode 60 hari atau 2 bulan. Pada *buyer* 1 memiliki nilai rata-rata distribusi permintaan sebesar 300 unit untuk produk 1, dengan standar deviasi sebasar 35 unit. Berikut ini merupakan hasil perhitungan generate data permintaan konsumen untuk *buyer* 1 ke produk batik 1 selama periode 60 hari:

Tabel 4. 11 Permintaan *Buyer* 1

| **Periode (t)** | **Permintaan (unit)** | **Periode (t)** | **Permintaan (unit)** |
|---|---|---|---|
| 1 | 12 | 31 | 11 |
| 2 | 10 | 32 | 10 |
| 3 | 11 | 33 | 8 |
| 4 | 8 | 34 | 11 |
| 5 | 9 | 35 | 9 |
| 6 | 11 | 36 | 11 |
| 7 | 10 | 37 | 10 |
| 8 | 9 | 38 | 9 |
| 9 | 9 | 39 | 10 |
| 10 | 10 | 40 | 10 |
| 11 | 8 | 41 | 10 |
| 12 | 11 | 42 | 10 |
| 13 | 9 | 43 | 9 |
| 14 | 7 | 44 | 10 |
| 15 | 10 | 45 | 10 |
| 16 | 10 | 46 | 13 |
| 17 | 9 | 47 | 7 |
| 18 | 9 | 48 | 12 |
| 19 | 11 | 49 | 10 |
| 20 | 10 | 50 | 8 |
| 21 | 9 | 51 | 9 |
| 22 | 10 | 52 | 11 |
| 23 | 11 | 53 | 9 |
| 24 | 11 | 54 | 10 |
| 25 | 9 | 55 | 10 |
| 26 | 9 | 56 | 10 |
| 27 | 9 | 57 | 11 |
| 28 | 9 | 58 | 10 |
| 29 | 12 | 59 | 10 |

| Periode (t) | Permintaan (unit) | Periode (t) | Permintaan (unit) |
|---|---|---|---|
| 30 | 11 | 60 | 11 |

Selain menerima permintaan langsung dari konsumen, *buyer* 1 juga mendapatkan permintaan produk 1 dari *buyer* 2 dan juga *buyer* 3. Konsep ini dikenal sebagai lateral transshipment. Di mana para pembeli dapat saling berbagi atau memenuhi kebetuhan satu sama lain untuk menjaga ketersediaan produk. Dalam hal ini, permintaan dari *buyer* 2 dan *buyer* 3 mengikuti distribusi uniform. *Buyer* 2 memiliki rentang permintaan dengan batas bawah 20 dan batas atas 100, sedangkan *buyer* 3 memiliki batas bawah 20 dan batas atas 150. Berikut ini hasil simulasi perminyaan yang diteruskan dari *buyer* 2 ke *buyer* 1:

Tabel 4. 12 Permintaan *Buyer* 2 ke *Buyer* 1

| Periode (t) | Permintaan (unit) | Periode (t) | Permintaan (unit) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 31 | 0 |
| 2 | 0 | 32 | 0 |
| 3 | 0 | 33 | 0 |
| 4 | 0 | 34 | 1 |
| 5 | 0 | 35 | 0 |
| 6 | 0 | 36 | 0 |
| 7 | 1 | 37 | 0 |
| 8 | 0 | 38 | 0 |
| 9 | 0 | 39 | 0 |
| 10 | 0 | 40 | 0 |
| 11 | 0 | 41 | 1 |
| 12 | 0 | 42 | 0 |
| 13 | 0 | 43 | 0 |
| 14 | 3 | 44 | 0 |
| 15 | 0 | 45 | 0 |
| 16 | 0 | 46 | 0 |

| Periode (t) | Permintaan (unit) | Periode (t) | Permintaan (unit) |
|---|---|---|---|
| 17 | 0 | 47 | 0 |
| 18 | 0 | 48 | 1 |
| 19 | 0 | 49 | 0 |
| 20 | 1 | 50 | 0 |
| 21 | 0 | 51 | 0 |
| 22 | 0 | 52 | 0 |
| 23 | 0 | 53 | 0 |
| 24 | 0 | 54 | 0 |
| 25 | 0 | 55 | 0 |
| 26 | 0 | 56 | 1 |
| 27 | 3 | 57 | 0 |
| 28 | 0 | 58 | 0 |
| 29 | 0 | 59 | 0 |
| 30 | 0 | 60 | 0 |

Tabel 4. 13 Permintaan *Buyer* 3 ke *Buyer* 1

| Periode (t) | Permintaan (unit) | Periode (t) | Permintaan (unit) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 31 | 0 |
| 2 | 0 | 32 | 0 |
| 3 | 0 | 33 | 0 |
| 4 | 0 | 34 | 4 |
| 5 | 0 | 35 | 0 |
| 6 | 0 | 36 | 0 |
| 7 | 1 | 37 | 0 |
| 8 | 0 | 38 | 0 |
| 9 | 9 | 39 | 0 |
| 10 | 0 | 40 | 0 |
| 11 | 0 | 41 | 0 |
| 12 | 0 | 42 | 1 |
| 13 | 1 | 43 | 0 |

| Periode (t) | Permintaan (unit) | Periode (t) | Permintaan (unit) |
|---|---|---|---|
| 14 | 0 | 44 | 0 |
| 15 | 0 | 45 | 0 |
| 16 | 0 | 46 | 0 |
| 17 | 0 | 47 | 0 |
| 18 | 0 | 48 | 4 |
| 19 | 0 | 49 | 0 |
| 20 | 0 | 50 | 0 |
| 21 | 2 | 51 | 0 |
| 22 | 0 | 52 | 0 |
| 23 | 0 | 53 | 0 |
| 24 | 0 | 54 | 0 |
| 25 | 0 | 55 | 5 |
| 26 | 0 | 56 | 0 |
| 27 | 3 | 57 | 0 |
| 28 | 0 | 58 | 0 |
| 29 | 0 | 59 | 0 |
| 30 | 0 | 60 | 0 |

**Langkah Kedua : Membuat Model Simulasi Perhitungan Total Permintaan, Total Persediaan, dan *Lost sales*.**

Pada tahap ini, akan dilakukan contoh perhitungan model khusus untuk *buyer* 1 pada produk 1 sebagai ilustarsi awal. Sementara itu, perhitungan lengkap yang mencakup seluruh *buyer* dan produk secara keseluruhan dapat ditemukan pada lembar lampiran untuk referensi lebih lanjut.

Dalam proses ini, *buyer* 1 menerapkan kebijakan pemesanan yang telah dioptimalkan menggunakan metode *Solver Evolutionary*. Hail optimasi ini menjadi dasar dalam menetukan startegi pemesanan yang lebih efisien guna memastikan ketersediaan produk

tetap terjaga dengan biaya seminimal mungkin. Tabel 4.14 adalah hasil optimasi *solver evolutionary* pada jumlah pemesanan dan titik pemesanan ulang.

Tabel 4. 14 Hasil Optimasi Solver Evolutionary Jumlah Pemesanan dan Titik Pemesanan Ulang *Buyer* 1

| **Persediaan Awal (unit)** | **Jumlah Pemesanan Q (unit)** | ***Reorder Point* r (unit)** | **Lead Time (hari)** |
|---|---|---|---|
| 20 | 35 | 43 | 5 |

Tabel 4.15 menunjukkan hasil perhitungan optimasi *buyer* 1.

Tabel 4. 15 Perhitungan Model Optimasi *Buyer* 1

| **Periode (t)** | **Persediaan Awal** | **Total Permintaan** | ***Ending Inventory*** | ***Order Received from Vendor*** | ***Order Received from Buyer* 5** | ***Lost sales*** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 12 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 8 | 10 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 3 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| 4 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 5 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| 6 | 0 | 11 | 25 | 35 | 1 | 0 |
| 7 | 30 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 18 | 9 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 9 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| 11 | 0 | 8 | 27 | 35 | 0 | 0 |
| 12 | 32 | 11 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 21 | 9 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 11 | 7 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 15 | 2 | 10 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 16 | 0 | 10 | 26 | 35 | 0 | 0 |

| **Periode (t)** | **Persediaan Awal** | **Total Permintaan** | ***Ending Inventory*** | ***Order Received from Vendor*** | ***Order Received from Buyer* 5** | ***Lost sales*** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 30 | 9 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 21 | 9 | 7 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 12 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| 21 | 0 | 9 | 25 | 35 | 1 | 0 |
| 22 | 30 | 10 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 20 | 11 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 9 | 11 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 25 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| 26 | 0 | 9 | 26 | 35 | 0 | 0 |
| 27 | 31 | 9 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 16 | 9 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| 29 | 8 | 12 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 30 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| 31 | 0 | 11 | 24 | 35 | 0 | 0 |
| 32 | 29 | 10 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | 19 | 8 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | 11 | 11 | 0 | 0 | 2 | 5 |
| 35 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| 36 | 0 | 11 | 24 | 35 | 0 | 0 |
| 37 | 29 | 10 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | 19 | 9 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| 41 | 0 | 10 | 24 | 35 | 0 | 0 |
| 42 | 29 | 10 | 14 | 0 | 1 | 0 |
| 43 | 19 | 9 | 5 | 0 | 0 | 0 |

| **Periode (t)** | **Persediaan Awal** | **Total Permintaan** | ***Ending Inventory*** | ***Order Received from Vendor*** | ***Order Received from Buyer* 5** | ***Lost sales*** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 44 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| 46 | 0 | 13 | 22 | 35 | 0 | 0 |
| 47 | 27 | 7 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 48 | 20 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 49 | 3 | 10 | 0 | 0 | 1 | 7 |
| 50 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 51 | 0 | 9 | 26 | 35 | 0 | 0 |
| 52 | 31 | 11 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 53 | 20 | 9 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| 54 | 11 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 55 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 14 |
| 56 | 0 | 10 | 26 | 35 | 2 | 0 |
| 57 | 31 | 11 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 58 | 20 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 59 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 11 |

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan diatas, dapat diperoleh beberapa informasi penting, seperti jumlah pemesanan yang dilakukan ke pemasok, jumlah pemesanan yang diterima dari pembeli lain, total *lost sales*, serta jumlah persediaan akhir yang tersedia. Setelah data-data ini dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis lebih lanjut untuk menghitung berbagai komponen biaya yang dikeluarkan oleh pembeli. Perhitungan biaya ini mencakup biaya pemesanan, biaya penyimpanan, serta potensi kerugian akibat *lost sales* yang nantinya akan menjadi dasar dalam pengambilan keputusan strategis terkait manajemen persediaan.

**Langkah Ketiga : Melakukan Optimasi $Q_b$dan $r_b$**

Proses optimasi $Q_b$dan $r_b$ dapat dilakukan dengan menggunakan solver yang tersedia pada *Microsoft Excel*, khususnya menggunakan *Algoritma evolutionary*. Dalam optimasi ini, tujuan utama yang ingin dicapai adalah meminimalkan total biaya yang dikeluarkan oleh *buyer* 1 untuk produk 1. Agar optimasi berjalan efektif, terdapat beberapa variabel yang dapat disesuaikan, yaitu $Q_b$ (jumlah pemesan) dan $r_b$ (titik pemesanan kembali). Kedua variabel ini akan diubah secara dinamis sesuai dengan batasan-batasan tertentu guna memastikan bahwa strategi pemesanan tetap optimal, efisein, dan selaras dengan kebutuhan operasional. Berikut ini adalah batasa-batasan yang diterapkan dalam proses optimasi ini:

1. $Q_b$dan $r_b$ lebih dari sama dengan 0 atau bernilai positif
2. $Q_b$dan $r_b$ merupakan bilangan integer.

Tabel 4.16 merupakan hasil optimasi $Q_b$dan $r_b$ pada *buyer* 1 untuk produk 1 dengan menggunakan Batasan-batasan diatas:

Tabel 4. 16 Hasil Optimasi $Q_b$dan $r_b$ pada *Buyer* 1

| **Jumlah Pemesanan $Q_b$ (unit)** | ***Reorder Point* $r_b$ (unit)** |
|---|---|
| 35 | 43 |

**Langkah Keempat : Perhitungan Biaya Persediaan Pembeli**

Biaya penyimpanan yang harus ditanggung oleh pembeli dapat dihitung dengan mengalikan total jumlah persediaan dengan biaya simpan per unit yang berlaku pada *buyer* 1 untuk produk 1. Perhitungan ini sangat penting untuk mengetahui seberapa besar biaya yang dikeluarkan dalam pengelolaan stok dan memastikan bahwa strategi penyimpanan tetap efisien. Adapun perhitungan sebagi berikut:

$$HC_b = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} I_{btp} \times h_b$$

$$HC_b = 491\ x\ 2.000$$

$$HC_b = Rp.982.000$$

**Langkah Kelima : Perhitungan Biaya *Lost sales* Pembeli**

Biaya *lost sales* yang harus ditanggung oleh pembeli dapat dihitung dengan mengalikan total jumlah *lost sales* dengan biaya kehilangan penjualan per unit yang berlaku pada *buyer* 1 untuk produk 1. Perhitungan ini penting untuk memahami dampak finansial dari ketersediaan produk serta mengidentifikasi langkah-langkah perbaikan dalam manajemen persediaan. Adapun perhitungan sebagai berikut:

$$SC_b = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} X_{btp} \times l_b$$

$$SC_b = 214\ x\ 20.000$$

$$SC_b = Rp.4.280.000$$

**Langkah Keenam : Perhitungan Biaya Pemesanan Pembeli ke Pemasok dan ke Pembeli lain**

Biaya pemesanan yang harus ditanggung oleh pembeli terdiri dari 2 jenis, yaitu biaya pemesanan ke pemasok dan biaya pemesanan ke pembeli lain. Dalam hal ini contoh, *buyer* 1 tidak hanya melakukan pemesanan produk 1 langsung kepada pemasok, tetapi juga melakukan pemesanan ke *buyer* 5 sebagai bagian dari strategi laterak transshipment untuk memenuhi kebutuhan stok.

Terdapat perhitungan biaya pemesanan pembeli kepada pemasok sebagai berikut:

$$OC_{bv} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} Q_{btp} \times A_{bv}$$

$$OC_{bv} = 420\ x\ \left(\frac{13000}{4pcs}\right)$$

$$OC_{bv} = Rp.1.365.000$$

Terdapat perhitungan biaya pemesanan pembeli kepada pembeli sebagai berikut:

$$OC_{bb} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} d_{btp} \times A_{bb}$$

$$OC_{bb} = 10\ x\ \left(\frac{13000}{4pcs}\right)$$

$$OC_{bb} = Rp.32.500$$

**Langkah Ketujuh : Perhitungan Total Biaya Pembeli**

Total biaya yang harus ditanggung oleh pembeli dapat dihitung dengan menjumlahkan seluruh komponen biaya yang terkait dengan pengelolaan persediaan. Komponen tersebut mencakup total biaya penyimpanan, total biaya *lost sales*, serta total biaya pemesanan baik yang dilakukan ke pemasok maupun ke pembali lain. Adapun perhitungan sebagai berikut:

$$TC_b = HC_b + SC_b + OC_{bv} + OC_{bb}$$

$$TC_b = Rp.982.000 + Rp.4.280.000 + Rp.1.365.000 + Rp.32.500$$

$$TC_b = Rp.6.659.500$$

b. Perhitungan Untuk Biaya Pemasok

**Langkah Pertama : Membuat Model Simulasi Perhitungan Total Permintaan, Total Persediaan, *Lost sales*, *Setup* , dan Emisi Karbon**

Perhitungan dalam model milik pemasok dilakukan secara terpisah untuk setiap produk, dengan permintaan yang dihitung berdasarkan akumulasi pemesanan dari seluruh pembeli. Model simulasi berikut ini mempresentasikan proses perhitungan yang digunakan oleh pemasok, dimana data permintaan diperoleh dari total pesanan yang diajukan oleh *buyer* 1 sampai *buyer* 5. Perhitungan lebih rinci mengenai hal ini dapat ditemukan dalam lembar lampiran sebagai referensi tambahan.

Dalam Upaya mengoptimalkan jumlah produksi untuk produk batik 1, dilakukan proses optimasi menggunakan solver yang tersedia di Microsoft excel, khususnya dengan menerapkan *algoritma evolutionary*. Melalui pendekatan ini, pemasok dapat menetukan jumlah produksi yang paling efisien guna memenuhi permintaan pasar tanpa menimbulkan kelebihan stok atau kekurangan pasokan. Tabel 4.17 adalah hasil optimasi yang diperoleh menggunakan *algoritma evolutionary*.

Tabel 4. 17 Hasil optimasi *production quantity* pada vendor

| Persediaan Awal I0 (unit) | Jumlah Produksi P (unit) |
|---|---|
| 100 | 18 |

Tabel 4.18 merupakan hasil model simulasi yang dimiliki oleh pemasok untuk produk batik 1.

Tabel 4. 18 Hasil perhitungan Model Optimasi pada vendor

| **Periode (t)** | **Persediaan Awal** | **Total *Demand*** | **Ending *Inventory*** |
|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 58 | 60 |
| 2 | 60 | 18 | 60 |
| 3 | 60 | 0 | 78 |
| 4 | 78 | 0 | 96 |
| 5 | 96 | 21 | 93 |
| 6 | 93 | 58 | 53 |
| 7 | 53 | 0 | 71 |
| 8 | 71 | 27 | 62 |
| 9 | 62 | 0 | 80 |
| 10 | 80 | 0 | 98 |
| 11 | 98 | 58 | 58 |
| 12 | 58 | 0 | 76 |
| 13 | 76 | 9 | 85 |
| 14 | 85 | 18 | 85 |
| 15 | 85 | 0 | 103 |
| 16 | 103 | 58 | 63 |
| 17 | 63 | 21 | 60 |
| 18 | 60 | 0 | 78 |
| 19 | 78 | 9 | 87 |
| 20 | 87 | 18 | 87 |
| 21 | 87 | 58 | 47 |
| 22 | 47 | 0 | 65 |
| 23 | 65 | 0 | 83 |
| 24 | 83 | 0 | 101 |
| 25 | 101 | 9 | 110 |
| 26 | 110 | 76 | 52 |

| Periode (t) | Persediaan Awal | Total *Demand* | Ending *Inventory* |
|---|---|---|---|
| 27 | 52 | 0 | 70 |
| 28 | 70 | 0 | 88 |
| 29 | 88 | 0 | 106 |
| 30 | 106 | 9 | 115 |
| 31 | 115 | 58 | 75 |
| 32 | 75 | 18 | 75 |
| 33 | 75 | 0 | 93 |
| 34 | 93 | 0 | 111 |
| 35 | 111 | 0 | 129 |
| 36 | 129 | 67 | 80 |
| 37 | 80 | 21 | 77 |
| 38 | 77 | 18 | 77 |
| 39 | 77 | 0 | 95 |
| 40 | 95 | 0 | 113 |
| 41 | 113 | 67 | 64 |
| 42 | 64 | 0 | 82 |
| 43 | 82 | 0 | 100 |
| 44 | 100 | 18 | 100 |
| 45 | 100 | 0 | 118 |
| 46 | 118 | 58 | 78 |
| 47 | 78 | 9 | 87 |
| 48 | 87 | 0 | 105 |
| 49 | 105 | 0 | 123 |
| 50 | 123 | 18 | 123 |
| 51 | 123 | 79 | 62 |
| 52 | 62 | 0 | 80 |
| 53 | 80 | 9 | 89 |
| 54 | 89 | 0 | 107 |
| 55 | 107 | 0 | 125 |

| Periode (t) | Persediaan Awal | Total *Demand* | Ending *Inventory* |
|---|---|---|---|
| 56 | 125 | 76 | 67 |
| 57 | 67 | 0 | 85 |
| 58 | 85 | 0 | 103 |
| 59 | 103 | 9 | 112 |
| 60 | 112 | 0 | 130 |

**Langkah Kedua : Melakukan Optimasi nilai P**

Proses optimasi *P* dapat dilakukan dengan menggunakan solver yang tersedia pada Microsoft Excel, khususnya menggunakan *Algoritma evolutionary*. Dalam optimasi ini, tujuan utama yang ingin dicapai adalah meminimalkan total biaya yang dikeluarkan oleh pemasok dengan variabel pengubah adalah P. Agar optimasi berjalan efektif, terdapat beberapa variabel yang dapat disesuaikan, yaitu P (production quanity). Variabel ini akan diubah secara dinamis sesuai dengan batasan-batasan tertentu guna memastikan bahwa strategi pemesanan tetap optimal, efisein, dan selaras dengan kebutuhan operasional. Berikut ini adalah batasa-batasan yang diterapkan dalam proses optimasi ini:

a. Nilai P memiliki nilai lebih besar dari 0 atau bernilai positif
b. Nilai P memiliki nilai kurang dari sama dengan 100
c. Nilai P merupakan bilangan integer.

Tabel 4.19 adalah hasil optimasi nilai P optimum untuk produk 1.

Tabel 4. 19 Hasil Optimasi *Solver Evolutionary* (P) Pemasok

| ***Production Quantity* P (unit)** |
|---|
| 18 |

**Langkah Ketiga : Perhitungan Biaya Persediaan Pemasok**

Biaya penyimpanan yang harus ditanggung oleh pemasok dapat dihitung dengan mengalikan total jumlah persediaan dengan biaya simpan per unit yang berlaku untuk produk batik 1. Perhitungan ini berperan penting dalam mengevaluasi efisiensi

manajemen stok serta mengidentifikasi potensi penghematan biaya dalam rantai pasok. Terdapat perhitungan sebagai berikut:

$$HC_v = \sum_{p=1}^{p} \sum_{t=1}^{t} I_{vtp} \times h_v$$

$$HC_v = 5325\ x\ 3.500$$

$$HC_v = Rp.18.322.500$$

**Langkah Keempat : Perhitungan Biaya *Setup* Pemasok**

Biaya *setup* yang harus dikeluarkan oleh pemasok dapat dihitung dengan mengalikan total jumlah produksi dengan biaya *setup* per unit yang berlaku untuk produk 1. Perhitungan ini berperan penting dalam menilai efisiensi proses produksi serta mengidentifikasi peluang pengurangan biaya operasional. Adapun perhitungan sebagai berikut:

$$SC = \sum_{p=1}^{p} \sum_{t=1}^{t} \left(\frac{t}{3}\right) \times S$$

$$SC = \frac{60}{3}\ x\ 5.700$$

$$SC = 20\ x\ 5.700$$

$$SC = Rp.114.000$$

**Langkah Kelima : Perhitungan Biaya Emisi Karbon**

Berikut ini adalah perhitungan biaya emisi karbon yang diperoleh dengan mengalikan total jumlah produksi dengan energi emisi karbon yang dihasilkan oleh mesin, serta dikalikan dengan biaya emisi karbon yang berlaku pada pemasok untuk produk batik 1. Berikut adalah perhitungan yang digunakan untuk menentukan total biaya emisi karbon dalam proses produksi produk batik 1:

Biaya Emisi Karbon untuk *Setup* :

$$CC_s = \sum_{t=1}^{t} \sum_{v=1}^{v} \left(\frac{t}{3}\right) \times C_v$$

$$CC_s = \left(\frac{60}{3}\right) x\ 7.800$$

$$CC_s = 20\ x\ 7.800$$

$CC_s = Rp.156.000$

Biaya Daily Emisi Karbon:

$$CC_v = \sum_{p=1}^{p} \sum_{t=1}^{t} PC_v \times C_v$$

$CC_v = 60\ x\ 62.400$

$CC_v = Rp.3.744.000$

**Langkah Keenam: Menghitung Total Biaya Pemasok**

Adapun total biaya pemasok untuk produk batik 1 adalag sebagai berikut:

$JTC_v = HC_v + SC_v + SC + CC_v$

$JTC_v = Rp.18.322.500 + \ Rp.0 + Rp.114.000 + \ Rp.3.744.000 + Rp.156.000$

$JTC_v = \ \ Rp.22.336.500$

d. Perhitungan Untuk Biaya Distribusi Pemasok

**Langkah Pertama : Membuat Model Simulasi Perhitungan Total Permintaan, Rute, Distance, Berat, dan Emisi Karbon**

Total permintaan semua *buyer* ini di dapatkan dari hasil perhitungan model tanpa koordinasi terkait total permintaanya keseluruhannya. Tabel 4.20 menunjukkan total permintaan semua *buyer* pada model tanpa koordinasi.

Tabel 4. 20 Total Permintaan Semua *Buyer* Pada Produk Batik Model Tanpa Koordinasi

| | **Total Permintaan** |
|---|---|
| *Buyer* 1 | 399 |
| *Buyer* 2 | 363 |
| *Buyer* 3 | 300 |
| *Buyer* 4 | 300 |
| *Buyer* 5 | 251 |

Tabel 4.21 menunjukkan hasil model simulasi biaya distribusi pemasok produk batik 1

Tabel 4. 21 Model Simulasi Biaya Distribusi Pemasok Produk Batik 1 *Buyer* 1 Porduk Batik

| | | |
|---|---|---|
| Total Permintaan | 1613 | |
| Rute | 1 | 6 |

**Langkah Kedua : Perhitungan Jarak Antar Vendor dan Masing-masing *Buyer***

Tabel 4.22 merupakan hasil matriks jarak.

Tabel 4. 22 Matriks jarak

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 2,0184138 | 4,3737586 | 5,4782366 | 5,1559448 | 4,9030224 |
| 2 | 2,0184138 | 0 | 5,0973533 | 4,8187479 | 4,9798794 | 5,1112945 |
| 3 | 4,3737586 | 5,0973533 | 0 | 9,6987311 | 9,5105467 | 9,2729675 |
| 4 | 5,4782366 | 4,8187479 | 9,6987311 | 0 | 1,2525474 | 2,2014543 |
| 5 | 5,1559448 | 4,9798794 | 9,5105467 | 1,2525474 | 0 | 0,9612392 |
| 6 | 4,9030224 | 5,1112945 | 2,2014543 | 2,2014543 | 0,9612391 | 0 |

Distance $= INDEX(Matriks\ Jarak; Vendor; Buyer)$

$Distance = INDEX$(Matriks Jarak; 1; *Buyer* 6)

$Distance = = 4,9030224$

Keterangan :

1 = Vendor

6 = *buyer* 5

**Langkah Ketiga : Perhitungan Berat Barang yang di Bawa**

Weight = $Buyer\ 1 + Buyer\ 2 + Buyer\ 3 + buyer\ 4 + Buyer\ 5$

$Weight = 1613$

**Langkah Keempat : Melakukan Optimasi Rute**

Proses optimasi $Route$ dapat dilakukan dengan menggunakan solver yang tersedia pada Microsoft Excel, khususnya menggunakan *Algoritma evolutionary*. Dalam optimasi ini, tujuan utama yang ingin dicapai adalah meminimalkan total biaya yang dikeluarkan oleh pemasok dengan variabel pengubah adalah Route. Agar optimasi berjalan efektif, terdapat beberapa variabel yang dapat disesuaikan, yaitu Route. Variabel ini akan diubah secara dinamis sesuai dengan batasan-batasan tertentu guna memastikan bahwa strategi distribusi, efisein, dan selaras. Berikut ini adalah batasa-batasan yang diterapkan dalam proses optimasi ini:

a. Nilai Route merupakan bilangan alldiffenrent

Tabel 2.3 merupakan hasil optimasi Route optimum untuk Produk Batik1 *Buyer* 1adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 23 Hasil Optimasi Produk Batik 1 *Buyer* 1

| | | |
|---|---|---|
| Total Permintaan | | 399 |
| Rute | Vendor | *Buyer* 1 |
| Distance | | 2,018 |
| Weight | | 1613 |
| Cost Emisi Karbon | | Rp. 19.543 |
| Total | | Rp. 19.543 |

**Langkah Kelima : Perhitungan Biaya Distribusi Emisi Karbon**

$$CC_d = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n} D_{ij} \times W_{ij}^{p} \times r_e \times E_c$$

$CC_v = 2{,}018x\ 1613\ x\ \frac{30.000}{1000}$ x 0,2

$CC_v = Rp.19.543$

Keterangan :

Carbon Tax = 30.000 ton/Co2

Conversion = 0,2

B. Contoh Perhitungan Model Dengan Koordinasi

**Langkah Pertama : Melakukan Optimasi $Q_b$ , $r_b$ , dan $P$**

Data yang digunakan dalam perhitungan model dengan koordinasi berasal dari perhitungan model tanpa koordinasi, baik dari sisi pembeli maupun pemasok. Data ini kemudian diolah lebih lanjut dengan menerapkan strategi optimasi guna meningkatkan efisensi rantai pasok secara keseluruhan.

Untuk mencapai Solusi optimal, dilakukan optimasi menggunakan solver yang tersedia di Microsoft Excel, dengan menggunakan *Algoritma evolutionary*. Proses optimasi ini mempertimbangkan berbagai Batasan dan parameter yang dirancang untuk memastikan keseimbangan antara biaya, persediaan, serta permintaan. Dengan pendekatan ini, diharapkan koordinasi antara pembeli dan pemasok dapat berjalan dengan efektif, sehingga menghasilkan strategi yang lebih hemat biaya dan berkelanjutan. Berikut ini adalah batasan-batasan yang diterapkan dalam proses optimasi ini:

a. Nilai $Q_b$ , $r_b$ , dan $P$ adalah bilangan integer
b. Terdapat batas bawah pada nilai $Q_b$ , $r_b$ yaitu lebih besar sama dengan 0 atau bernilai positif
c. Sedangkan batas atas pada nilai $Q_b$ dan $r_b$ yaitu lebih kecil sama dengan 100 dan lebih besar sama dengan 0

d. Nilai $P$ bernilai positif

e. Nilai $P$ lebih besar sama dengan 0

Tabel 4.24 ini merupakan hasil optimasi $Q_b$ , $r_b$ , dan $P$ pada setiap *buyer* dan pemasok untuk produk batik 1 dengan menggunakan batasan-batasan di atas:

Tabel 4. 24 Hasil Optimasi *Solver Evolutionary* pada *Buyer* 1

| *Buyer* | Jumlah Pemesanan (unit) | *Reorder Point* (unit) |
|---|---|---|
| *Buyer* 1 | 45 | 43 |
| *Buyer* 2 | 24 | 24 |
| 4*Buyer* 3 | 10 | 8 |
| *Buyer* 4 | 25 | 22 |
| *Buyer* 5 | 10 | 11 |

Tabel 4.25 menunjukkan hasil optimasi solver evolutionary pada vendor.

Tabel 4. 25 Hasil Optimasi *Solver Evolutionary* pada Vendor

| Jumlah Produksi (unit) |
|---|
| 23 |

**Langkah Kedua : Perhitungan Biaya Persediaan Pembeli**

Biaya penyimpanan yang harus ditanggung oleh pembeli dapat dihitung dengan mengalikan total jumlah persediaan dengan biaya simpan per unit yang berlaku pada *buyer* 1 untuk produk batik 1. Berikut ini perhitungan yang digunakan untuk menentukan total biaya penyimpanan yang harus dikeluarkan oleh pembeli:

$$HC_b = \sum_{b=1}^{b} \sum_{t=1}^{t} \sum_{p=1}^{p} I_{btp} \times h_b$$

$$HC_b = 830\ x\ 2.000$$

$$HC_b = Rp.1.660.000$$

**Langkah Ketiga : Perhitungan Biaya *Lost sales* Pembeli**

Biaya *lost sales* yang harus ditanggung oleh pembeli dapat dihitung dengan mengalikan total jumlah *lost sales* dengan biaya kehilangan penjualan per unit yang berlaku pada

*buyer* 1 untuk produk 1. Perhitungan ini penting untuk memahami dampak finansial dari ketersediaan produk serta mengidentifikasi langkah-langkah perbaikan dalam manajemen persediaan. Adapun perhitungan sebagai berikut:

$$SC_b = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} X_{btp} \times l_b$$

$$SC_b = 113\ x\ 20.000$$

$$SC_b = Rp.2.260.000$$

**Langkah Keempat : Perhitungan Biaya Pemesanan Pembeli ke Pemasok dan ke Pembeli lain**

Biaya pemesanan yang harus ditanggung oleh pembeli terdiri dari 2 jenis, yaitu biaya pemesanan ke pemasok dan biaya pemesanan ke pembeli lain. Dalam hal ini contoh, *buyer* 1 tidak hanya melakukan pemesanan produk 1 langsung kepada pemasok, tetapi juga melakukan pemesanan ke *buyer* 5 sebagai bagian dari strategi laterak transshipment untuk memenuhi kebutuhan stok.

Terdapat perhitungan biaya pemesanan pembeli kepada pemasok sebagai berikut:

$$OC_{bv} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} Q_{btp} \times A_{bv}$$

$$OC_{bv} = 540\ \text{x}\ \left(\frac{13.000}{4/pcs}\right)$$

$$OC_{bv} = Rp.1.755.000$$

Terdapat perhitungan biaya pemesanan pembeli kepada pembelisebagai berikut:

$$OC_{bb} = \sum_{b=1}^{b}\sum_{t=1}^{t}\sum_{p=1}^{p} d_{btp} \times A_{bb}$$

$$OC_{bb} = 10\ x\ \left(\frac{13.000}{4/pcs}\right)$$

$$OC_{bb} = Rp.32.500$$

**Langkah Kelima : Perhitungan Biaya Persediaan Pemasok**

Biaya penyimpanan yang harus ditanggung oleh pemasok dapat dihitung dengan mengalikan total jumlah persediaan dengan biaya simpan per unit yang berlaku untuk produk batik 1. Perhitungan ini berperan penting dalam mengevaluasi efisiensi

manajemen stok serta mengidentifikasi potensi penghematan biaya dalam rantai pasok. Terdapat perhitungan sebagai berikut:

$$HC_v = \sum_{p=1}^{p} \sum_{t=1}^{t} I_{vtp} \times h_v$$

$$HC_v = 6725\ x\ 3.500$$

$$HC_v = Rp.23.537.500$$

**Langkah Keenam : Perhitungan Biaya *Setup* Pemasok**

Biaya *setup* yang harus dikeluarkan oleh pemasok dapat dihitung dengan mengalikan total jumlah produksi dengan biata *setup* per unit yang berlaku untuk produk 1. Perhitungan ini berperan penting dalam menilai efisiensi proses produksi serta mengidentifikasi peluang pengurangan biaya operasional. Adapun perhitungan sebagai berikut:

$$SC = \sum_{p=1}^{p} \sum_{t=1}^{t} \left(\frac{t}{3}\right) \times S$$

$$SC = \left(\frac{60}{3}\right) x\ 5.700$$

$$SC = Rp.114.000$$

**Langkah Ketujuh : Perhitungan Biaya Emisi Karbon**

Berikut ini adalah perhitungan biaya emisi karbon yang diperoleh dengan mengalikan total jumlah produksi dengan energi emisi karbon yang dihasilkan oleh mesin, serta dikalikan dengan biaya emisi karbon yang berlaku pada pemasok untuk produk batik 1. Berikut adalah perhitungan yang digunakan untuk menentukan total biaya emisi karbon dalam proses produksi produk batik 1:

**Biaya Emisi Karbon untuk *Setup*** :

$$CC_s = \sum_{t=1}^{t} \sum_{v=1}^{v} \left(\frac{t}{3}\right) \times C_v$$

$$CC_s = \left(\frac{60}{3}\right) x\ 7.800$$

$$CC_s = 20\ x\ 7.800$$

$$CC_s = Rp.156.000$$

**Biaya Daily Emisi Karbon**:

$$CC_v = \sum_{p=1}^{p} \sum_{t=1}^{t} PC_v \times C_v$$

$$CC_v = 60\ x\ 62.400$$

$$CC_v = Rp.3.744.000$$

**Langkah Kedelapan : Menghitung Total Biaya Gabungan**

Total biaya gabungan yang diperoleh dengan menjumlahkan semua biaya antara pembeli dan pemasok. Adapun hasil perhitungan sebagai berikut:

$$JTC = HC_b + SC_b + OC_{bv} + OC_{bb} + HC_v + SC_v + SC + CC$$

$$JTC = Rp.1.660.000 + Rp.2.260.000 + Rp.1.755.000 +$$

$$Rp.32.500 + Rp.23.537.500 + Rp.0 + Rp.114.000 + Rp.156.000 +$$

$$Rp.3.744.000$$

$$JTC = Rp.33.259.000$$

Perhitungan Untuk Biaya Distribusi Pemasok

**Langkah Pertama : Membuat Model Simulasi Perhitungan Total Permintaan, Rute, Distance, Berat, dan Emisi Karbon**

Tabel 4.26 menunjukkan total permintaan semua *buyer* pada model dengan koordinasi

Tabel 4. 26 Total Permintaan Semua *Buyer* Model Tanpa Koordinasi

| | **Total Permintaan** |
|---|---|
| *Buyer* 1 | 412 |
| *Buyer* 2 | 273 |
| *Buyer* 3 | 432 |
| *Buyer* 4 | 234 |
| *Buyer* 5 | 327 |

Tabel 4.27 menunjukkan model simulasi biaya distribusi pemasok produl batik 1 *buyer* 1

Tabel 4. 27 Model Simulasi Biaya Distribusi Pemasok Produk Batik *Buyer* 5

| | | |
|---|---|---|
| Total Permintaan | | 1678 |
| Rute | 1 | 6 |

**Langkah Kedua : Perhitungan Jarak Antar Vendor dan Masing-masing *Buyer***

Tabel 4.28 merupakan hasil matriks jarak.

Tabel 4. 28 Matriks Jarak

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 2,0184138 | 4,3737586 | 5,4782366 | 5,1559448 | 4,9030224 |
| 2 | 2,0184138 | 0 | 5,0973533 | 4,8187479 | 4,9798794 | 5,1112945 |
| 3 | 4,3737586 | 5,0973533 | 0 | 9,6987311 | 9,5105467 | 9,2729675 |
| 4 | 5,4782366 | 4,8187479 | 9,6987311 | 0 | 1,2525474 | 2,2014543 |
| 5 | 5,1559448 | 4,9798794 | 9,5105467 | 1,2525474 | 0 | 0,9612392 |
| 6 | 4,9030224 | 5,1112945 | 2,2014543 | 2,2014543 | 0,9612391 | 0 |

Distance $= INDEX(Matriks\ Jarak; Vendor; Buyer)$

Distance $= INDEX($Matriks Jarak; 1; *Buyer* 6$)$

$Distance = 4,9030224$

Keterangan :

1 = Vendor

6 = *buyer* 5

**Langkah Ketiga : Perhitungan Berat Barang yang di Bawa**

Berat = $Buyer\ 1 + Buyer\ 2 + Buyer\ 3 + buyer\ 4 + Buyer\ 5$

$erat = 1678$

Keterangan :

Carbon Tax = 30.000 ton/Co2

Conversion = 0,2

**Langkah Keempat: Melakukan Optimasi Rute**

Proses optimasi $Route$ dapat dilakukan dengan menggunakan solver yang tersedia pada Microsoft Excel, khususnya menggunakan *Algoritma evolutionary*. Dalam optimasi ini, tujuan utama yang ingin dicapai adalah meminimalkan total biaya yang dikeluarkan oleh pemasok dengan variabel pengubah adalah Route. Agar optimasi berjalan efektif, terdapat beberapa variabel yang dapat disesuaikan, yaitu Route. Variabel ini akan diubah secara dinamis sesuai dengan batasan-batasan tertentu guna memastikan bahwa strategi distribusi, efisein, dan selaras. Berikut ini adalah batasa-batasan yang diterapkan dalam proses optimasi ini:

b. Nilai Route merupakan bilangan alldiffenrent

Tabel 4.29 adalah hasil optimasi Route optimum untuk Produk Batik1 *Buyer* 1.

Tabel 4. 29 Hasil Optimasi Produk Batik 1 *Buyer* 1

| | | |
|---|---|---|
| Total Permintaan | | 412 |
| Rute | Vendor | *Buyer* 1 |
| Distance | | 2,018 |
| Weight | | 1678 |
| Cost Emisi Karbon | | Rp. 20.321 |
| Total | | Rp. 20.321 |

**Langkah Kelima : Perhitungan Biaya Distribusi Emisi Karbon**

$$CC_d = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n} D_{ij} \times W_{ij}^{p} \times r_e \times E_c$$

$$CC_v = 2{,}018\ x\ 1678x\ \frac{30.000}{1000} \text{ x } 0{,}2$$

$$CC_v = Rp.20.321$$

## 4.4 Rangkuman Perhitungan Model Tanpa Koordinasi

A. Produk Batik 1

1. Hasil Perhitungan Biaya – biaya Pembeli

   Tabel 4.30 ni adalah hasil dari perhitungan Optimasi *Solver Evolutionary* Q_b , r_b Produk Batik 1 pada model tanpa koordinasi.

Tabel 4. 30 Hasil Perhitungan Optimasi *Solver Evolutionary* Q_b , r_b Produk Batik 1

| **Pembeli** | **Jumlah Pemesanan *Q* (unit)** | ***Reorder Point* (unit)** | ***Lead Time* (hari)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 35 | 43 | 5 |
| *Buyer 2* | 23 | 34 | 5 |
| *Buyer 3* | 21 | 12 | 5 |
| *Buyer 4* | 18 | 11 | 5 |
| *Buyer 5* | 9 | 6 | 5 |

Tabel 4.31 merupakan hasil perhitungan biaya persediaan atau *Inventory cost* pada Produk Batik 1.

Tabel 4. 31 Hasil Perhitungan Biaya Persediaan atau *Inventory Cost* pada Produk Batik 1

| **Pembeli** | **Total Persediaan Akhir (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp/unit)** | **Total Biaya Persediaan (Rp)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 491 | 2.000 | 982.000 |
| *Buyer 2* | 457 | 2.000 | 914.000 |
| *Buyer 3* | 956 | 2.000 | 1.912.000 |

| Pembeli | Total Persediaan Akhir (unit) | Biaya Persediaan (Rp/unit) | Total Biaya Persediaan (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 4* | 274 | 2.000 | 548.000 |
| *Buyer 5* | 243 | 2.000 | 486.000 |

Tabel 4.32 merupakan hasil perhitungan biaya *lost sales cost* pada Produk Batik 1.

Tabel 4. 32 Hasil Perhitungan Biaya *Lost sales Cos*t pada Produk Batik 1

| Pembeli | Total *Lost sales* (unit) | Biaya *Lost sales* (Rp/unit) | Total Biaya *Lost sales* (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 214 | 20.000 | 4.280.000 |
| *Buyer 2* | 55 | 25.000 | 1.375.000 |
| *Buyer 3* | 0 | 25.000 | 0 |
| *Buyer 4* | 91 | 35.000 | 3.185.000 |
| *Buyer 5* | 26 | 25.000 | 650.000 |

Tabel 4.33 dan 4.34 merupakan hasil perhitungan biaya pemesanan atau *ordering cost* kepada pemasok dan antar pembeli pada Produk Batik 1.

Tabel 4. 33 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada Vendor

| Pembeli | Total Pemesanan (unit) | Biaya Pemesanan (Rp/4 unit) | Total Biaya Pemesanan (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 420 | 13.000 | 1.365.000 |
| *Buyer 2* | 276 | 8.000 | 552.000 |
| *Buyer 3* | 84 | 10.000 | 210.000 |
| *Buyer 4* | 180 | 8.000 | 360.000 |
| *Buyer 5* | 90 | 13.000 | 292.500 |

Tabel 4. 34 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada *Buyer*

| Pembeli | Total Pemesanan (unit) | Biaya Pemesanan (Rp/unit) | Total Biaya Pemesanan (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1 to 5* | 10 | 13.000 | 32.500 |
| *Buyer 2 to 1* | 12 | 8.000 | 24.000 |
| *Buyer 3 to 1* | 21 | 8.000 | 42.000 |
| *Buyer 4 to 2* | 27 | 8.000 | 54.000 |

Dari rangkuman perhitungan di atas Tabel 4.35 menunjukkan jumlah pemesanan optimal serta jumlah biaya yang akan ditanggung oleh pembeli pada Produk Batik 1

Tabel 4. 35 Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli Produk Batik 1

| Pembeli | $Q_b$ (unit) | $r_b$ (unit) | Biaya Persediaan (Rp) | Biaya *Lost sales* (Rp) | Biaya Pemesanan ke Pemasok (Rp) | Biaya Pemesanan antar Pembeli (Rp) | Total Biaya Pembeli (Rp) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 35 | 43 | 982.000 | 4.280.000 | 1.365.000 | 32.500 | Rp. 17.407.500 |
| *Buyer 2* | 23 | 34 | 914.000 | 1.375.000 | 552.000 | 24.000 | |
| *Buyer 3* | 21 | 12 | 1.912.000 | 0 | 210.000 | 42.000 | |
| *Buyer 4* | 18 | 11 | 548.000 | 3.185.000 | 360.000 | 54.000 | |
| *Buyer 5* | 9 | 6 | 486.000 | 650.000 | 292.500 | - | |

2. Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pemasok

   Tabel 4.36 adalah hasil dari perhitungan biaya pemasok pada Produk Batik 1 yang diselesaikan menggunakan *solver evolutionary* pada model tanpa koordinasi.

Tabel 4. 36 Total Biaya Persediaan Pemasok pada Produk Batik 1

| Total Persediaan Akhir (unit) | Biaya Persediaan (Rp/unit) | Total Biaya Persediaan Pemasok (Rp) |
|---|---|---|
| 5235 | 3.500 | 18.322.500 |

Tabel 4.37 merupakan Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 1

Tabel 4. 37 Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 1

| **Total Jumlah *Setup* (hari)** | **Biaya *Setup* (Rp/unit)** | **Total Biaya *Setup* Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 20 | 5.700 | 114.000 |

Tabel 4.38 merupakan Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* Pemasok pada Produk Batik 1.

Tabel 4. 38 Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* Pemasok pada Produk Batik 1

| **Total Jumlah *Setup* (hari)** | **Biaya Emisi Karbon (Rp/Kg)** | **Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 20 | 7.800 | 156.000 |

Tabel 4.39 merupakan Total Biaya *Daily* Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 1.

Tabel 4. 39 Total Biaya *Daily* Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 1

| **Periode (t)** | **Biaya Emisi Karbon (Rp/Kg)** | **Total Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 60 | 62.400 | 3.744.000 |

Tabel 4.40 merupakan Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 1.

Tabel 4. 40 Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 1

| ***P* (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp)** | **Biaya *Setup* Produksi (Rp)** | **Biaya Emisi Karbon *for Setup* (Rp)** | **Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok (Rp)** | **Total Biaya Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 18.322.500 | 114.000 | 156.000 | 3.744.000 | 22.336.500 |

B. Produk Batik 2

1. Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli

Tabel 4.42 adalah hasil dari perhitungan biaya pembeli pada Produk Batik 2 yang diselesaikan menggunakan *solver evolutionary* pada model tanpa koordinasi.

Tabel 4. 41 Hasil Perhitungan Optimasi *Solver Evolutionary* Q_b , r_b Produk Batik 2

| **Pembeli** | **Jumlah Pemesanan *Q* (unit)** | ***Reorder Point* (unit)** | ***Lead Time* (hari)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 21 | 25 | 5 |
| *Buyer 2* | 35 | 40 | 5 |
| *Buyer 3* | 15 | 17 | 5 |
| *Buyer 4* | 10 | 15 | 5 |
| *Buyer 5* | 8 | 9 | 5 |

Tabel 4.42 merupakan hasil perhitungan biaya persediaan atau *Inventory cost* pada Produk Batik 2.

Tabel 4. 42 Hasil Perhitungan Biaya Persediaan atau *Inventory Cost* pada Produk Batik 2

| **Pembeli** | **Total Persediaan Akhir (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp/unit)** | **Total Biaya Persediaan (Rp)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 124 | 2.000 | 248.000 |
| *Buyer 2* | 229 | 2.000 | 458.000 |
| *Buyer 3* | 31 | 2.000 | 62.000 |
| *Buyer 4* | 7 | 2.000 | 14.000 |
| *Buyer 5* | 14 | 2.000 | 28.000 |

Tabel 4.43 merupakan hasil perhitungan biaya *lost sales cost* pada Produk Batik 2.

Tabel 4. 43 Hasil Perhitungan Biaya *Lost sales Cost* pada Produk Batik 2

| **Pembeli** | **Total *Lost sales* (unit)** | **Biaya *Lost sales* (Rp/unit)** | **Total Biaya *Lost sales* (Rp)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 383 | 25.000 | 9.575.000 |

| Pembeli | Total *Lost sales* (unit) | Biaya *Lost sales* (Rp/unit) | Total Biaya *Lost sales* (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 2* | 573 | 25.000 | 14.325.000 |
| *Buyer 3* | 637 | 30.000 | 19.110.000 |
| *Buyer 4* | 608 | 25.000 | 15.200.000 |
| *Buyer 5* | 457 | 25.000 | 11.425.000 |

Tabel 4.44 dan Tabel 4.45 merupakan hasil perhitungan biaya pemesanan atau *ordering cost* kepada pemasok dan antar pembeli pada Produk Batik 2.

Tabel 4. 44 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada Vendor

| Pembeli | Total Pemesanan (unit) | Biaya Pemesanan (Rp/4 unit) | Total Biaya Pemesanan (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 252 | 13.000 | 819.000 |
| *Buyer 2* | 420 | 8.000 | 840.000 |
| *Buyer 3* | 180 | 10.000 | 450.000 |
| *Buyer 4* | 129 | 8.000 | 240.000 |
| *Buyer 5* | 96 | 13.000 | 312.000 |

Tabel 4. 45 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada Vendor

| Pembeli | Total Pemesanan (unit) | Biaya Pemesanan (Rp/unit) | Total Biaya Pemesanan (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1 to 5* | 10 | 13.000 | 32.500 |
| *Buyer 2 to 1* | 16 | 8.000 | 32.000 |
| *Buyer 3 to 1* | 16 | 8.000 | 32.000 |
| *Buyer 4 to 2* | 10 | 8.000 | 20.000 |

Pada Tabel 4.46 menunjukkan semua rangkuman perhitungan di atas jumlah pemesanan optimal serta jumlah biaya yang akan ditanggung oleh pembeli pada Produk Batik 2.

Tabel 4. 46 Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli Produk Batik 2

| Pembeli | $Q_b$ (unit) | $r_b$ (unit) | Biaya Persediaan (Rp) | Biaya *Lost sales* (Rp) | Biaya Pemesanan ke Pemasok (Rp) | Biaya Pemesanan antar Pembeli (Rp) | Total Biaya Pembeli (Rp) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 21 | 25 | 248.000 | 9.575.000 | 819.000 | 32.500 | Rp. 73.402.000 |
| *Buyer 2* | 35 | 40 | 458.000 | 14.325.000 | 840.000 | 32.000 | |
| *Buyer 3* | 15 | 17 | 62.000 | 19.110.000 | 450.000 | 32.000 | |
| *Buyer 4* | 10 | 15 | 14.000 | 15.200.000 | 240.000 | 20.000 | |
| *Buyer 5* | 8 | 9 | 28.000 | 11.425.000 | 312.000 | - | |

2. Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pemasok

Tabel 4.47 adalah hasil dari perhitungan biaya pemasok pada Produk Batik 2 yang diselesaikan menggunakan *solver evolutionary* pada model tanpa koordinasi.

Tabel 4. 47 Total Biaya Persediaan Pemasok pada Produk Batik 2

| Total Persediaan Akhir (unit) | Biaya Persediaan (Rp/unit) | Total Biaya Persediaan Pemasok (Rp) |
|---|---|---|
| 4326 | 3.500 | 15.141.000 |

Pada Tabel 4.48 menunjukkan hasil Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 2.

Tabel 4. 48 Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 2

| Total Jumlah *Setup* (hari) | Biaya *Setup* (Rp/unit) | Total Biaya *Setup* Pemasok (Rp) |
|---|---|---|
| 20 | 5.700 | 114.000 |

Pada Tabel 4.49 menunjukkan hasil Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* pada Produk Batik 2.

Tabel 4. 49 Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* pada Produk Batik 2

| Total Jumlah *Setup* (hari) | Biaya Emisi Karbon (Rp/Kg) | Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* Pemasok (Rp) |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| 20 | 7.800 | 156.000 |

Pada Tabel 4.50 menunjukkan hasil Total Biaya *Daily* Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 2.

Tabel 4. 50 Total Biaya *Daily* Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 2

| **Periode (t)** | **Biaya Emisi Karbon (Rp/Kg)** | **Total Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 60 | 62.400 | 3.744.000 |

Pada Tabel 4.51 menunjukkan hasil Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 2.

Tabel 4. 51 Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 2

| ***P*** **(unit)** | **Biaya Persediaan (Rp)** | **Biaya *Setup* Produksi (Rp)** | **Biaya Emisi Karbon *for Setup* (Rp)** | **Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok (Rp)** | **Total Biaya Pemasok (Rp** |
|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 15.141.000 | 114.000 | 156.000 | 3.744.000 | 19.155.000 |

C. Produk Batik 3

1. Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli

Tabel 4.52 adalah hasil dari perhitungan biaya pembeli pada Produk Batik 3 yang diselesaikan menggunakan *solver evolutionary* pada model tanpa koordinasi.

Tabel 4. 52 Hasil Perhitungan Optimasi *Solver Evolutionary* Q_b , r_b Produk Batik 3

| **Pembeli** | **Jumlah Pemesanan *Q* (unit)** | ***Reorder Point* (unit)** | ***Lead Time* (hari)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 23 | 34 | 5 |
| *Buyer 2* | 18 | 19 | 5 |
| *Buyer 3* | 27 | 36 | 5 |
| *Buyer 4* | 17 | 27 | 5 |
| *Buyer 5* | 40 | 40 | 5 |

Tabel 4.53 merupakan hasil perhitungan biaya persediaan atau *Inventory cost* pada Produk Batik 3.

Tabel 4. 53 Hasil Perhitungan Biaya Persediaan atau *Inventory Cost* pada Produk Batik 3

| **Pembeli** | **Total Persediaan Akhir (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp/unit)** | **Total Biaya Persediaan (Rp)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 523 | 2.000 | 1.046.000 |
| *Buyer 2* | 446 | 2.000 | 892.000 |
| *Buyer 3* | 561 | 2.000 | 1.122.000 |
| *Buyer 4* | 484 | 2.000 | 968.000 |
| *Buyer 5* | 884 | 2.000 | 1.768.000 |

Tabel 4.54 merupakan hasil perhitungan biaya *lost sales cost* pada Produk Batik 3.

Tabel 4. 54 Hasil Perhitungan Biaya *Lost sales Cost* pada Produk Batik 3

| **Pembeli** | **Total *Lost sales* (unit)** | **Biaya *Lost sales* (Rp/unit)** | **Total Biaya *Lost sales* (Rp)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 47 | 20.000 | 940.000 |
| *Buyer 2* | 10 | 25.000 | 250.000 |
| *Buyer 3* | 33 | 25.000 | 825.000 |
| *Buyer 4* | 2 | 35.000 | 70.000 |
| *Buyer 5* | 37 | 25.000 | 925.000 |

Tabel 4.55 dan Tabel 4.56 merupakan hasil perhitungan biaya pemesanan atau *ordering cost* kepada pemasok dan antar pembeli pada Produk Batik 3.

Tabel 4. 55 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada Vendor

| **Pembeli** | **Total Pemesanan (unit)** | **Biaya Pemesanan (Rp/4 unit)** | **Total Biaya Pemesanan (Rp)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 276 | 13.000 | 897.000 |
| *Buyer 2* | 216 | 8.000 | 432.000 |
| *Buyer 3* | 324 | 10.000 | 810.000 |

| Pembeli | Total Pemesanan (unit) | Biaya Pemesanan (Rp/4 unit) | Total Biaya Pemesanan (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 4* | 204 | 8.000 | 408.000 |
| *Buyer 5* | 480 | 13.000 | 1.560.000 |

Tabel 4. 56 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada Vendor

| Pembeli | Total Pemesanan (unit) | Biaya Pemesanan (Rp/unit) | Total Biaya Pemesanan (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1 to 5* | 8 | 13.000 | 26.000 |
| *Buyer 2 to 1* | 27 | 8.000 | 54.000 |
| *Buyer 3 to 1* | 21 | 8.000 | 42.000 |
| *Buyer 4 to 2* | 20 | 8.000 | 40.000 |

Tabel 4.57 menunjukkan rangkuman perhitungan di atas jumlah pemesanan optimal serta jumlah biaya yang akan ditanggung oleh pembeli pada Produk Batik 3.

Tabel 4. 57 Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli Produk Batik 3

| Pembeli | $Q_b$ (unit) | $r_b$ (unit) | Biaya Persediaan (Rp) | Biaya *Lost sales* (Rp) | Biaya Pemesanan ke Pemasok (Rp) | Biaya Pemesanan antar Pembeli (Rp) | Total Biaya Pembeli (Rp) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 23 | 34 | 1.046.000 | 940.000 | 897.000 | 26.000 | Rp. 13.890.000 |
| *Buyer 2* | 18 | 19 | 892.000 | 250.000 | 432.000 | 54.000 | |
| *Buyer 3* | 27 | 36 | 1.122.000 | 825.000 | 810.000 | 42.000 | |
| *Buyer 4* | 17 | 27 | 968.000 | 70.000 | 408.000 | 40.000 | |
| *Buyer 5* | 40 | 40 | 1.768.000 | 925.000 | 1.560.000 | - | |

2. Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pemasok

   Tabel 4.58 adalah hasil dari perhitungan biaya pemasok pada Produk Batik 3 yang diselesaikan menggunakan *solver evolutionary* pada model tanpa koordinasi.

Tabel 4. 58 Total Biaya Persediaan Pemasok pada Produk Batik 3

| **Total Persediaan Akhir (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp/unit)** | **Total Biaya Persediaan Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 12150 | 3.500 | 42.525.000 |

Tabel 4.59 menunjukkan hasil Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 3

Tabel 4. 59 Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 3

| **Total Jumlah *Setup* (hari)** | **Biaya *Setup* (Rp/unit)** | **Total Biaya *Setup* Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 20 | 5.700 | 114.000 |

Tabel 4.60 menunjukkan hasil Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* pada Produk Batik 3.

Tabel 4. 60 Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* pada Produk Batik 3

| **Total Jumlah *Setup* (hari)** | **Biaya Emisi Karbon (Rp/Kg)** | **Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 20 | 7.800 | 156.000 |

Tabel 4.61 menunjukkan hasil Total Biaya *Daily* Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 3.

Tabel 4. 61 Total Biaya *Daily* Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 3

| **Periode (t)** | **Biaya Emisi Karbon (Rp/Kg)** | **Total Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 60 | 62.400 | 3.744.000 |

Tabel 6.62 menunjukkan hasil Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 3.

Tabel 4. 62 Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 3

| ***P*** **(unit)** | **Biaya Persediaan (Rp)** | **Biaya *Setup* Produksi (Rp)** | **Biaya Emisi Karbon *for Setup* (Rp)** | **Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok (Rp)** | **Total Biaya Pemasok (Rp** |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 42.525.000 | 114.000 | 156.000 | 3.744.000 | 46.539.000 |

D. Produk Batik 4

1. Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli

Tabel 4.63 adalah hasil dari perhitungan biaya pembeli pada Produk Batik 4 yang diselesaikan menggunakan *solver evolutionary* pada model tanpa koordinasi.

Tabel 4. 63 Hasil Perhitungan Optimasi *Solver Evolutionary* Q_b , r_b Produk Batik 4

| **Pembeli** | **Jumlah Pemesanan *Q* (unit)** | ***Reorder Point* (unit)** | ***Lead Time* (hari)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 18 | 42 | 5 |
| *Buyer 2* | 31 | 42 | 5 |
| *Buyer 3* | 27 | 47 | 5 |
| *Buyer 4* | 15 | 9 | 5 |
| *Buyer 5* | 24 | 19 | 5 |

Tabel 4.64 merupakan hasil perhitungan biaya persediaan atau *Inventory cost* pada Produk Batik 4.

Tabel 4. 64 Hasil Perhitungan Biaya Persediaan atau *Inventory Cost* pada Produk Batik 4

| **Pembeli** | **Total Persediaan Akhir (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp/unit)** | **Total Biaya Persediaan (Rp)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 378 | 2.000 | 756.000 |

| Pembeli | Total Persediaan Akhir (unit) | Biaya Persediaan (Rp/unit) | Total Biaya Persediaan (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 2* | 727 | 2.000 | 1.454.000 |
| *Buyer 3* | 299 | 2.000 | 598.000 |
| *Buyer 4* | 114 | 2.000 | 228.000 |
| *Buyer 5* | 90 | 2.000 | 180.000 |

Tabel 4.65 merupakan hasil perhitungan biaya *lost sales cost* pada Produk Batik 4.

Tabel 4. 65 Hasil Perhitungan Biaya *Lost sales Cost* pada Produk Batik 4

| Pembeli | Total *Lost sales* (unit) | Biaya *Lost sales* (Rp/unit) | Total Biaya *Lost sales* (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 37 | 20.000 | 740.000 |
| *Buyer 2* | 38 | 25.000 | 950.000 |
| *Buyer 3* | 274 | 30.000 | 8.220.000 |
| *Buyer 4* | 261 | 25.000 | 6.525.000 |
| *Buyer 5* | 279 | 25.000 | 16.975.000 |

Tabel 4.66 dan Tabel 4.67 merupakan hasil perhitungan biaya pemesanan atau *ordering cost* kepada pemasok dan antar pembeli pada Produk Batik 4.

Tabel 4. 66 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cos*t pada Vendor

| Pembeli | Total Pemesanan (unit) | Biaya Pemesanan (Rp/4 unit) | Total Biaya Pemesanan (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 216 | 13.000 | 702.000 |
| *Buyer 2* | 372 | 8.000 | 744.000 |
| *Buyer 3* | 324 | 10.000 | 810.000 |
| *Buyer 4* | 165 | 8.000 | 330.000 |
| *Buyer 5* | 228 | 13.000 | 936.000 |

Tabel 4. 67 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau *Ordering Cost* pada Vendor

| **Pembeli antar Pembeli** | **Total Pemesanan (unit)** | **Biaya Pemesanan (Rp/4 unit)** | **Total Biaya Pemesanan (Rp)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1 to 5* | 11 | 13.000 | 35.750 |
| *Buyer 2 to 1* | 15 | 8.000 | 30.000 |
| *Buyer 3 to 1* | 18 | 8.000 | 36.000 |
| *Buyer 4 to 2* | 15 | 8.000 | 30.000 |

Tabel 4.68 merupakan rangkuman perhitungan di atas jumlah pemesanan optimal serta jumlah biaya yang akan ditanggung oleh pembeli pada Produk Batik 4.

Tabel 4. 68 Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli Produk Batik 4

| **Pembeli** | **$Q_b$ (unit)** | **$r_b$ (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp)** | **Biaya *Lost sales* (Rp)** | **Biaya Pemesanan ke Pemasok (Rp)** | **Biaya Pemesanan antar Pembeli (Rp)** | **Total Biaya Pembeli (Rp)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 18 | 42 | 756.000 | 740.000 | 702.000 | 35.750 | Rp. 40.444.000 |
| *Buyer 2* | 31 | 42 | 1.454.000 | 950.000 | 744.000 | 30.000 | |
| *Buyer 3* | 27 | 47 | 598.000 | 8.220.000 | 810.000 | 36.000 | |
| *Buyer 4* | 15 | 9 | 228.000 | 6.525.000 | 330.000 | 30.000 | |
| *Buyer 5* | 24 | 19 | 180.000 | 16.975.000 | 936.000 | - | |

2. Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pemasok

   Tabel 4.69 adalah hasil dari perhitungan biaya pemasok pada Produk Batik 4 yang diselesaikan menggunakan *solver evolutionary* pada model tanpa koordinasi.

Tabel 4. 69 Total Biaya Persediaan Pemasok pada Produk Batik 4

| **Total Persediaan Akhir (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp/unit)** | **Total Biaya Persediaan Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 3690 | 3.500 | 12.915.000 |

Tabel 4.70 merupakan hasil Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 4.

Tabel 4. 70 Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 4

| **Total Jumlah *Setup* (hari)** | **Biaya *Setup* (Rp/unit)** | **Total Biaya *Setup* Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 20 | 5.700 | 114.000 |

Tabel 4.71 merupakan hasil Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* pada Produk Batik 4.

Tabel 4. 71 Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* pada Produk Batik 4

| **Total Jumlah *Setup* (hari)** | **Biaya Emisi Karbon (Rp/Kg)** | **Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 20 | 7.800 | 156.000 |

Tabel 4.72 merupakan hasil Total Biaya *Daily* Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 4.

Tabel 4. 72 Total Biaya *Daily* Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 4

| **Periode (t)** | **Biaya Emisi Karbon (Rp/Kg)** | **Total Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 60 | 62.400 | 3.744.600 |

Tabel 4.73 merupakan Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 4.

Tabel 4. 73 Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 4

| ***P* (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp)** | **Biaya *Setup* Produksi (Rp)** | **Biaya Emisi Karbon *for Setup* (Rp)** | **Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok (Rp)** | **Total Biaya Pemasok (Rp** |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 12.915.000 | 114.000 | 156.000 | 3.744.000 | 16.929.000 |

E. Produk Batik 5

1. Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli

Tabel 4.74 adalah hasil dari perhitungan biaya pembeli pada Produk Batik 5 yang diselesaikan menggunakan *solver evolutionary* pada model tanpa koordinasi.

Tabel 4. 74 Hasil Perhitungan Optimasi Solver Evolutionary Q_b , r_b Produk Batik 5

| **Pembeli** | **Jumlah Pemesanan *Q* (unit)** | ***Reorder Point* (unit)** | ***Lead Time* (hari)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 36 | 45 | 5 |
| *Buyer 2* | 14 | 10 | 5 |
| *Buyer 3* | 24 | 30 | 5 |
| *Buyer 4* | 21 | 29 | 5 |
| *Buyer 5* | 4 | 6 | 5 |

Tabel 4.75 merupakan hasil perhitungan biaya persediaan atau *Inventory cost* pada Produk Batik 5.

Tabel 4. 75 Hasil Perhitungan Biaya Persediaan atau *Inventory Cost* pada Produk Batik 5

| **Pembeli** | **Total Persediaan Akhir (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp/unit)** | **Total Biaya Persediaan (Rp)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 588 | 2.000 | 1.116.000 |
| *Buyer 2* | 19 | 2.000 | 380.000 |
| *Buyer 3* | 300 | 2.000 | 600.000 |
| *Buyer 4* | 521 | 2.000 | 1.042.000 |
| *Buyer 5* | 10 | 2.000 | 20.000 |

Tabel 4.76 merupakan hasil perhitungan biaya *lost sales cost* pada Produk Batik 5.

Tabel 4. 76 Hasil Perhitungan Biaya *Lost sales Cost* pada Produk Batik 5

| **Pembeli** | **Total *Lost sales* (unit)** | **Biaya *Lost sales* (Rp/unit)** | **Total Biaya *Lost sales* (Rp)** |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 164 | 20.000 | 4.100.000 |

| Pembeli | Total *Lost sales* (unit) | Biaya *Lost sales* (Rp/unit) | Total Biaya *Lost sales* (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 2* | 626 | 25.000 | 15.650.000 |
| *Buyer 3* | 181 | 25.000 | 5.430.000 |
| *Buyer 4* | 27 | 35.000 | 675.000 |
| *Buyer 5* | 527 | 25.000 | 13.175.000 |

Tabel 4.77 dan Tabel 4.78 merupakan hasil perhitungan biaya pemesanan atau *ordering cost* kepada pemasok dan antar pembeli pada Produk Batik 5.

Tabel 4. 77 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau Ordering Cost pada Vendor

| Pembeli | Total Pemesanan (unit) | Biaya Pemesanan (Rp/4 unit) | Total Biaya Pemesanan (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 432 | 13.000 | 1.404.000 |
| *Buyer 2* | 168 | 8.000 | 336.000 |
| *Buyer 3* | 288 | 10.000 | 720.000 |
| *Buyer 4* | 252 | 8.000 | 504.000 |
| *Buyer 5* | 48 | 13.000 | 156.000 |

Tabel 4. 78 Hasil Perhitungan Biaya Pemesanan atau Ordering Cost pada Vendor

| Pembeli | Total Pemesanan (unit) | Biaya Pemesanan (Rp/unit) | Total Biaya Pemesanan (Rp) |
|---|---|---|---|
| *Buyer 1 to 5* | 18 | 13.000 | 58.500 |
| *Buyer 2 to 1* | 15 | 8.000 | 30.000 |
| *Buyer 3 to 1* | 11 | 8.000 | 22.000 |
| *Buyer 4 to 2* | 54 | 8.000 | 108.000 |

Tabel 4.79 merupakan rangkuman perhitungan di atas jumlah pemesanan optimal serta jumlah biaya yang akan ditanggung oleh pembeli pada Produk Batik 5.

Tabel 4. 79 Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pembeli Produk Batik 5

| Pembeli | $Q_b$ (unit) | $r_b$ (unit) | Biaya Persediaan (Rp) | Biaya *Lost sales* (Rp) | Biaya Pemesanan ke Pemasok (Rp) | Biaya Pemesanan antar Pembeli (Rp) | Total Biaya Pembeli (Rp) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 36 | 45 | 1.116.000 | 4.100.000 | 1.404.000 | 58.500 | Rp. 45.262.000 |
| *Buyer 2* | 14 | 10 | 380.000 | 15.650.000 | 336.000 | 30.000 | |
| *Buyer 3* | 24 | 30 | 600.000 | 5.430.000 | 720.000 | 22.000 | |
| *Buyer 4* | 21 | 29 | 1.042.000 | 675.000 | 504.000 | 108.000 | |
| *Buyer 5* | 4 | 6 | 20.000 | 13.175.000 | 156.000 | - | |

2. Hasil Perhitungan Biaya-biaya Pemasok

   Tabel 4.80 adalah hasil dari perhitungan biaya pemasok pada Produk Batik 5 yang diselesaikan menggunakan *solver evolutionary* pada model tanpa koordinasi.

Tabel 4. 80 Total Biaya Persediaan Pemasok pada Produk Batik 5

| Total Persediaan Akhir (unit) | Biaya Persediaan (Rp/unit) | Total Biaya Persediaan Pemasok (Rp) |
|---|---|---|
| 4038 | 3.500 | 14.133.000 |

Tabel 4.81 merupakan hasil Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 5.

Tabel 4. 81 Total Biaya *Setup* Pemasok pada Produk Batik 5

| Total Jumlah *Setup* (hari) | Biaya *Setup* (Rp/unit) | Total Biaya *Setup* Pemasok (Rp) |
|---|---|---|
| 20 | 5.700 | 114.000 |

Tabel 4.82 merupakan hasil Biaya Emisi Karbon for *Setup* pada Produk Batik 5.

Tabel 4. 82 Total Biaya Emisi Karbon for *Setup* pada Produk Batik 5

| **Total Jumlah *Setup* (hari)** | **Biaya Emisi Karbon (Rp/Kg)** | **Total Biaya Emisi Karbon *for Setup* Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 20 | 7.800 | 156.000 |

Tabel 4.83 merupakan hasil Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 5.

Tabel 4. 83 Total Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok pada Produk Batik 5

| **Periode (t)** | **Biaya Emisi Karbon (Rp/Kg)** | **Total Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok (Rp)** |
|---|---|---|
| 60 | 62.400 | 3.744.000 |

Tabel 4.84 merupakan Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 5.

Tabel 4. 84 Total Biaya Keseluruhan Pemasok pada Produk Batik 5

| ***P*** **(unit)** | **Biaya Persediaan (Rp)** | **Biaya *Setup* Produksi (Rp)** | **Biaya Emisi Karbon *for Setup* (Rp)** | **Biaya Daily Emisi Karbon Pemasok (Rp)** | **Total Biaya Pemasok (Rp** |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 14.133.000 | 114.000 | 156.000 | 3.744.000 | 18.147.000 |

## 4.5 Rangkuman Perhitungan Model Dengan Koordinasi

A. Produk Batik 1

Tabel 4.85 merupakan hasil optimasi pemesanan dan perhitungan biaya pembeli pada Produk Batik 1 menggunakan *solver evolutionary* pada model dengan koordinasi.

Tabel 4. 85 Hasil Total Biaya *Buyer* pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 1

| Pembeli | $Q_b$* (unit) | $r_b$* (unit) | Biaya Persediaan (Rp) | Biaya *Lost sales* (Rp) | Biaya Pemesanan ke Pemasok (Rp) | Biaya Pemesanan antar Pembeli (Rp) | Total Biaya Pembeli (Rp) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 45 | 43 | 1.660.000 | 2.260.000 | 1.755.00 | 32.500 | 12.923.500 |
| *Buyer 2* | 24 | 24 | 1.050.000 | 800.000 | 576.000 | 30.000 | |
| *Buyer 3* | 10 | 82 | 980.000 | 2500 | 175.000 | 44.000 | |
| *Buyer 4* | 25 | 22 | 1.386.000 | 105.000 | 600.000 | 60.000 | |
| *Buyer 5* | 10 | 11 | 698.000 | 200.00 | 357.500 | - | |

Tabel 4.86 merupakan hasil optimasi produksi dan perhitungan biaya biaya pada pemasok.

Tabel 4. 86 Hasil Total Biaya Pemasok pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 1

| *P** (unit) | Biaya Persediaan (Rp) | Biaya *Setup* Produksi (Rp) | Biaya emisi karbon for *setup* (Rp) | Biaya Daily emisi karbon Pemasok (Rp) | Total Biaya Pemasok (Rp |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 23.537.500 | 114.000 | 156.000 | 3.744.000 | 27.551.500 |

Tabel 4.87 merupakan hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 1.

Tabel 4. 87 Hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 1

| Total Biaya Semua Pembeli (Rp) | Total Biaya Semua Pemasok (Rp) | Total Biaya Gabungan (Rp) |
|---|---|---|
| 12.923.500 | 27.551.500 | 40.475.000 |

Pada hasil optimasi di atas, diperoleh nilai $Q_b$* dan $r_b$* optimal pada pembeli dan nilai $P$* optimal pada pemasok, terdapat biaya dari semua pembeli yaitu sebesar Rp. 12.923.500,00 dan biaya dari pemasok yaitu sebesar Rp. 27.551.500,00. Sehingga

diperoleh total biaya gabungan dari pihak pembeli dan pihak pemasok yaitu sebesar Rp40.475.000,00.

B. Produk Batik 2

Tabel 4.88 merupakan hasil optimasi pemesanan dan perhitungan biaya pembeli pada Produk Batik 1 menggunakan *solver evolutionary* pada model dengan koordinasi.

Tabel 4. 88 Hasil Total Biaya *Buyer* pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 2

| **Pembeli** | **$Q_b$* (unit)** | **$r_b$* (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp)** | **Biaya *Lost sales* (Rp)** | **Biaya Pemesanan ke Pemasok (Rp)** | **Biaya Pemesanan antar Pembeli (Rp)** | **Total Biaya Pembeli (Rp)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 31 | 40 | 6.840.000 | 6.625.000 | 1.209.000 | 29.250 | |
| *Buyer 2* | 10 | 14 | 6.000 | 22.575.000 | 240.000 | 34.000 | |
| *Buyer 3* | 34 | 58 | 680.000 | 11.130.000 | 1.020.000 | 40.000 | 69.253.000 |
| *Buyer 4* | 7 | 8 | 18.000 | 15.950.000 | 168.000 | 18.000 | |
| *Buyer 5* | 23 | 21 | 430.000 | 7.325.000 | 897.000 | - | |

Tabel 4.89 merupakan hasil optimasi produksi dan perhitungan biaya biaya pada pemasok.

Tabel 4. 89 Hasil Total Biaya Vendor pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 2

| ***P**** **(unit)** | **Biaya Persediaan (Rp)** | **Biaya *Setup* Produksi (Rp)** | **Biaya emisi karbon for *setup* (Rp)** | **Biaya Daily emisi karbon Pemasok (Rp)** | **Total Biaya Pemasok (Rp** |
|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 12.474.000 | 114.000 | 156.000 | 3.744.000 | 16.488.000 |

Tabel 4.90 merupakan hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 2.

Tabel 4. 90 Hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 2

| Total Biaya Semua Pembeli (Rp) | Total Biaya Semua Pemasok (Rp) | Total Biaya Gabungan (Rp) |
|---|---|---|
| 69.253.000 | 16.488.000 | 85.741.000 |

Pada hasil optimasi di atas, diperoleh nilai $Q_b$* dan $r_b$* optimal pada pembeli dan nilai $P$* optimal pada pemasok, terdapat biaya dari semua pembeli yaitu sebesar Rp. 69.253.000,00 dan biaya dari pemasok yaitu sebesar Rp.16.488.000,00. Sehingga diperoleh total biaya gabungan dari pihak pembeli dan pihak pemasok yaitu sebesar Rp. 85.741.000,00.

C. Produk Batik 3

Tabel 4.91 merupakan hasil optimasi pemesanan dan perhitungan biaya pembeli pada Produk Batik 3 menggunakan *solver evolutionary* pada model dengan koordinasi.

Tabel 4. 91 Hasil Total Biaya *Buyer* pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 3

| Pembeli | $Q_b$* (unit) | $r_b$* (unit) | Biaya Persediaan (Rp) | Biaya *Lost sales* (Rp) | Biaya Pemesanan ke Pemasok (Rp) | Biaya Pemesanan antar Pembeli (Rp) | Total Biaya Pembeli (Rp) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 39 | 26 | 2.410.000 | 40.000 | 1.140.750 | 26.000 | |
| *Buyer 2* | 40 | 23 | 3.434.000 | 0 | 480.000 | 60.000 | |
| *Buyer 3* | 45 | 40 | 3.616.000 | 225.000 | 1.012.500 | 60.000 | 27.187.750 |
| *Buyer 4* | 64 | 20 | 4.036.000 | 0 | 512.000 | 38.000 | |
| *Buyer 5* | 95 | 20 | 7.612.000 | 625.000 | 1.852.500 | - | |

Tabel 4.92 merupakan hasil optimasi produksi dan perhitungan biaya biaya pada pemasok.

Tabel 4. 92 Hasil Total Biaya Pemasok pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 3

| $P$* (unit) | Biaya Persediaan (Rp) | Biaya *Setup* Produksi (Rp) | Biaya emisi karbon | Biaya Daily emisi karbon Pemasok (Rp) | Total Biaya Pemasok (Rp |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | **for *setup* (Rp)** | | |
| 29 | 31.160.500 | 114.000 | 156.000 | 3.744.600 | 35.174.500 |

Tabel 4.93 merupakan hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 3.

Tabel 4. 93 Hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 3

| **Total Biaya Semua Pembeli (Rp)** | **Total Biaya Semua Pemasok (Rp)** | **Total Biaya Gabungan (Rp)** |
|---|---|---|
| 27.187.750 | 35.174.500 | 62.362.250 |

Pada hasil optimasi di atas, diperoleh nilai $Q_b$* dan $r_b$* optimal pada pembeli dan nilai $P$* optimal pada pemasok, terdapat biaya dari semua pembeli yaitu sebesar Rp. 27.187.750,00 dan biaya dari pemasok yaitu sebesar Rp. 35.174.500,00. Sehingga diperoleh total biaya gabungan dari pihak pembeli dan pihak pemasok yaitu sebesar Rp. 62.362.250,00.

D. Produk Batik 4

Tabel 4.94 merupakan hasil optimasi pemesanan dan perhitungan biaya pembeli pada Produk Batik 4 menggunakan *solver evolutionary* pada model dengan koordinasi.

Tabel 4. 94 Hasil Total Biaya *Buyer* pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 4

| **Pembeli** | **$Q_b$* (unit)** | **$r_b$* (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp)** | **Biaya *Lost sales* (Rp)** | **Biaya Pemesanan ke Pemasok (Rp)** | **Biaya Pemesanan antar Pembeli (Rp)** | **Total Biaya Pembeli (Rp)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 16 | 44 | 420.000 | 1.640.000 | 507.000 | 42.250 | 23.638.000 |
| *Buyer 2* | 31 | 30 | 1.514.000 | 825.000 | 744.000 | 30.000 | |
| *Buyer 3* | 35 | 41 | 1.794.000 | 2.970.000 | 1.320.000 | 42.000 | |
| *Buyer 4* | 5 | 11 | 1.920.000 | 1.150.000 | 858.000 | 36.000 | |
| *Buyer 5* | 6 | 7 | 3.294.000 | 3.575.000 | 2.925.000 | - | |

Tabel 4.95 merupakan hasil optimasi produksi dan perhitungan biaya biaya pada pemasok.

Tabel 4. 95 Hasil Total Biaya Pemasok pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 4

| ***P**** **(unit)** | **Biaya Persediaan (Rp)** | **Biaya *Setup* Produksi (Rp)** | **Biaya emisi karbon for *setup* (Rp)** | **Biaya Daily emisi karbon Pemasok (Rp)** | **Total Biaya Pemasok (Rp** |
|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 30.254.000 | 114.000 | 156.000 | 3.744.000 | 34.268.000 |

Tabel 4.96 merupakan hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 4.

Tabel 4. 96 Hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 4

| **Total Biaya Semua Pembeli (Rp)** | **Total Biaya Semua Pemasok (Rp)** | **Total Biaya Gabungan (Rp)** |
|---|---|---|
| 23.638.000 | 34.268.000 | 57.906.000 |

Pada hasil optimasi di atas, diperoleh nilai $Q_b$* dan $r_b$* optimal pada pembeli dan nilai *P** optimal pada pemasok, terdapat biaya dari semua pembeli yaitu sebesar Rp. 23.638.000,00 dan biaya dari pemasok yaitu sebesar Rp. 34.268.000,00. Sehingga diperoleh total biaya gabungan dari pihak pembeli dan pihak pemasok yaitu sebesar Rp. 57.906.000,00.

E. Produk Batik 5

Tabel 4.97 merupakan hasil optimasi pemesanan dan perhitungan biaya pembeli pada Produk Batik 5 menggunakan *solver evolutionary* pada model dengan koordinasi.

Tabel 4. 97 Hasil Total Biaya *Buyer* pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 5

| **Pembeli** | **$Q_b$* (unit)** | **$r_b$* (unit)** | **Biaya Persediaan (Rp)** | **Biaya *Lost sales* (Rp)** | **Biaya Pemesanan ke Pemasok (Rp)** | **Biaya Pemesanan antar Pembeli (Rp)** | **Total Biaya Pembeli (Rp)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Buyer 1* | 16 | 21 | 126.000 | 9.675.000 | 572.000 | 52.000 | 45.316.000 |

| Pembeli | $Q_b$* (unit) | $r_b$* (unit) | Biaya Persediaan (Rp) | Biaya *Lost sales* (Rp) | Biaya Pemesanan ke Pemasok (Rp) | Biaya Pemesanan antar Pembeli (Rp) | Total Biaya Pembeli (Rp) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Buyer 2* | 6 | 7 | 14.000 | 18.175.000 | 132.000 | 30.000 | |
| *Buyer 3* | 35 | 51 | 1.554.000 | 1.710.000 | 962.500 | 35.000 | |
| *Buyer 4* | 20 | 29 | 1.278.000 | 850.000 | 440.000 | 108.000 | |
| *Buyer 5* | 23 | 29 | 368.000 | 807.500 | 822.200 | - | |

Tabel 4.98 merupakan hasil optimasi produksi dan perhitungan biaya biaya pada pemasok.

Tabel 4. 98 Hasil Total Biaya Pemasok pada Model Dengan Koordinasi Produk Batik 5

| *P** (unit) | Biaya Persediaan (Rp) | Biaya *Setup* Produksi (Rp) | Biaya emisi karbon for *setup* (Rp) | Biaya Daily emisi karbon Pemasok (Rp) | Total Biaya Pemasok (Rp |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 12.600.000 | 114.000 | 156.000 | 3.744.000 | 16.614.000 |

Tabel 4.99 merupakan hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 5.

Tabel 4. 99 Hasil Total Biaya Gabungan Produk Batik 5

| Total Biaya Semua Pembeli (Rp) | Total Biaya Semua Pemasok (Rp) | Total Biaya Gabungan (Rp) |
|---|---|---|
| 45.316.000 | 16.614.000 | 61.930.000 |

Pada hasil optimasi di atas, diperoleh nilai $Q_b$* dan $r_b$* optimal pada pembeli dan nilai $P$* optimal pada pemasok, terdapat biaya dari semua pembeli yaitu sebesar Rp. 45.316.000,00 dan biaya dari pemasok yaitu sebesar Rp. 16.614.000,00. Sehingga diperoleh total biaya gabungan dari pihak pembeli dan pihak pemasok yaitu sebesar Rp. 61.930.000,00.

## 4.6 Rangkuman Perhitungan Biaya Distribusi

A. Model Tanpa Koordinasi

Tabel 4. 100 Hasil Optimasi Distribusi Keseluruhan *Buyer* Model Tanpa Koordinasi

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total Permintaan | | 399 | 363 | 300 | 300 | 251 | |
| Rute | Vendor | *Buyer* 1 | *Buyer* 3 | *Buyer* 4 | *Buyer* 5 | *Buyer* 2 | Vendor |
| Distance | | 2,018 | 4,818 | 1,252 | 0,961 | 2.201 | 4,373 |
| Weight | | 454 | 356 | 289 | 247 | 94 | 0 |
| Cost Emisi Karbon | | Rp. 19.543 | Rp. 35.099 | Rp.6.868 | Rp. 3.541 | Rp. 4.794 | Rp. 0 |
| Total | | | | | | | Rp. 69.838 |

B. Model Dengan Koordinasi

Tabel 4. 101 Hasil Optimasi Distribusi Keseluruhan *Buyer* Model Tanpa Koordinasi

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total Permintaan | | 412 | 273 | 432 | 234 | 327 | |
| Rute | Vendor | *Buyer* 1 | *Buyer* 3 | *Buyer* 4 | *Buyer* 5 | *Buyer* 2 | Vendor |
| Distance | | 2,018 | 4,818 | 1,252 | 0,961 | 2.201 | 4,373 |
| Weight | | 1678 | 1266 | 834 | 600 | 273 | 0 |
| Cost Emisi Karbon | | Rp. 20.321 | Rp. 36.603 | Rp.6.267 | Rp. 3.460 | Rp. 3.605 | Rp. 0 |
| Total | | | | | | | Rp. 70. 258 |

# BAB V
# PEMBAHASAN ATAU PENGUJIAN SISTEM DAN PEMBAHASAN

## 5.1 Analisis Perbandingan Variabel Keputusan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, bab ini akan menganalisis perbedaan antara model yang telah dihasilkan. Model pertama, yaitu model tanpa koordinasi, yaitu model yang menggambarkan situasi di mana pembeli dan pemasok melakukan optimasi secara terpisah dengan masing-masing total *cost*. Sementara itu, model kedua, yaitu model dengan koordinasi, yang menunjukkan kondisi di mana pembeli dan pemasok mengoptimalkan keputusan mereka secara bersama-sama dengan mempertimbangkan total biaya gabungan. Tabel 5.1 adalah perbandingan ukuran *lot* pemesanan optimal pada pemasok antara model tanpa koordinasi dan model dengan koordinasi.

Tabel 5. 1 Hasil Perbandingan Variabel Keputusan *Buyer* Antara Kedua Model

| **Jenis Produk** | **Pihak** | **Model Tanpa Koordinasi** | | **Model Dengan Koordinasi** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **$Q_b$ (unit)** | **$r_b$ (unit)** | **$Q_b$* (unit)** | **$r_b$* (unit)** |
| Produk Batik 1 | *Buyer 1* | 35 | 43 | 45 | 43 |
| | *Buyer 2* | 23 | 34 | 24 | 24 |
| | *Buyer 3* | 21 | 12 | 10 | 8 |
| | *Buyer 4* | 18 | 11 | 25 | 22 |
| | *Buyer 5* | 9 | 6 | 10 | 11 |
| Produk Batik 2 | *Buyer 1* | 21 | 25 | 31 | 40 |
| | *Buyer 2* | 35 | 40 | 10 | 14 |
| | *Buyer 3* | 15 | 17 | 34 | 58 |
| | *Buyer 4* | 10 | 15 | 7 | 8 |
| | *Buyer 5* | 8 | 9 | 23 | 21 |
| Produk Batik 3 | *Buyer 1* | 23 | 34 | 39 | 26 |
| | *Buyer 2* | 18 | 19 | 48 | 23 |
| | *Buyer 3* | 27 | 36 | 45 | 40 |
| | *Buyer 4* | 17 | 27 | 64 | 20 |
| | *Buyer 5* | 40 | 40 | 95 | 64 |
| Produk Batik 4 | *Buyer 1* | 18 | 42 | 16 | 44 |
| | *Buyer 2* | 31 | 42 | 31 | 30 |
| | *Buyer 3* | 27 | 47 | 35 | 41 |
| | *Buyer 4* | 15 | 9 | 5 | 11 |
| | *Buyer 5* | 24 | 19 | 6 | 7 |

| Jenis Produk | Pihak | Model Tanpa Koordinasi | | Model Dengan Koordinasi | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $Q_b$ (unit) | $r_b$ (unit) | $Q_b$* (unit) | $r_b$* (unit) |
| Produk Batik 5 | *Buyer 1* | 36 | 45 | 16 | 21 |
| | *Buyer 2* | 14 | 10 | 6 | 7 |
| | *Buyer 3* | 24 | 30 | 35 | 51 |
| | *Buyer 4* | 21 | 29 | 20 | 29 |
| | *Buyer 5* | 4 | 6 | 23 | 29 |

Pada rangkuman tabel di atas terdapat dua variabel keputusan pada pembeli dalam penelitian ini yaitu ukuran *lot* pesanan optimal (Qb) dan titik pemesanan kembali optimal (rb). Berdasarkan pada tabel di atas, terdapat perbedaan antara ukuran *lot* pemesanan optimal (Qb) pada kedua model, yang di mana pada Produk Batik terjadi beberapa penuruan ukuran *lot* pemesanan optimal (Qb) pada model dengan koordinasi namun juga terdapat beberapa ukuran *lot* pemesanan optimal ($Q_b$) yang masih memiliki ukuran *lot* pemesanan optimal ($Q_b$) yang sama pada kedua model. Secara umum berdasarkan tabel di atas hasil ukuran pemesanan optimal (Qb) pada pihak pembeli cenderung konstan dan tidak mengalami perubahan yang signifikan atau sama pada kedua model. Namun, dari hasil diatas dapat dilihat bahwa ada beberapa Produk Batik yang didapati penurunan ukuran *lot* pemesanan optimal (Qb) yaitu Pada Produk Batik 1 terjadi penurunan ukuran *lot* pemesanan (Qb) yaitu pada *buyer* 3 dari 21 unit menjadi 10 unit. Pada Produk Batik 2 yaitu pada *buyer* 2 dari 35 unit menjadi 10 unit. Pada *buyer* 4 dari 10 unit menjadi 7 unit. Pada Produk Batik 4 yaitu *buyer* 1 dari 18 unit menjadi 16 unit. Pada *buyer* 4 dari 15 unit menjadi 5 unit. Pada Produk Batik 5 yaitu pada *buyer* 1 dari 36 unit menjadi 45, pada *buyer* 2 dari 14 unit menjadi 6, pada *buyer* 4 dari 21 unit menjadi 20. Kenaikan ukuran *lot* pemesanan optimal juga terjadi pada Produk Batik 1 yaitu pada *buyer* 1 dari 35 unit menjadi 45 unit. Pada *buyer* 2 dari 23 unit menjadi 24 unit. Pada *buyer* 4 dari 18 unit menjadi 25 unit. Pada *buyer* 5 dari 9 unit menjadi 10 unit. Pada Produk Batik 2 yaitu pada *buyer* 1 dari 21 unit menjadi 31. Pada *buyer* 3 dari 15 unit menjadi 34 unit. Pada *buyer* 5 dari 8 unit menjadi 23 unit. Pada Produk Batik 3 yaitu pada *buyer* 1 dari 23 unit menjadi 39 unit. Pada *buyer* 2 dari 18 unit menjadi 48 unit, pada *buyer* 3 dari 27 unit menjadi 45. pada *buyer* 4 dari 17 menjadi 64 unit. Pada Produk Batik 4 yaitu pada *buyer* 3 dari 27 unit menjadi 35 unit. Pada Produk Batik 5 yaitu pada *buyer* 3 dari 24 unit menjadi 35 unit. Pada *buyer* 5 dari 4 unit menjadi 23. Secara keseluruhan, peningkatan ukuran *lot* pemesanan menunjukkan adanya upaya untuk mengurangi frekuensi pemesanan dan mengoptimalkan biaya pemesanan serta penyimpanan.

Sebaliknya, penurunan ukuran *lot* pemesanan mencerminkan adanya efisiensi dalam sistem, di mana *buyer* dapat melakukan pemesanan dalam jumlah lebih kecil namun tetap selaras dengan kebutuhan rantai pasok secara keseluruhan serta mengurangi *overstock*.

Variabel keputusan kedua, yaitu titik pemesanan kembali optimal (rb) berdasarkan hasil perbandingan pada tabel di atas menunjukkan adanya perubahan yang signifikan pada beberapa Produk Batik. Secara keseluruhan, setiap produk mengalami perbedaan dalam nilai titik pemesanan kembali optimal (rb). Namun, pola perubahan tersebut bervariasi, di mana beberapa produk mengalami peningkatan, sementara yang lain mengalami penurunan dalam nilai titik pemesanan kembali optimal (rb). Pada Produk Batik 1 cenderung mengalami kenaikan pada *buyer* 5 dari 6 unit menjadi 11 unit. Pada *buyer* 4 dari 11 unit menjadi 22 unit. Pada *buyer* 5 dari 6 unit menjadi 11 unit. Pada Produk Batik 2 cenderung mengalami kenaikan pada *buyer* 1 dari 25 unit menjadi 40. Pada *buyer* 3 dari 17 unit menjadi 58 unit. Pada *buyer* 5 dari 9 unit menjadi 21 unit. Pada Produk Batik 3 cenderung mengalami kenaikan pada *buyer* 2 dari 19 unit menjadi 263 unit. Pada *buyer* 3 dari 36 unit menjadi 40 unit. Pada *buyer* 5 dari 40 unit menjadi 64 unit. Pada Produk Batik 4 cenderung mengalami penurunan pada *buyer* 2 dari 42 unit menjadi 30 unit. Pada *buyer* 3 dari 47 unit menjadi 41 unit. Pada *buyer* 5 dari 19 unit menjadi 7 unit. Pada Produk Batik 5 cenderung mengalami penurunan pada *buyer* 2 dari 10 unit menjadi 7 unit. Pada *buyer* 1 dari 45 unit menjadi 21 unit. Secara keseluruhan, peningkatan titik pemesanan ulang terjadi untuk menghindari risiko kehabisan stok dalam model koordinasi, di mana *buyer* harus lebih sinkron dengan pemasok dalam pengelolaan persediaan. Sebaliknya, penurunan titik pemesanan ulang menunjukkan bahwa koordinasi memungkinkan *buyer* untuk lebih fleksibel dalam pemesanan, mengurangi kebutuhan untuk menyimpan stok dalam jumlah besar, dan menyesuaikan pesanan dengan pola permintaan yang lebih optimal. Tabel 4.52 merupakan hasil perbandingan variabel keputusan pemasok antara kedua Mmodel yaitu model dengan koordinasi dan tanpa koordinasi.

Tabel 5. 2 Hasil Perbandingan Variabel Keputusan Pemasok Antara Kedua Model

| **Jenis Produk** | **Pihak** | **Model Tanpa Koordinasi** | **Model Dengan Koordinasi** |
|---|---|---|---|
| | | ***P**** **(unit)** | ***P**** **(unit)** |
| Produk Batik 1 | *Vendor* | 18 | 23 |
| Produk Batik 2 | | 18 | 21 |
| Produk Batik 3 | | 30 | 29 |
| Produk Batik 4 | | 23 | 21 |

| | | |
|---|---|---|
| Produk Batik 5 | 20 | 20 |

Dari hasil perbandingan jumlah produksi optimal (P) hasil optimasi dari *solver evolutionary* menghasilkan perubahan pada jumlah produksi optimal (P) pada model tanpa koordinasi dan model dengan koordinasi. Kenaikan jumlah produksi optimal (P) yaitu pada Produk Batik 1 yaitu dari 18 unit menjadi 23 unit, pada Produk Batik 2 yaitu sebesar 18 unit menjadi 21. Penurunan jumlah produksi optimal (P) yaitu pada Produk Batik 3 yaitu dari 30 unit menjadi 29, pada Produk Batik 4 yaitu dari 23 unit menjadi 21. Untuk jumlah produksi di Produk Batik 5 memiliki jumlah total yang sama yaitu 20 unit.

Peningkatan ukuran *lot* produksi yang dilakukan oleh pemasok secara langsung berdampak pada biaya *setup* produksi, karena semakin besar jumlah produksi batik, maka biaya *setup* yang harus dikeluarkan oleh pemasok juga meningkat. Selain itu, semakin besar ukuran *lot* produksi, semakin banyak produk yang harus disimpan, sehingga biaya persediaan pun ikut bertambah. Namun, peningkatan ukuran *lot* produksi juga memiliki keuntungan dalam mengurangi *lost sales*, karena semakin banyak permintaan yang dapat terpenuhi, sehingga biaya akibat kehilangan penjualan menjadi lebih rendah.

Sebaliknya, ketika ukuran *lot* produksi menurun, jumlah produk yang perlu diproduksi dan disimpan juga berkurang, yang berdampak pada penurunan biaya penyimpanan dan biaya *setup* . Akan tetapi, konsekuensi dari pengurangan ukuran *lot* ini adalah meningkatnya *lost sales*, karena semakin banyak permintaan yang tidak dapat terpenuhi. Selain itu, dengan adanya tambahan biaya emisi karbon, perusahaan dapat mengurangi frekuensi produksi dengan memanfaatkan persediaan yang ada, sehingga dapat menekan biaya emisi karbon. Dengan strategi ini, perusahaan dapat mencapai total biaya yang lebih optimal sesuai dengan kapasitas produksi yang tersedia serta mengurangi pemborosan energi mesin yang juga memerlukan biaya operasional. Oleh karena itu, pengelolaan ukuran *lot* produksi yang efektif dapat membantu perusahaan dalam menyeimbangkan biaya emisi karbon serta meminimalkan potensi kerugian akibat tingginya biaya operasional.

## 5.2 Analisis Hasil Perbandingan Total Biaya *Buyer*

Tabel 5.3 merupakan hasil perbandingan total biaya pembeli dengan model tanpa koordinasi dan model dengan koordinasi.

Tabel 5. 3 Hasil Perbandingan Total Biaya Pembeli

| Jenis Produk | Pihak | Model Tanpa Koordinasi (Rp) | Model Dengan Koordinasi (Rp) |
|---|---|---|---|
| Produk Batik 1 | *Buyer 1* | 6.140.000 | 5.779.000 |
| | *Buyer 2* | 2.591.000 | 2.490.000 |
| | *Buyer 3* | 1.285.000 | 1.244.000 |
| | *Buyer 4* | 1.932.000 | 2.155.000 |
| | *Buyer 5* | 1.646.500 | 1.255.500 |
| Produk Batik 2 | *Buyer 1* | 5.848.000 | 8.622.000 |
| | *Buyer 2* | 10.559.000 | 22.885.000 |
| | *Buyer 3* | 9.270.500 | 12.894.000 |
| | *Buyer 4* | 5.985.000 | 16.200.000 |
| | *Buyer 5* | 5.200.000 | 8.652.000 |
| Produk Batik 3 | *Buyer 1* | 2.987.000 | 3.590.750 |
| | *Buyer 2* | 1.638.000 | 3.978.000 |
| | *Buyer 3* | 2.821.000 | 4.917.500 |
| | *Buyer 4* | 1.490.000 | 4.614.000 |
| | *Buyer 5* | 4.253.000 | 10.089.000 |
| Produk Batik 4 | *Buyer 1* | 2.302.000 | 2.954.000 |
| | *Buyer 2* | 3.212.000 | 3.147.000 |
| | *Buyer 3* | 5.234.000 | 5.878.000 |
| | *Buyer 4* | 3.782.000 | 3.244.000 |
| | *Buyer 5* | 11.437.500 | 8.415.000 |
| Produk Batik 5 | *Buyer 1* | 5.712.000 | 10.529.000 |
| | *Buyer 2* | 7.040.000 | 18.397.000 |
| | *Buyer 3* | 4.210.000 | 4.378.000 |
| | *Buyer 4* | 2.285.000 | 2.672.000 |
| | *Buyer 5* | 5.051.000 | 9.340.000 |

Pada hasil total biaya pada pembeli terjadi kenaikan serta penuruan pada masing-masing *buyer*. Kenaikan total biaya pada *buyer* Produk Batik terjadi dikarenakan jumlah *order quantity* yang berbeda-beda. Selain itu, banyaknya penumpukan serta *lost sales* pada poduk batik juga mengakibatkan total biaya tersebut menjadi besar. Jika adanya penurunan, itu terjadi ketika

*buyer* mengurangi jumlah pemesanan agar tidak terjadinya penumpukan produk dalam jumlah yang besar.

Tabel 5.4 merupakan total penjumlahan biaya pembeli pada setiap produk batik dengan model tanpa koordinasi dan model dengan koordinasi.

Tabel 5. 4 Hasil Total Penjumlahan Biaya Pembeli Pada Setiap Produk Batik

| Jenis Produk | Pihak | Model Tanpa Koordinasi (Rp) | Model Dengan Koordinasi (Rp) |
|---|---|---|---|
| Produk Batik 1 | *All Buyer* | 17.407.500 | 12.923.500 |
| Produk Batik 2 | *All buyer* | 73.402.000 | 69.253.000 |
| Produk Batik 3 | *All Buyer* | 13.189.000 | 27.187.750 |
| Produk Batik 4 | *All Buyer* | 40.444.000 | 23.638.000 |
| Produk Batik 5 | *All Buyer* | 45.262.000 | 45.316.000 |

Berdasarkan hasil perbandingan dan total biaya yang harus dikeluarkan oleh *Buyer* dalam kedua model yang dioptimalkan menggunakan solver evolutionary, terdapat perbedaan signifikan dalam pengeluaran masing-masing *Buyer*. Optimasi dengan solver evolutionary menunjukkan bagaimana setiap model mempengaruhi efisiensi biaya yang dikeluarkan oleh *Buyer*, sehingga dapat dianalisis perbedaan total biaya antara model tanpa koordinasi dan model dengan koordinasi. Dari keseluruhan penjumlahan total biaya semua Produk Batik mengalami perubahan. Pada Produk Batik 1, tanpa koordinasi sebesar Rp. 17.407.500, dengan koordinasi yaitu sebesar Rp. 12.923.500. Pada Produk Batik 2, tanpa koordinasi sebesar Rp. 73.402.000, dengan koordinasi sebesar Rp. 69.253.000. Pada Produk Batik 3, tanpa koordinasi sebesar Rp. 13.189.000. Dengan koordinasi sebesar Rp. 27.187.750. Pada Produk Batik 4, tanpa koordinasi sebesar Rp. 40.444.000. Dengan koordinasi sebesar Rp. 23.638.000. Pada Produk Batik 5, tanpa koordinasi sebesar Rp. 45.262.000. Dengan Koordinasi sebesar Rp. 45.316.000. Penurunan dan kenaikan antara model koordinasi dan model dengan koordinasi tersebut terjadi ketika *buyer* mengalami *lost sales* yang sangat tinggi pada masing-masing *buyer*. *Inventory cost* yang berbeda juga berpengaruh pada kenaikan dan penurunan pada setiap modek, pada saat penumpukan yang terjadi masing-masing *buyer* dikarenakan jumlah *order quantity* dengan jumlah pemesanan yang berbeda. Selain itu, penurunan dan kenaikan terjadi juga ketika total jumlah produksi yang dilakukan vendor berbeda-beda.

## 5.3 Analisis Hasil Perbandingan Total Biaya Pemasok

Pada Tabel 5.5 merupakan hasil perbandingan total biaya pemasok dengan model tanpa koordinasi dan model dengan koordinasi.

Tabel 5. 5 Hasil Perbandingan Total Biaya Pemasok

| Jenis Produk | Pihak | Model Tanpa Koordinasi (Rp) | Model Dengan Koordinasi (Rp) |
|---|---|---|---|
| Produk Batik 1 | *Vendor* | 22.336.500 | 27.551.000 |
| Produk Batik 2 | | 19.155.000 | 16.488.000 |
| Produk Batik 3 | | 46.539.000 | 35.174.500 |
| Produk Batik 4 | | 16.929.000 | 34.268.000 |
| Produk Batik 5 | | 18.147.000 | 16.614.000 |

Pada tabel perbandingan total biaya vendor di atas, terlihat perbedaan biaya yang harus dikeluarkan dalam kedua model setelah dilakukan optimasi menggunakan solver evolutionary. Produk Batik 1 mengalami kenaikan dari biaya sebesar Rp. 22.336.500 menjadi Rp. 27.551.000. Produk Batik 2 mengalami penurunan dari Rp. 19.155.000 menjadi Rp. 16.488.000. Produk Batik 3 mengalami penuruan dari Rp. 46.539.000menjadi Rp. 8.529.600. Produk Batik 4 mengalami kenaikan dari Rp. 16.929.000 menjadi Rp. 34.268.000. Dan Produk Batik 5 mengalami penurunan dari Rp. 18.147.000menjadi Rp. 16.614.000. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan ketika vendor melakukan produksi. Kenaikan dan penurunan total biaya yang terjadi pada *vendor* terjadi karena jumlah produksi yang berbeda pada setiap *vendor* dikarenakan jumlah total pemesanan yang dilakukan buyer juga berbeda beda untuk setiap *vendor* pada produk batik.

## 5.4 Analisis Perbandingan Varibael Keputusan

A. Analisis Hasil Variabel Keputusan Model Dengan Koordinasi

Tabel 5.6 merupakan hasil variabel Keputusan pada model dengan koordinasi.

Tabel 5. 6 Hasil variabel Keputusan pada model dengan koordinasi.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Total Permintaan | 412 | 273 | 432 | 234 | 327 |

| Rute | Vendor | *Buyer* 1 | *Buyer* 3 | *Buyer* 4 | *Buyer* 5 | *Buyer* 2 | Vendor |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distance | | 2,018 | 4,818 | 1,252 | 0,961 | 2.201 | 4,373 |
| Weight | | 1678 | 1266 | 834 | 600 | 273 | 0 |
| Cost Emisi Karbon | | Rp. 20.321 | Rp. 36.603 | Rp.6.267 | Rp. 3.460 | Rp. 3.605 | Rp. 0 |
| Total | | | | | | | Rp. 70. 258 |

Pada model Keputusan dengan koordinasi, permintaan terbesar pada *buyer* 3 Produk Batik yaitu sebesar 432 kg. penentuan rute yang diselesaikan dengan solver evolutionary disesuaikan dengan jarak serta beban masing-masing *buyer*. Yang dimana rute optimal yang dihasilkan mulai dari 0-1-3-4-5-2-0. Total biaya emisi karbon untuk pendistribusian dengan model dengan koordinasi yaitu sebesar Rp. 70.258.

B. Analisis Hasil Variabel Keputusan Model Tanpa Koordinasi

Tabel 5.7 merupakan hasil variabel Keputusan pada model tanpa koordinasi.

Tabel 5. 7 Hasil variabel Keputusan pada model tanpa koordinasi.

| Total Permintaan | | 399 | 363 | 300 | 300 | 251 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rute | Vendor | *Buyer* 1 | *Buyer* 3 | *Buyer* 4 | *Buyer* 5 | *Buyer* 2 | Vendor |
| Distance | | 2,018 | 4,818 | 1,252 | 0,961 | 2.201 | 4,373 |
| Weight | | 454 | 356 | 289 | 247 | 94 | 0 |
| Cost Emisi Karbon | | Rp. 19.543 | Rp. 35.099 | Rp.6.868 | Rp. 3.541 | Rp. 4.794 | Rp. 0 |
| Total | | | | | | | Rp. 69.838 |

Pada model keputusan tanpa koordinasi , permintaan terbesar pada *buyer* 1 Produk Batik yaitu sebesar 399 kg. penentuan rute yang diselesaikan dengan solver evolutionary disesuaikan

dengan jarak serta beban masing-masing *buyer*. Yang dimana rute optimal yang dihasilkan mulai dari 0-1-3-4-5-2-0. Total biaya emisi karbon untuk pendistribusian dengan model dengan koordinasi yaitu sebesar Rp. 69.838.

## 5.5 Analisis Perbandingan Total Biaya Gabungan

Berdasarkan hasil perbandingan total biaya gabungan dari kedua model yang diperoleh dari kelima Produk Batik, tahap ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan total biaya antara model tanpa koordinasi dan model dengan koordinasi, serta mengukur penghematan biaya yang dihasilkan oleh model dengan koordinasi. Untuk memperoleh hasil analisis penghematan total biaya, digunakan perhitungan tertentu yang membantu menentukan nilai penghematan yang dicapai dalam model dengan koordinasi menggunakan rumus berikut:

$$Penghematan\ Total\ Biaya = \frac{(Model\ Tanpa\ Koordinasi - Model\ Dengan\ Koordinasi)}{Model\ Tanpa\ Koordinasi} \times 100\% \quad (5.1)$$

Tabel 5.8 merupakan hasil perbandingan total biaya gabungan antara pembeli dan pemasok pada setiap produk batik dengan model tanpa koordinasi dan model dengan koordinasi.

Tabel 5. 8 Hasil Perbandingan Total Biaya Gabungan

| Variabel | Jenis Produk | Model Tanpa Koordinasi (Rp) | Model Dengan Koordinasi (Rp) | Penghematan Total Biaya Gabungan | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Nilai Rupiah (Rp) | Persentase (%) |
| Total Biaya Gabungan | Produk Batik 1 | 39.744.000 | 40.475.000 | (731.000) | (1,84%) |
| | Produk Batik 2 | 92.557.000 | 85.741.000 | 6.816.000 | 7,36% |
| | Produk Batik 3 | 59.728.000 | 62.362.250 | (2.634.250) | (4,41%) |
| | Produk Batik 4 | 57.373.000 | 57.906.000 | (533.000) | (0,93%) |
| | Produk Batik 5 | 63.409.000 | 61.930.000 | 1.479.000 | 2,33% |
| | Distribusi | 69.838 | 70.258 | (420) | (0,6%) |
| **Total All Chain** | | 313.880.838 | 308.484.508 | 5.396.330 | 1,72% |

Dari hasil perhitungan ini, dapat dilihat bahwa Ketika *Type*-1 dan *Type*-2 diintegrasikan mengalami total biaya gabungan yang mengalami penghematan pada model dengan koordinasi. Model koordinasi pada *Type*-1 mengalami penurunan yang signifikan, sedangkan model dengan koordinasi pada Type-2 mengalami kenaikan yang sangat sedikit. Sehingga, jika di gabungkan secara keseluruhan akan terjadi penghematan pada model dengan koordinasi. Produk Batik 2 dan 5 yang mengalami penghematan biaya, sedangkan Produk Batik 1,3, dan 4 mengalami peningkatan biaya dalam model dengan koordinasi. Pada biaya distribusi model dengan koordinasi lebih tinggi daripada model tanpa koordinasi. Namun, secara keseluruhan, model dengan koordinasi menghasilkan total penghematan sebesar Rp 5.396.330 atau sekitar 1,72%.

# BAB VI
# PENUTUP

## 6.1 Kesimpulan

Berikut ini merupakan hasil Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian untuk menjawab tujuan penelitian ini:

1. Model optimasi yang dilakukan adalah model optimasi matematis dalam meminimasi *Joint Total Cost* dengan pendekatan *Joint Economic Lot size* (JELS) dan diselesaikan menggunakan *Algoritma evolutionary* dari Microsoft Excel dengan dua model yang telah dibuat sebelumnya yaitu model tanpa koordinasi dan model dengan koordinasi**.** Model ini dikembangkan untuk mengoptimalkan sistem rantai pasok terintegrasi antara *Type*-1 dan *Type*-2. Variabel keputusan utamanya adalah jumlah pemesanan (Q), titik pemesanan ulang (r), jumlah produksi optimal (P) untuk *Type*-1.
2. Integrasi antara model *Type*-1 dan *Type*-2 secara keseluruhan menghasilkan penghematan sebesar Rp 5.396.330atau sekitar 1,72%.Nilai ini didapat dari selisih total biaya gabungan antara model tanpa koordinasi (313.880.838) dan model dengan koordinasi (308.484.508). integrasi Tipe-1 dan Tipe-2 memberikan penghematan biaya gabungan dari model dengan koordinasi. Dengan adanya integrasi kedua *Type* ini, menghasilkan penurunan yang tinggi pada *Type*-1 dengan model koordinasi, dan kenaikan yang sedikit pada *Type*-2 dengan model koordinasi, yang menyebabkan total gabungannya kecil.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan Kesimpulan yang telah diperoleh, peneliti memberikan saran untuk penelitian selanjutnya dengan mempertimbangkan beberapa aspek berikut:

1. Model selanjutnya dapat dikembangkan menjadi lebih kompleks dengan melibatkan *eselon* supplier bahan baku untuk pemasok.
2. Menerapkan *green supply chain* untuk memperhatikan dampak untuk lingkungan.
3. Melibatkan variabel *Inventory* awal sebagai variabel keputusan untuk menghindari total biaya kekurangan persediaan yang relatif tinggi.
4. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi bagi Perusahaan UMKM Batik X dalam menentukan kebijakan produksi.

# DAFTAR PUSTAKA


Alexandri, B. (2009). *anajemen Keuangan Bisnis. Edisi Kedua. Penerbit. Alfabeta. IKAPI. Bandung.*

Alfaridz, A. M., & Suseno, S. (2024). *Pengendalian Persediaan Bahan Baku Pisang Menggunakan Metode EOQ dengan Mempertimbangkan Masa Kedaluarsa dan Pemberian Diskon. JOURNAL SAINS STUDENT RESEARCH, 2(1), 704–712.*

Anwar, D. (2001). *Kamus Bahasa Indonesia. Vol. 1. Surabaya: Karya Abditama.*

Aziz, A. (2008). *Ekonomi Islam Analisis Mikro Dan Makro. Vol. 1. Yogyakarta: Graha Ilmu.*

Baranzini, A. &. (2017). *Effectiveness, earmarking and labeling: testing the acceptability of carbon taxes with survey data. Environmental Economics and Policy Studies, 19(1). https://doi.org/10.1007/s10018-016-0144-7.*

Bastomi. (2023). *Analisis Metode Economic Order Quantity, Safety Stock, Reorder Point, Dan Cost Of Inventory Dalam Mengoptimalkan Manajemen Persediaan Umkm Bakso Pedas. Indonesian Journal Of Contemporary Multidisciplinary Research, 2(1), 29–44.*

Chopra, S. M. (2004). *Supply Chain management : Strategy, Planning, and Operations, 2 New Jersey. nd edition, Prentice-Hall, New Jersey.*

Chun Jen Chung, H. M. (2007). *Optimizing the economic lot size of a three-stage Supply Chain with backordering derived without derivatives.*

Costa, T., Silva, F., & Ferreira, L. P. (2017). Improve the extrusion process in tire production using Six Sigma methodology. *Procedia Manufacturing*, 1104-1111.

Du, Z. &. (2018). *Analysis of carbon emissions reduction of China's metallurgical industry. Journal of Cleaner Production, 176, 1177-1184.*

Fatkhudin, M. I. (2017). *Pengaruh Leverage, Profitabilitas, Ukuran Perusahaan,Kinerja Lingkungan, dan Kepemilikan Manajerial Terhadap Pengungkapan Emisi Karbon. Skripsi Fakultas Ekonomi Universitas Negeri Semarang.*

Febryanti1, N. S. (2024). *Analisis Jejak Karbon Dalam Produksi Dan Konsumsi Energi : Menuju Ekonomi Hijau.*

Fitrina Lestari, R. (2024). *Penerapan Metode Economic Order quantity dan Just in Time Guna Meningkatkan Optimasi Pengendalian Persediaan Produk.*

Fransiscus, H., Cynthia, P. J., & Isabella, S. A. (2014). Implementasi Metode Six Sigma DMAIC untuk Mengurangi Paint Bucket Cacat di PT X. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri, 3*(2), 53-63.

Fremstad, A. &. (2019). *The Impact of a Carbon Tax on Inequality. Ecological Economics, 163. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.04.016.*

Geroe, S. (2019). *Addressing Climate Change Through a Low-Cost, High-Impact Carbon Tax. Journal of Environment and Development, 28(1). https://doi.org/10.1177/1070496518821152.*

GHG Protocol . (2015). GHG Protocol *Scope* 2 Guidance. World Resource Institute.

Ghiffari Ibrahim, A. H. (2013, Juli). Analisis Six Sigma Untuk Mengurangi Jumlah Cacat di Stasiun Kerja Sablon (Studi Kasus: CV. Miracle). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, 1*.

Guardio Eraniola, E. S. (2021). Menentukan Rute Kendaraan PT. Sarana Cahaya Makmur Metode Algoritma Ant Colony Optimization . *Jurnal IKRA-ITH TEKNOLOGI*.

Hájek, M. Z. (2019). *Analysis of carbon tax efficiency in energy industries of selected EU countries. Energy Policy, 134. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110955.*

Hakim iqbal. (2019). *Eksternalitas: Pengertian, Dampak, serta Jenis-Jenisnya.*

Heizer, J. d. (2011). *ManajemenOperasi. Buku Dua. Edisi Sembilan. SelembaEmpat. Jakarta.*

Heizer, J. R. (2010). *Manajemen Operasi, Edisi Kesembilan Buku Dua, Salemba Empat, Jakarta.*

Heryanto. (2019). *Pengendalian Persediaan Produk Obat Herbal pada Permintaan Probabilistik Menggunakan Joint Economic Lot size.*

Hoque, I. &. (2017). *A Joint Economic Lot size Model for a Supplier-Manufacturer-Retailer Supply Chain of an Agricultural Product.*

Hugos, M. (2021). *Key Concepts of Supply Chain management (Issue March 2012). https://doi.org/10.1002/9781118386408.ch1*.

Hutabarat, P. &. (2017). *Pengendalian Biaya Persediaan Terintegrasi Antara Supplier dan Buyer Dengan Menggunakan Metode JELS (Joint Economic Lot size) (Studi Kasus: Gudang Distributor CV. Berkat Mulia)" .*

Ibrahim, G., Harsono, A., & Bakar, A. (2013, Juli). Analisis Six Sigma Untuk Mengurangi Jumlah Cacat di Stasiun Kerja Sablon (Studi Kasus: CV. Miracle). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, 1*.

Indrawati Sri, M. R. (2015). Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application. *Procedia Manufacturing*, 528-534.

Indrawati, S., & Ridwansyah, M. (2015). Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application. *Procedia Manufacturing*, 528-534.

Innovation Center for U.S Dairy. (2019).

IPCC. (2022). Annex I: Glossary. Dalam Global Warming of 1.5°C (hlm. 541 -562). Cambridge University Press. htpps://doi.org/10.1017/9781009157940.008

Jauhari, W. A. (2009). Model Joint Economic Lit Size Pada Kasus Pemasok-Pembeli dengan Permintaan Probabilistik.

Jauhari, W. A. (2012). *Pengembangan Model Produksi-Persediaan pada Kasus Pemasok-Pembeli dengan Kebijakan Pengurangan Biaya Pemesanan dan Lead Time yang Bergantung pada Ukuran Lot.*

Jones, M. W. (2023). National Contributions to Climate Change Due to Historical Emissions of Carbon dioxide, methane, and Nitrous Oxide Since 1850. Scientific Data, 10(1). https://doi.org/10.1038/s41597-023-0204101.

Jose L. Gonzalez, D. G. (2010). *Analysis of an Economic Order quantity and Reorder Point Inventory Control Model for Company XYZ.*

Kotler, P. d. (2008). *Principles of Marketing. 12th edition vol. New Jersey: Prentice Hall. .*

Kussuma, & Fendy, M. (2014). Analisis Kualitas Produk Pakan Ternak Dengan Metoode Six Sigma Di PT. Charoen Pokphand Indonesia (Tbk). *JTM*, 54-62.

Lestari, E. A. (2019). *Efektivitas Ruang Terbuka Hijau Dalam Mereduksi Emisi Gas Karbon Di Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Seminar Nasional Geomatika, 3. https://doi.org/10.24895/sng.2018.3-0.979.*

Long, H., & Feng, G. (2024). Does National ESG Performance Curb Greenhouse Gas Emission Innovation and Green Development, 3(3), 100138. https://doi.org/10.1016/j.igd.2024.100138.

M. Khojaste Sarakhsi, S. F. (2016). *Joint economic lot-sizing problem for a two-stage Supply Chain with price-sensitive demand.*

Ma, X. W. (2019). *Carbon emissions from energy consumption in China: Its measurement and driving factors. Science of the total environment, 648, 1411-1420.*

Manisalidis. I., S. E. (2020). Environmental and Healt Impact of Air Pollution: A Review. Frontiers in Public Health, 8. https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.0014.

Meixell, M. J. (2008). *"A review of the transportation mode choice and carrier selection literature." The International Journal of Logistics Management 183-211.*

Metcalf, G. E. (2021). *Carbon taxes in theory and practice. In Annual Review of Resource Economics (Vol. 13). https://doi.org/10.1146/annurev-resource-102519-113630.*

Moersid, A. F. (2013). *Re-Invensi Batik dan Identitas Indonesia dalam Arena Pasar Global.* urnal Ilmiah Widya, 1(2), 121–128.

Muhammad Arif Agustian, S. S. (2022). *Pengembangan Model Persediaan Single Vendor Multi Buyer Dengan Kebijakan Rework.*

Nar, M. (2021). *he role of carbon taxes in reducing greenhouse gas emissions. International Journal of Energy Economics and Policy, 11(1). https://doi.org/10.32479/ijeep.10721.*

Nofariza Aulia Jeremi, I. V. (2023). *Supply Chain Optimization Model for Fresh Cow's Milk to ReduceCarbon Emissions and Food Waste.*

Pongoh, M. (2016). *Analisis Penerapan Manajemen Rantai Pasokan Pabrik Gula Aren Masarang. Jurnal EMBA: Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis dan Akuntansi. Vol.4(2):170-181.*

Prayoga Rizky Hermawan, S. S. (2021). *Model Penentuan Jumlah Produksi yang Optimal pada Rantai Pasok dengan Produsen Tunggal dan Multi- Retailer .*

Pristiwaji, A. S. (2023). *Optimasi Sistem Rantai Pasok Multi-Eselon Dengan Permintaan Probabilistik Menggunakan Pendekatan Teori Permainan Stackelberg dan Algoritma Evolusi.*

Putri, & Fatma, C. (2010). Upaya Menurunkan Jumlah Cacat Produk Shuttlecock Dengan Metode Six Sigma. *Widya Teknika, 18*(2), 14-23.

Putri, C. F. (2010). Upaya Menurunkan Jumlah Cacat Produk Shuttlecock Dengan Metode Six Sigma. *Widya Teknika, 18*(2), 14-23.

RA Dinasty Purnomoasri, D. H. (2022). *Analisis dan Mitigasi Emisi Gas Buang Akibat Transportasi (Studi Kasus Kabupaten Magetan) .*

Rahmadania, N. (2022). *Pemanasan Global Penyebab Efek Rumah Kaca dan Penangulangannya. 2(3), 1-13. Ilmuteknik. org.*

Reiman, B. (1998). *"Sustaining the competitive advantage." Planning Review 17: 30-39.*

Rifai, M. I. (2018). *Implementasi Joint Economic Lot-Sizing Guna Mengoptimalkan Total Biaya Buyer Dan Vendor.*

Rika Sri Utami, R. A. (2024). Penerapan *Algoritma evolutionary* dan Nearest Neighbor untuk Optimasi Rute Distribusi. *Jurnal Teknik Sistem dan Industri*.

Rusdiana, H. A. (2018). *Kewirausahaan Teori dan Praktik. Journal for Research in Mathematics Learning, 2(4), 369.*

S. Barzegar, M. S. (2016). *Development of a Joint Economic Lot size model with stochastic demand within non-equal shipments .*

S. Kamal Chaharsooghi, J. H. (2009). *Supply Chain coordination for the joint determination of order quantity and Reorder Point using credit option .*

Sari, N. (2022). *Perencanaan Dan Pengendalian Persediaan Barang Dalam Upaya Meningkatkan Efektivitas Gudang. Jurnal Bisnis, Logistik Dan Supply Chain (BLOGCHAIN), 2(2), 85–91. https://doi.org/10.55122/blogchain.v2i2.542.*

Shidarta. (2019). *Eksternalitas Positif dan Negatif. Business-Law.Binus.Ac.Id, December 2019.*

Sucipto, Sulistyowati, D. P., & Anggarini, S. (2017). Pengendalian Kualitas Pengalengan Jamur dengan Metode Six Sigma di PT Y,Pasuruan, Jawa Timur. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 1-7.

Tan, H. T. (2012). Metode DMAIC Sebagai Solusi Pengendalian Kualitas Produksi Sepatu Tambang:Studi Kasus PT Mangul Jaya-Bekasi. *ComTech, 3*, 509-523.

Tia Octaviany, A. G. (2023). *Mengoptimalkan Manajemen Persediaan Melalui Teknologi Rantai Pasokan.*

Tjiptono, F. (2008). *Strategi Pemasaran. Vol. Edisi Ketiga. Yogyakarta: Andi.*

U.S Environmental Protection Agency. (2013). CO2e. https;//www3.epa.goc/carbon-footprint-calculator/tool/definitions/co2e.html.

United Nations. (1998). *Kyoto Protocol To The United Nations Framwork Convention On Climate Change United Nations.*

Utari, A. (2014). *Cara Pengendalian Persediaan Obat Paten dengan Metode Analisis ABC, Metode Economic Order quantity (EOQ), Buffer Stock dan Reoder Point (ROP) di Unit Gudang Farmasi RS Zahirah Tahun 2014.*

Vitho, I., Ginting, E., & Anizar. (2013). Aplikasi Six Sigma Untuk Menganalisis Faktor-faktor Penyebab Kecacatan Produk Crumb Rubber Sir 20 Pada Pt. XYZ. *e-Jurnal Teknik Industri FT USU Vol 3, No. 4*, 23-28.

Wiratno, A. &. (2020). *Profitabilitas, Ukuran Perusahaan, Dan Leverage Mempengaruhi Pengungkapan Emisi Karbon Di Indonesia. Jurnal Ekonomi, Bisnis, Dan Akuntansi, 22(1).*

Wisnubroto, P., & Rukmana, A. (2015). Pengendalian Kualitas Produk dengan Pendekatan Six Sigma dan Analisis Kaizen serta New Seven Tools Sebagai Usaha Pengurangan Kecacatan Produk. *Jurnal Teknologi*, 65-74.

YUE, X. L. (2018). Contributions of natural systems and human activity to greenhouse gas emissions. Advances in Climate Change Research, 9 (4), 243-252. htpps://doi.org/10.1016/j.accre.2018.12.003.

Yuliana, Nasution, Y. N., & Wasono. (2017). Penggunaan Metode Kaizen Pada Tahap Improve Dalam Six Sigma (Studi Kasus: Perusahaan Air Minum Dalam Kemasan(AMDK) Merk RAMA Produksi PT Ranam Mahakam Indonesia). *Jurnal Eksponensial*.

Zhou, X. W. (2021). *Supply Chain management under carbon taxes: A review and bibliometric analysis. In Omega (United Kingdom) (Vol. 98). https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102295.*

# LAMPIRAN

A. Data Distribusi pola Permintaan (Demand Petterrn)

**Produk Batik 1**

(Tabel 1 Permintaan Pembeli ke Pemasok pada Produk Batik 1)

| **Vendor** | ***Buyer*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| | Normal(300, 35) | Normal(150, 20) | Uniform(30, 70) | Uniform(120, 155) | Normal(60, 25) |

(Tabel 2 Permintaan Pembeli ke Pembeli pada Produk Batik 1)

| ***Buyer*** | ***Buyer*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | | Uniform(20, 100) | Uniform(20, 150) | | |
| 2 | | | | Uniform(70, 130) | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | Uniform(20, 50) | | | | |

**Produk Batik 2**

(Tabel 3 Permintaan Pembeli Ke Pemasok pada Produk Batik 2)

| **Vendor** | ***Buyer*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| | ormal(300, 70) | ormal(500, 130) | ormal(400, 100) | niform(300, 450) | niform(200, 350) |

(Tabel 4 Permintaan Pembeli ke Pembeli pada Produk Batik 2)

| ***Buyer*** | ***Buyer*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | | Uniform(50, 80) | Uniform(50, 70) | | |
| 2 | | | | Uniform(20, 50) | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | Uniform(20, 50) | | | | |

**Produk Batik 3**

(Tabel 5 Permintaan Pembeli ke Pemasok pada Produk Batik 3)

| **Vendor** | ***Buyer*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| | niform(220, 47) | niform(100, 130) | niform(128, 240) | niform(100, 125) | niform(180, 310) |

(Tabel 6 Permintaan Pembeli ke Pembeli pada Produk Batik 3)

| ***Buyer*** | ***Buyer*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | | Uniform(50, 150) | Uniform(70, 90) | | |
| 2 | | | | Uniform(40, 110) | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | Uniform(30, 40) | | | | |

**Produk Batik 4**

(Tabel 7 Permintaan Pembeli ke Pemasok pada Produk Batik 4)

| **Vendor** | ***Buyer*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| | Uniform(60, 170) | Uniform(100, 300) | Uniform(240, 393) | Uniform(100, 350) | Normal(500, 120) |

(Tabel 8 Permintaan Pembeli ke Pembeli pada Produk Batik 4)

| ***Buyer*** | ***Buyer*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | | Uniform(40, 70) | Uniform(30, 110) | | |
| 2 | | | | Uniform(30, 90) | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | Uniform(40, 50) | | | | |

**Produk Batik 5**

(Tabel 9 Permintaan Pembeli ke Pemasok pada Produk Batik 5)

| **Vendor** | ***Buyer*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| | Normal(287, 70) | Normal(380, 70) | Uniform(140, 330) | Uniform(100, 230) | Normal(290, 25) |

(Tabel 10 Permintaan Pembeli ke Pembeli pada Produk Batik 5)

| ***Buyer*** | ***Buyer*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | | Uniform(20, 100) | Uniform(20, 70) | | |
| 2 | | | | Uniform(100, 300) | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | Uniform(50, 80) | | Uniform(30,60) | | |

B. Hasil Model Optimasi Tanpa Koordinasi

Contoh di bawah ini untuk produk Batik 1 saja

*Buyer* 1

| t | Beginning Inventory | Customer Demand | B2 Demand | B3 Demand | total demand | Ending Inventory | Lost Sales | abs.inv | Order Status | Order Received from Vendor | Order Received from B5 | Ordering Cost | inventory cost | Lost Sales Cost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 12 | 0 | 0 | 12 | 8 | 0 | 8 | 1 | 0 | 0 | 130000 | 16000 | 0 |
| 2 | 8 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40000 |
| 3 | 0 | 11 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 220000 |
| 4 | 0 | 8 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 160000 |
| 5 | 0 | 9 | 0 | 0 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 180000 |
| 6 | 0 | 11 | 0 | 0 | 11 | 30 | 0 | 30 | 1 | 40 | 1 | 143000 | 60000 | 0 |
| 7 | 30 | 10 | 1 | 1 | 12 | 18 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36000 | 0 |
| 8 | 18 | 9 | 0 | 0 | 9 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 9 | 9 | 9 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200000 |
| 11 | 0 | 8 | 0 | 0 | 8 | 32 | 0 | 32 | 1 | 40 | 0 | 130000 | 64000 | 0 |
| 12 | 32 | 11 | 0 | 0 | 11 | 21 | 0 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42000 | 0 |
| 13 | 21 | 9 | 0 | 1 | 10 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22000 | 0 |
| 14 | 11 | 7 | 3 | 0 | 10 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 13000 | 4000 | 0 |
| 15 | 2 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 160000 |
| 16 | 0 | 10 | 0 | 0 | 10 | 30 | 0 | 30 | 1 | 40 | 0 | 130000 | 60000 | 0 |
| 17 | 30 | 9 | 0 | 0 | 9 | 21 | 0 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42000 | 0 |
| 18 | 21 | 9 | 0 | 0 | 9 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 19 | 12 | 11 | 0 | 0 | 11 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 20 | 1 | 10 | 1 | 0 | 11 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200000 |
| 21 | 0 | 9 | 0 | 2 | 11 | 30 | 0 | 30 | 1 | 40 | 1 | 143000 | 60000 | 0 |
| 22 | 30 | 10 | 0 | 0 | 10 | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40000 | 0 |
| 23 | 20 | 11 | 0 | 0 | 11 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 24 | 9 | 11 | 0 | 0 | 11 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40000 |
| 25 | 0 | 9 | 0 | 0 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 180000 |
| 26 | 0 | 9 | 0 | 0 | 9 | 31 | 0 | 31 | 1 | 40 | 0 | 130000 | 62000 | 0 |
| 27 | 31 | 9 | 3 | 3 | 15 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 28 | 16 | 9 | 0 | 0 | 9 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 1 | 13000 | 16000 | 0 |
| 29 | 8 | 12 | 0 | 0 | 12 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80000 |
| 30 | 0 | 11 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 220000 |
| 31 | 0 | 11 | 0 | 0 | 11 | 29 | 0 | 29 | 1 | 40 | 0 | 130000 | 58000 | 0 |
| 32 | 29 | 10 | 0 | 0 | 10 | 19 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38000 | 0 |
| 33 | 19 | 8 | 0 | 0 | 8 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22000 | 0 |
| 34 | 11 | 11 | 1 | 4 | 16 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 2 | 13000 | 0 | 100000 |
| 35 | 0 | 9 | 0 | 0 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 180000 |
| 36 | 0 | 11 | 0 | 0 | 11 | 29 | 0 | 29 | 1 | 40 | 0 | 130000 | 58000 | 0 |
| 37 | 29 | 10 | 0 | 0 | 10 | 19 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38000 | 0 |
| 38 | 19 | 9 | 0 | 0 | 9 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 39 | 10 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 0 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200000 |
| 41 | 0 | 10 | 1 | 0 | 11 | 29 | 0 | 29 | 1 | 40 | 0 | 130000 | 58000 | 0 |
| 42 | 29 | 10 | 0 | 1 | 11 | 19 | 0 | 19 | 0 | 0 | 1 | 13000 | 38000 | 0 |
| 43 | 19 | 9 | 0 | 0 | 9 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 44 | 10 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | 0 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200000 |
| 46 | 0 | 13 | 0 | 0 | 13 | 27 | 0 | 27 | 1 | 40 | 0 | 130000 | 54000 | 0 |
| 47 | 27 | 7 | 0 | 0 | 7 | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40000 | 0 |
| 48 | 20 | 12 | 1 | 4 | 17 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 49 | 3 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 13000 | 0 | 140000 |
| 50 | 0 | 8 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 160000 |
| 51 | 0 | 9 | 0 | 0 | 9 | 31 | 0 | 31 | 1 | 40 | 0 | 130000 | 62000 | 0 |
| 52 | 31 | 11 | 0 | 0 | 11 | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40000 | 0 |
| 53 | 20 | 9 | 0 | 0 | 9 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22000 | 0 |
| 54 | 11 | 10 | 0 | 0 | 10 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 55 | 1 | 10 | 0 | 5 | 15 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 280000 |
| 56 | 0 | 10 | 1 | 0 | 11 | 31 | 0 | 31 | 1 | 40 | 2 | 143000 | 62000 | 0 |
| 57 | 31 | 11 | 0 | 0 | 11 | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40000 | 0 |
| 58 | 20 | 10 | 0 | 0 | 10 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 59 | 10 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 0 | 11 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 220000 |

*Buyer 2*

| t | Beginning Inventory | Customer Demand | B4 Demand | total demand | Ending Inventory | Lost Sales | abs.inv | Order Status | Order Received from Vendor | Order Received from B1 | Ordering Cost | Inventory Cost | Lost Sales Cost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 6 | 0 | 6 | 14 | 0 | 14 | 1 | 0 | 0 | 50000 | 28000 | 0 |
| 2 | 14 | 6 | 0 | 6 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16000 | 0 |
| 3 | 8 | 5 | 0 | 5 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 4 | 3 | 4 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 125000 |
| 6 | 0 | 5 | 0 | 5 | 20 | 0 | 20 | 1 | 25 | 0 | 50000 | 40000 | 0 |
| 7 | 20 | 6 | 4 | 10 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 1 | 8000 | 22000 | 0 |
| 8 | 11 | 5 | 0 | 5 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 9 | 6 | 5 | 0 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 10 | 1 | 6 | 0 | 6 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 125000 |
| 11 | 0 | 5 | 0 | 5 | 20 | 0 | 20 | 1 | 25 | 0 | 50000 | 40000 | 0 |
| 12 | 20 | 5 | 0 | 5 | 15 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30000 | 0 |
| 13 | 15 | 5 | 0 | 5 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 14 | 10 | 5 | 4 | 9 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 | 8000 | 8000 | 0 |
| 15 | 4 | 6 | 0 | 6 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 16 | 0 | 6 | 0 | 6 | 19 | 0 | 19 | 1 | 25 | 0 | 50000 | 38000 | 0 |
| 17 | 19 | 6 | 0 | 6 | 13 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 18 | 13 | 6 | 0 | 6 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 19 | 7 | 4 | 0 | 4 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 20 | 3 | 5 | 3 | 8 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8000 | 0 | 125000 |
| 21 | 0 | 5 | 0 | 5 | 20 | 0 | 20 | 1 | 25 | 0 | 50000 | 40000 | 0 |
| 22 | 20 | 4 | 0 | 4 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 23 | 16 | 5 | 0 | 5 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22000 | 0 |
| 24 | 11 | 5 | 0 | 5 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 25 | 6 | 5 | 0 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 26 | 1 | 5 | 0 | 5 | 21 | 0 | 21 | 1 | 25 | 0 | 50000 | 42000 | 0 |
| 27 | 21 | 5 | 0 | 5 | 19 | 0 | 19 | 0 | 0 | 3 | 8000 | 38000 | 0 |
| 28 | 19 | 4 | 4 | 8 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22000 | 0 |
| 29 | 11 | 5 | 0 | 5 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 30 | 6 | 5 | 0 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 31 | 1 | 6 | 0 | 6 | 20 | 0 | 20 | 1 | 25 | 0 | 50000 | 40000 | 0 |
| 32 | 20 | 6 | 0 | 6 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 33 | 14 | 5 | 0 | 5 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 34 | 9 | 6 | 3 | 9 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 8000 | 2000 | 0 |
| 35 | 1 | 5 | 0 | 5 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100000 |
| 36 | 0 | 5 | 0 | 5 | 20 | 0 | 20 | 1 | 25 | 0 | 50000 | 40000 | 0 |
| 37 | 20 | 5 | 0 | 5 | 15 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30000 | 0 |
| 38 | 15 | 5 | 0 | 5 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 39 | 10 | 6 | 0 | 6 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 40 | 4 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 41 | 0 | 5 | 3 | 8 | 18 | 0 | 18 | 1 | 25 | 1 | 58000 | 36000 | 0 |
| 42 | 18 | 6 | 0 | 6 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 43 | 12 | 5 | 0 | 5 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 44 | 7 | 6 | 0 | 6 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 45 | 1 | 5 | 0 | 5 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100000 |
| 46 | 0 | 5 | 0 | 5 | 20 | 0 | 20 | 1 | 25 | 0 | 50000 | 40000 | 0 |
| 47 | 20 | 6 | 0 | 6 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 48 | 14 | 6 | 3 | 9 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 1 | 8000 | 12000 | 0 |
| 49 | 6 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 125000 |
| 51 | 0 | 4 | 0 | 4 | 21 | 0 | 21 | 1 | 25 | 0 | 50000 | 42000 | 0 |
| 52 | 21 | 4 | 0 | 4 | 17 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34000 | 0 |
| 53 | 17 | 6 | 0 | 6 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22000 | 0 |
| 54 | 11 | 4 | 0 | 4 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 55 | 7 | 6 | 3 | 9 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 56 | 0 | 5 | 0 | 5 | 21 | 0 | 21 | 1 | 25 | 1 | 58000 | 42000 | 0 |
| 57 | 21 | 4 | 0 | 4 | 17 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34000 | 0 |
| 58 | 17 | 5 | 0 | 5 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 59 | 12 | 6 | 0 | 6 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 60 | 6 | 4 | 0 | 4 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |

*Buyer* 3

| t | Beginning Inventory | Customer Demand | total demand | Ending Inventory | Lost Sales | abs.inv | Order Status | Order Received from Vendor | Order Received from B1 | Ordering Cost | Inventory Cost | Lost Sales Cost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 2 | 2 | 18 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36000 | 0 |
| 2 | 18 | 2 | 2 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 3 | 16 | 1 | 1 | 15 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30000 | 0 |
| 4 | 15 | 2 | 2 | 13 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 5 | 13 | 1 | 1 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 6 | 12 | 2 | 2 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 7 | 10 | 2 | 2 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 1 | 8000 | 18000 | 0 |
| 8 | 9 | 2 | 2 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 9 | 7 | 2 | 2 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 10 | 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 11 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 27500 | 2000 | 0 |
| 12 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 13 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8000 | 0 | 50000 |
| 14 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 15 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 16 | 0 | 2 | 2 | 9 | 0 | 9 | 0 | 11 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 17 | 9 | 2 | 2 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 18 | 7 | 1 | 1 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 19 | 6 | 2 | 2 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 20 | 4 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 21 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 8000 | 4000 | 0 |
| 22 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 27500 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 24 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 25 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 26 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 27 | 0 | 2 | 2 | 12 | 0 | 12 | 0 | 11 | 3 | 8000 | 24000 | 0 |
| 28 | 12 | 2 | 2 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 29 | 10 | 1 | 1 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 30 | 9 | 1 | 1 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16000 | 0 |
| 31 | 8 | 2 | 2 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 32 | 6 | 1 | 1 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 33 | 5 | 1 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 34 | 4 | 2 | 2 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 4 | 8000 | 12000 | 0 |
| 35 | 6 | 1 | 1 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 36 | 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 37 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 27500 | 2000 | 0 |
| 38 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 39 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 40 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 41 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 42 | 0 | 2 | 2 | 10 | 0 | 10 | 0 | 11 | 1 | 8000 | 20000 | 0 |
| 43 | 10 | 1 | 1 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 44 | 9 | 2 | 2 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 45 | 7 | 2 | 2 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 46 | 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 47 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 27500 | 2000 | 0 |
| 48 | 1 | 1 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | 8000 | 8000 | 0 |
| 49 | 4 | 1 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 50 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 51 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 52 | 0 | 1 | 1 | 10 | 0 | 10 | 0 | 11 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 53 | 10 | 1 | 1 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 54 | 9 | 2 | 2 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 55 | 7 | 2 | 2 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 5 | 8000 | 20000 | 0 |
| 56 | 10 | 1 | 1 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 57 | 9 | 1 | 1 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16000 | 0 |
| 58 | 8 | 2 | 2 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 59 | 6 | 1 | 1 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 60 | 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |

*Buyer* 4

| t | Beginning Inventory | Customer Demand | total demand | Ending Inventory | Lost Sales | abs.inv | Order Status | Order Received from Vendor | Order Received from 2 | Ordering Cost | Inventory Cost | Lost Sales Cost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 4 | 4 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 2 | 16 | 5 | 5 | 11 | 0 | 11 | 1 | 0 | 0 | 36000 | 22000 | 0 |
| 3 | 11 | 4 | 4 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 4 | 7 | 4 | 4 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 5 | 3 | 4 | 4 | 17 | 0 | 17 | 0 | 18 | 0 | 0 | 34000 | 0 |
| 6 | 17 | 5 | 5 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 7 | 12 | 5 | 5 | 7 | 0 | 7 | 1 | 0 | 4 | 44000 | 14000 | 0 |
| 8 | 7 | 5 | 5 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 9 | 2 | 5 | 5 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 105000 |
| 10 | 0 | 5 | 5 | 13 | 0 | 13 | 0 | 18 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 11 | 13 | 5 | 5 | 8 | 0 | 8 | 1 | 0 | 0 | 36000 | 16000 | 0 |
| 12 | 8 | 5 | 5 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 13 | 3 | 5 | 5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70000 |
| 14 | 0 | 4 | 4 | 14 | 0 | 14 | 0 | 18 | 4 | 8000 | 28000 | 0 |
| 15 | 14 | 4 | 4 | 10 | 0 | 10 | 1 | 0 | 0 | 36000 | 20000 | 0 |
| 16 | 10 | 4 | 4 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 17 | 6 | 4 | 4 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 18 | 2 | 4 | 4 | 16 | 0 | 16 | 0 | 18 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 19 | 16 | 4 | 4 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 20 | 12 | 4 | 4 | 8 | 0 | 8 | 1 | 0 | 3 | 44000 | 16000 | 0 |
| 21 | 8 | 5 | 5 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 22 | 3 | 5 | 5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70000 |
| 23 | 0 | 4 | 4 | 14 | 0 | 14 | 0 | 18 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 24 | 14 | 4 | 4 | 10 | 0 | 10 | 1 | 0 | 0 | 36000 | 20000 | 0 |
| 25 | 10 | 5 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 26 | 5 | 4 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 27 | 1 | 5 | 5 | 14 | 0 | 14 | 0 | 18 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 28 | 14 | 4 | 4 | 10 | 0 | 10 | 1 | 0 | 4 | 44000 | 20000 | 0 |
| 29 | 10 | 4 | 4 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 30 | 6 | 5 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 31 | 1 | 5 | 5 | 14 | 0 | 14 | 0 | 18 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 32 | 14 | 4 | 4 | 10 | 0 | 10 | 1 | 0 | 0 | 36000 | 20000 | 0 |
| 33 | 10 | 4 | 4 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 34 | 6 | 4 | 4 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 8000 | 4000 | 0 |
| 35 | 2 | 4 | 4 | 16 | 0 | 16 | 0 | 18 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 36 | 16 | 4 | 4 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 37 | 12 | 5 | 5 | 7 | 0 | 7 | 1 | 0 | 0 | 36000 | 14000 | 0 |
| 38 | 7 | 5 | 5 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 39 | 2 | 4 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70000 |
| 40 | 0 | 5 | 5 | 13 | 0 | 13 | 0 | 18 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 41 | 13 | 5 | 5 | 8 | 0 | 8 | 1 | 0 | 3 | 44000 | 16000 | 0 |
| 42 | 8 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 43 | 4 | 5 | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35000 |
| 44 | 0 | 5 | 5 | 13 | 0 | 13 | 0 | 18 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 45 | 13 | 5 | 5 | 8 | 0 | 8 | 1 | 0 | 0 | 36000 | 16000 | 0 |
| 46 | 8 | 5 | 5 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 47 | 3 | 4 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35000 |
| 48 | 0 | 5 | 5 | 13 | 0 | 13 | 0 | 18 | 3 | 8000 | 26000 | 0 |
| 49 | 13 | 5 | 5 | 8 | 0 | 8 | 1 | 0 | 0 | 36000 | 16000 | 0 |
| 50 | 8 | 5 | 5 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 51 | 3 | 5 | 5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70000 |
| 52 | 0 | 5 | 5 | 13 | 0 | 13 | 0 | 18 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 53 | 13 | 5 | 5 | 8 | 0 | 8 | 1 | 0 | 0 | 36000 | 16000 | 0 |
| 54 | 8 | 5 | 5 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 55 | 3 | 4 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 8000 | 0 | 35000 |
| 56 | 0 | 4 | 4 | 14 | 0 | 14 | 0 | 18 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 57 | 14 | 5 | 5 | 9 | 0 | 9 | 1 | 0 | 0 | 36000 | 18000 | 0 |
| 58 | 9 | 5 | 5 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 59 | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 0 | 5 | 5 | 13 | 0 | 13 | 0 | 18 | 0 | 0 | 26000 | 0 |

*Buyer* 5

| t | Beginning Inventory | Customer Demand | B1 Demand | total demand | Ending Inventory | Lost Sales | abs. inv | Order Status | Order Received From Vendor | Ordering Cost | Inventory Cost | Lost Sales Cost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 40000 | 0 |
| 2 | 20 | 1 | 0 | 1 | 19 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 | 38000 | 0 |
| 3 | 19 | 3 | 0 | 3 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 4 | 16 | 2 | 0 | 2 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 5 | 14 | 1 | 0 | 1 | 13 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 6 | 13 | 3 | 1 | 4 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 7 | 9 | 2 | 0 | 2 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 8 | 7 | 2 | 0 | 2 | 5 | 0 | 5 | 1 | 0 | 19500 | 10000 | 0 |
| 9 | 5 | 1 | 0 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 10 | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 11 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 13 | 0 | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 3 | 1 | 6 | 19500 | 6000 | 0 |
| 14 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 15 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 17 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75000 |
| 18 | 0 | 2 | 0 | 2 | 4 | 0 | 4 | 1 | 6 | 19500 | 8000 | 0 |
| 19 | 4 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 20 | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 21 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75000 |
| 23 | 0 | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 3 | 1 | 6 | 19500 | 6000 | 0 |
| 24 | 3 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 25 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 27 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 28 | 0 | 2 | 1 | 3 | 3 | 0 | 3 | 1 | 6 | 19500 | 6000 | 0 |
| 29 | 3 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75000 |
| 31 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75000 |
| 32 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 33 | 0 | 1 | 0 | 1 | 5 | 0 | 5 | 1 | 6 | 19500 | 10000 | 0 |
| 34 | 5 | 2 | 2 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 35 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 36 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 37 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 38 | 0 | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 3 | 1 | 6 | 19500 | 6000 | 0 |
| 39 | 3 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 40 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 41 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 42 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75000 |
| 43 | 0 | 2 | 0 | 2 | 4 | 0 | 4 | 1 | 6 | 19500 | 8000 | 0 |
| 44 | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 45 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 46 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 47 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100000 |
| 48 | 0 | 1 | 0 | 1 | 5 | 0 | 5 | 1 | 6 | 19500 | 10000 | 0 |
| 49 | 5 | 3 | 1 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 50 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 52 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 53 | 0 | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 3 | 1 | 6 | 19500 | 6000 | 0 |
| 54 | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 55 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 56 | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75000 |
| 57 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75000 |
| 58 | 0 | 2 | 0 | 2 | 4 | 0 | 4 | 1 | 6 | 19500 | 8000 | 0 |
| 59 | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 60 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |

Vendor

| t | Beginning inven | demand from B1 | Demand from B2 | Demand from B3 | demand from B4 | Demand from B5 | Ending Inventory | lost sales | abs. inv | lost sales cost | setup cost | Inventory Cost | carbon emission cost for setup | daily carbon emissio n cost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 40 | 25 | 0 | 0 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 5700 | 161000 | 7800 | 62400 |
| 2 | 46 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 39 | 0 | 39 | 0 | 0 | 136500 | 0 | 62400 |
| 3 | 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 | 50 | 0 | 0 | 175000 | 0 | 62400 |
| 4 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 61 | 0 | 61 | 0 | 5700 | 213500 | 7800 | 62400 |
| 5 | 61 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 72 | 0 | 72 | 0 | 0 | 252000 | 0 | 62400 |
| 6 | 72 | 40 | 25 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 18 | 0 | 0 | 63000 | 0 | 62400 |
| 7 | 18 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 5700 | 38500 | 7800 | 62400 |
| 8 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 56000 | 0 | 62400 |
| 9 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 | 27 | 0 | 0 | 94500 | 0 | 62400 |
| 10 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38 | 0 | 38 | 0 | 5700 | 133000 | 7800 | 62400 |
| 11 | 38 | 40 | 25 | 11 | 18 | 0 | 0 | 56 | 0 | 308000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 38500 | 0 | 62400 |
| 13 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 16 | 0 | 16 | 0 | 5700 | 56000 | 7800 | 62400 |
| 14 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 | 27 | 0 | 0 | 94500 | 0 | 62400 |
| 15 | 27 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 70000 | 0 | 62400 |
| 16 | 20 | 40 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 | 0 | 247500 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 38500 | 0 | 62400 |
| 18 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 56000 | 0 | 62400 |
| 19 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 | 27 | 0 | 5700 | 94500 | 7800 | 62400 |
| 20 | 27 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 70000 | 0 | 62400 |
| 21 | 20 | 40 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 | 0 | 247500 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 60500 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 | 6 | 5 | 33000 | 0 | 17500 | 0 | 62400 |
| 24 | 5 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 0 | 13 | 0 | 71500 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 5700 | 38500 | 7800 | 62400 |
| 26 | 11 | 40 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54 | 0 | 297000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 38500 | 0 | 62400 |
| 28 | 11 | 0 | 0 | 0 | 18 | 6 | 0 | 13 | 0 | 71500 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 38500 | 0 | 62400 |
| 30 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 0 | 22 | 0 | 0 | 77000 | 0 | 62400 |
| 31 | 22 | 40 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43 | 0 | 236500 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 0 | 18 | 0 | 99000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 | 6 | 5 | 33000 | 0 | 17500 | 0 | 62400 |
| 34 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 16 | 0 | 5700 | 56000 | 7800 | 62400 |
| 35 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 | 27 | 0 | 0 | 94500 | 0 | 62400 |
| 36 | 27 | 40 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38 | 0 | 209000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 37 | 0 | 0 | 0 | 11 | 18 | 0 | 0 | 29 | 0 | 159500 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 | 6 | 5 | 33000 | 0 | 17500 | 0 | 62400 |
| 39 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 56000 | 0 | 62400 |
| 40 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 | 27 | 0 | 5700 | 94500 | 7800 | 62400 |
| 41 | 27 | 40 | 25 | 0 | 18 | 0 | 0 | 56 | 0 | 308000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 38500 | 0 | 62400 |
| 43 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 16 | 0 | 16 | 0 | 5700 | 56000 | 7800 | 62400 |
| 44 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 | 27 | 0 | 0 | 94500 | 0 | 62400 |
| 45 | 27 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 70000 | 0 | 62400 |
| 46 | 20 | 40 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 | 0 | 247500 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 47 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 60500 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 | 6 | 5 | 33000 | 0 | 17500 | 0 | 62400 |
| 49 | 5 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 0 | 13 | 0 | 71500 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 38500 | 0 | 62400 |
| 51 | 11 | 40 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54 | 0 | 297000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 5700 | 38500 | 7800 | 62400 |
| 53 | 11 | 0 | 0 | 0 | 18 | 6 | 0 | 13 | 0 | 71500 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 54 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 38500 | 0 | 62400 |
| 55 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 0 | 22 | 0 | 5700 | 77000 | 7800 | 62400 |
| 56 | 22 | 40 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43 | 0 | 236500 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 0 | 18 | 0 | 99000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 | 6 | 5 | 33000 | 5700 | 17500 | 7800 | 62400 |
| 59 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 56000 | 0 | 62400 |
| 60 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 | 27 | 0 | 0 | 94500 | 0 | 62400 |

C. Hasil Model Optimasi Dengan Koordinasi

Contoh di bawah ini untuk produk batik 1 saja

*Buyer* 1

| t | Beginning Inventory | Customer Demand | B2 Demand | B3 Demand | total demand | Ending Inventory | Lost Sales | abs. imv | Order Status | Order Received from Vendor | Order Received from B5 | Ordering Cost | inventory cost | Lost Sales Cost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 10 | 0 | 0 | 10 | 10 | 0 | 10 | 1 | 0 | 0 | 149500 | 20000 | 0 |
| 2 | 10 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 11 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 220000 |
| 4 | 0 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200000 |
| 5 | 0 | 8 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 160000 |
| 6 | 0 | 11 | 0 | 0 | 11 | 36 | 0 | 36 | 1 | 46 | 1 | 162500 | 72000 | 0 |
| 7 | 36 | 9 | 3 | 2 | 14 | 22 | 0 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44000 | 0 |
| 8 | 22 | 12 | 0 | 0 | 12 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 9 | 10 | 12 | 0 | 0 | 12 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40000 |
| 10 | 0 | 9 | 0 | 0 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 180000 |
| 11 | 0 | 9 | 0 | 0 | 9 | 37 | 0 | 37 | 1 | 46 | 0 | 149500 | 74000 | 0 |
| 12 | 37 | 8 | 0 | 0 | 8 | 29 | 0 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 58000 | 0 |
| 13 | 29 | 9 | 1 | 0 | 10 | 21 | 0 | 21 | 0 | 0 | 2 | 13000 | 42000 | 0 |
| 14 | 21 | 8 | 0 | 1 | 9 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 15 | 12 | 8 | 0 | 0 | 8 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 16 | 4 | 11 | 0 | 0 | 11 | 39 | 0 | 39 | 1 | 46 | 0 | 149500 | 78000 | 0 |
| 17 | 39 | 9 | 0 | 0 | 9 | 30 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60000 | 0 |
| 18 | 30 | 11 | 0 | 0 | 11 | 19 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38000 | 0 |
| 19 | 19 | 10 | 0 | 0 | 10 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 20 | 9 | 11 | 3 | 0 | 14 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100000 |
| 21 | 0 | 10 | 0 | 5 | 15 | 32 | 0 | 32 | 1 | 46 | 1 | 162500 | 64000 | 0 |
| 22 | 32 | 9 | 0 | 0 | 9 | 23 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46000 | 0 |
| 23 | 23 | 9 | 0 | 0 | 9 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 24 | 14 | 9 | 0 | 0 | 9 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 25 | 5 | 9 | 0 | 0 | 9 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80000 |
| 26 | 0 | 12 | 0 | 0 | 12 | 34 | 0 | 34 | 1 | 46 | 0 | 149500 | 68000 | 0 |
| 27 | 34 | 9 | 2 | 0 | 11 | 23 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46000 | 0 |
| 28 | 23 | 10 | 0 | 2 | 12 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 1 | 13000 | 24000 | 0 |
| 29 | 12 | 10 | 0 | 0 | 10 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 30 | 2 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 160000 |
| 31 | 0 | 10 | 0 | 0 | 10 | 36 | 0 | 36 | 1 | 46 | 0 | 149500 | 72000 | 0 |
| 32 | 36 | 10 | 0 | 0 | 10 | 26 | 0 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 52000 | 0 |
| 33 | 26 | 10 | 0 | 0 | 10 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 34 | 16 | 10 | 0 | 4 | 14 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2 | 13000 | 8000 | 0 |
| 35 | 4 | 10 | 1 | 0 | 11 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 140000 |
| 36 | 0 | 12 | 0 | 0 | 12 | 34 | 0 | 34 | 1 | 46 | 0 | 149500 | 68000 | 0 |
| 37 | 34 | 11 | 0 | 0 | 11 | 23 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46000 | 0 |
| 38 | 23 | 10 | 0 | 0 | 10 | 13 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 39 | 13 | 10 | 0 | 0 | 10 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 40 | 3 | 9 | 0 | 0 | 9 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 120000 |
| 41 | 0 | 9 | 0 | 4 | 13 | 34 | 0 | 34 | 1 | 46 | 1 | 162500 | 68000 | 0 |
| 42 | 34 | 10 | 1 | 0 | 11 | 23 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46000 | 0 |
| 43 | 23 | 12 | 0 | 0 | 12 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22000 | 0 |
| 44 | 11 | 11 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | 0 | 9 | 0 | 0 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 180000 |
| 46 | 0 | 10 | 0 | 0 | 10 | 36 | 0 | 36 | 1 | 46 | 0 | 149500 | 72000 | 0 |
| 47 | 36 | 10 | 0 | 0 | 10 | 26 | 0 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 52000 | 0 |
| 48 | 26 | 11 | 0 | 2 | 13 | 13 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 49 | 13 | 10 | 1 | 0 | 11 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 13000 | 6000 | 0 |
| 50 | 3 | 11 | 0 | 0 | 11 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 160000 |
| 51 | 0 | 13 | 0 | 0 | 13 | 33 | 0 | 33 | 1 | 46 | 0 | 149500 | 66000 | 0 |
| 52 | 33 | 10 | 0 | 0 | 10 | 23 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46000 | 0 |
| 53 | 23 | 11 | 0 | 0 | 11 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 54 | 12 | 11 | 0 | 0 | 11 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 55 | 1 | 10 | 3 | 0 | 13 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 240000 |
| 56 | 0 | 11 | 0 | 2 | 13 | 34 | 0 | 34 | 1 | 46 | 1 | 162500 | 68000 | 0 |
| 57 | 34 | 8 | 0 | 0 | 8 | 26 | 0 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 52000 | 0 |
| 58 | 26 | 9 | 0 | 0 | 9 | 17 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34000 | 0 |
| 59 | 17 | 10 | 0 | 0 | 10 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 60 | 7 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60000 |

*Buyer 2*

| t | Beginning Inventory | Customer Demand | B4 Demand | total demand | Ending Inventory | Lost Sales | abs. inv | Order Status | Order Received from Vendor | Order Received from B1 | Ordering Cost | Inventory Cost | Lost Sales Cost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 6 | 0 | 6 | 14 | 0 | 14 | 1 | 0 | 0 | 48000 | 28000 | 0 |
| 2 | 14 | 5 | 0 | 5 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 3 | 9 | 5 | 0 | 5 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 4 | 4 | 5 | 0 | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 125000 |
| 6 | 0 | 5 | 3 | 8 | 16 | 0 | 16 | 1 | 24 | 0 | 48000 | 32000 | 0 |
| 7 | 16 | 4 | 0 | 4 | 15 | 0 | 15 | 0 | 0 | 3 | 8000 | 30000 | 0 |
| 8 | 15 | 5 | 0 | 5 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 9 | 10 | 4 | 0 | 4 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 10 | 6 | 5 | 0 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 11 | 1 | 4 | 0 | 4 | 21 | 0 | 21 | 1 | 24 | 0 | 48000 | 42000 | 0 |
| 12 | 21 | 5 | 0 | 5 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 13 | 16 | 5 | 4 | 9 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 1 | 8000 | 16000 | 0 |
| 14 | 8 | 6 | 0 | 6 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 15 | 2 | 5 | 0 | 5 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75000 |
| 16 | 0 | 5 | 0 | 5 | 19 | 0 | 19 | 1 | 24 | 0 | 48000 | 38000 | 0 |
| 17 | 19 | 6 | 0 | 6 | 13 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 18 | 13 | 4 | 0 | 4 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 19 | 9 | 5 | 0 | 5 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 20 | 4 | 4 | 0 | 4 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 8000 | 6000 | 0 |
| 21 | 3 | 6 | 4 | 10 | 17 | 0 | 17 | 1 | 24 | 0 | 48000 | 34000 | 0 |
| 22 | 17 | 4 | 0 | 4 | 13 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 23 | 13 | 6 | 0 | 6 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 24 | 7 | 5 | 0 | 5 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 25 | 2 | 6 | 0 | 6 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100000 |
| 26 | 0 | 4 | 0 | 4 | 20 | 0 | 20 | 1 | 24 | 0 | 48000 | 40000 | 0 |
| 27 | 20 | 5 | 4 | 9 | 13 | 0 | 13 | 0 | 0 | 2 | 8000 | 26000 | 0 |
| 28 | 13 | 6 | 0 | 6 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 29 | 7 | 5 | 0 | 5 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 30 | 2 | 6 | 0 | 6 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100000 |
| 31 | 0 | 6 | 0 | 6 | 18 | 0 | 18 | 1 | 24 | 0 | 48000 | 36000 | 0 |
| 32 | 18 | 5 | 0 | 5 | 13 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 33 | 13 | 5 | 0 | 5 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16000 | 0 |
| 34 | 8 | 5 | 0 | 5 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 35 | 3 | 6 | 3 | 9 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8000 | 0 | 150000 |
| 36 | 0 | 5 | 0 | 5 | 19 | 0 | 19 | 1 | 24 | 0 | 48000 | 38000 | 0 |
| 37 | 19 | 4 | 0 | 4 | 15 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30000 | 0 |
| 38 | 15 | 5 | 0 | 5 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 39 | 10 | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 40 | 5 | 4 | 0 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 41 | 1 | 5 | 0 | 5 | 20 | 0 | 20 | 1 | 24 | 0 | 48000 | 40000 | 0 |
| 42 | 20 | 5 | 4 | 9 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 1 | 8000 | 24000 | 0 |
| 43 | 12 | 5 | 0 | 5 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 44 | 7 | 5 | 0 | 5 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 45 | 2 | 6 | 0 | 6 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100000 |
| 46 | 0 | 5 | 0 | 5 | 19 | 0 | 19 | 1 | 24 | 0 | 48000 | 38000 | 0 |
| 47 | 19 | 4 | 0 | 4 | 15 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30000 | 0 |
| 48 | 15 | 5 | 4 | 9 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 49 | 6 | 6 | 0 | 6 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 8000 | 2000 | 0 |
| 50 | 1 | 5 | 0 | 5 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100000 |
| 51 | 0 | 5 | 0 | 5 | 19 | 0 | 19 | 1 | 24 | 0 | 48000 | 38000 | 0 |
| 52 | 19 | 5 | 0 | 5 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 53 | 14 | 4 | 0 | 4 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 54 | 10 | 3 | 0 | 3 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 55 | 7 | 6 | 0 | 6 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 | 8000 | 8000 | 0 |
| 56 | 4 | 5 | 4 | 9 | 19 | 0 | 19 | 1 | 24 | 0 | 48000 | 38000 | 0 |
| 57 | 19 | 5 | 0 | 5 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 58 | 14 | 5 | 0 | 5 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 59 | 9 | 5 | 0 | 5 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 60 | 4 | 5 | 0 | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |

*Buyer* 3

| t | Beginning Inventory | Customer Demand | total demand | Ending Inventory | Lost Sales | abs. inv | Order Status | Order Received from Vendor | Order Received from B1 | Ordering Cost | Inventory Cost | Lost Sales Cost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 2 | 2 | 18 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36000 | 0 |
| 2 | 18 | 2 | 2 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 3 | 16 | 1 | 1 | 15 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30000 | 0 |
| 4 | 15 | 2 | 2 | 13 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26000 | 0 |
| 5 | 13 | 1 | 1 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 6 | 12 | 1 | 1 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22000 | 0 |
| 7 | 11 | 2 | 2 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 2 | 8000 | 22000 | 0 |
| 8 | 11 | 1 | 1 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 9 | 10 | 2 | 2 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16000 | 0 |
| 10 | 8 | 1 | 1 | 7 | 0 | 7 | 1 | 0 | 0 | 15000 | 14000 | 0 |
| 11 | 7 | 2 | 2 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 12 | 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 13 | 3 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 14 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 8000 | 2000 | 0 |
| 15 | 1 | 2 | 2 | 5 | 0 | 5 | 1 | 6 | 0 | 15000 | 10000 | 0 |
| 16 | 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 17 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 18 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 19 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 20 | 0 | 2 | 2 | 4 | 0 | 4 | 1 | 6 | 0 | 15000 | 8000 | 0 |
| 21 | 4 | 1 | 1 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 5 | 8000 | 16000 | 0 |
| 22 | 8 | 2 | 2 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 23 | 6 | 1 | 1 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 24 | 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 25 | 3 | 2 | 2 | 7 | 0 | 7 | 1 | 6 | 0 | 15000 | 14000 | 0 |
| 26 | 7 | 2 | 2 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 27 | 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 28 | 3 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 8000 | 6000 | 0 |
| 29 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 30 | 1 | 2 | 2 | 5 | 0 | 5 | 1 | 6 | 0 | 15000 | 10000 | 0 |
| 31 | 5 | 1 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 32 | 4 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 33 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 34 | 1 | 1 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | 8000 | 8000 | 0 |
| 35 | 4 | 2 | 2 | 8 | 0 | 8 | 0 | 6 | 0 | 0 | 16000 | 0 |
| 36 | 8 | 2 | 2 | 6 | 0 | 6 | 1 | 0 | 0 | 15000 | 12000 | 0 |
| 37 | 6 | 2 | 2 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 38 | 4 | 1 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 39 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 40 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 41 | 0 | 2 | 2 | 8 | 0 | 8 | 0 | 6 | 4 | 8000 | 16000 | 0 |
| 42 | 8 | 1 | 1 | 7 | 0 | 7 | 1 | 0 | 0 | 15000 | 14000 | 0 |
| 43 | 7 | 1 | 1 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 44 | 6 | 1 | 1 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 45 | 5 | 1 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 46 | 4 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 47 | 2 | 2 | 2 | 6 | 0 | 6 | 1 | 6 | 0 | 15000 | 12000 | 0 |
| 48 | 6 | 2 | 2 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 2 | 8000 | 12000 | 0 |
| 49 | 6 | 2 | 2 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 50 | 4 | 1 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 51 | 3 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 52 | 2 | 1 | 1 | 7 | 0 | 7 | 1 | 6 | 0 | 15000 | 14000 | 0 |
| 53 | 7 | 2 | 2 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 54 | 5 | 1 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 55 | 4 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 56 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 8000 | 4000 | 0 |
| 57 | 2 | 2 | 2 | 6 | 0 | 6 | 1 | 6 | 0 | 15000 | 12000 | 0 |
| 58 | 6 | 2 | 2 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 59 | 4 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 60 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

*Buyer 4*

| t | Beginning Inventory | Customer Demand | total demand | Ending Inventory | Lost Sales | abs. inv | Order Status | Order Received from Vendor | Order Received from 2 | Ordering Cost | Inventory Cost | Lost Sales Cost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 4 | 4 | 16 | 0 | 16 | 1 | 0 | 0 | 56000 | 32000 | 0 |
| 2 | 16 | 5 | 5 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22000 | 0 |
| 3 | 11 | 4 | 4 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 4 | 7 | 5 | 5 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 5 | 2 | 4 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70000 |
| 6 | 0 | 5 | 5 | 23 | 0 | 23 | 0 | 28 | 3 | 8000 | 46000 | 0 |
| 7 | 23 | 5 | 5 | 18 | 0 | 18 | 1 | 0 | 0 | 56000 | 36000 | 0 |
| 8 | 18 | 4 | 4 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 9 | 14 | 4 | 4 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 10 | 10 | 5 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 11 | 5 | 4 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 12 | 1 | 5 | 5 | 24 | 0 | 24 | 0 | 28 | 0 | 0 | 48000 | 0 |
| 13 | 24 | 5 | 5 | 19 | 0 | 19 | 1 | 0 | 4 | 64000 | 38000 | 0 |
| 14 | 19 | 4 | 4 | 15 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30000 | 0 |
| 15 | 15 | 5 | 5 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 16 | 10 | 4 | 4 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 17 | 6 | 5 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 18 | 1 | 5 | 5 | 24 | 0 | 24 | 0 | 28 | 0 | 0 | 48000 | 0 |
| 19 | 24 | 5 | 5 | 19 | 0 | 19 | 1 | 0 | 0 | 56000 | 38000 | 0 |
| 20 | 19 | 5 | 5 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 21 | 14 | 4 | 4 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 4 | 8000 | 20000 | 0 |
| 22 | 10 | 5 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 23 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 0 | 4 | 4 | 24 | 0 | 24 | 0 | 28 | 0 | 0 | 48000 | 0 |
| 25 | 24 | 5 | 5 | 19 | 0 | 19 | 1 | 0 | 0 | 56000 | 38000 | 0 |
| 26 | 19 | 4 | 4 | 15 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30000 | 0 |
| 27 | 15 | 5 | 5 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 4 | 8000 | 20000 | 0 |
| 28 | 10 | 5 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 29 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0 | 5 | 5 | 23 | 0 | 23 | 0 | 28 | 0 | 0 | 46000 | 0 |
| 31 | 23 | 4 | 4 | 19 | 0 | 19 | 1 | 0 | 0 | 56000 | 38000 | 0 |
| 32 | 19 | 5 | 5 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28000 | 0 |
| 33 | 14 | 5 | 5 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 34 | 9 | 5 | 5 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 35 | 4 | 5 | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 8000 | 0 | 35000 |
| 36 | 0 | 4 | 4 | 24 | 0 | 24 | 0 | 28 | 0 | 0 | 48000 | 0 |
| 37 | 24 | 5 | 5 | 19 | 0 | 19 | 1 | 0 | 0 | 56000 | 38000 | 0 |
| 38 | 19 | 4 | 4 | 15 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30000 | 0 |
| 39 | 15 | 4 | 4 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22000 | 0 |
| 40 | 11 | 4 | 4 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 41 | 7 | 4 | 4 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 42 | 3 | 5 | 5 | 26 | 0 | 26 | 0 | 28 | 4 | 8000 | 52000 | 0 |
| 43 | 26 | 5 | 5 | 21 | 0 | 21 | 1 | 0 | 0 | 56000 | 42000 | 0 |
| 44 | 21 | 5 | 5 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 45 | 16 | 4 | 4 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 46 | 12 | 5 | 5 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 47 | 7 | 5 | 5 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 48 | 2 | 4 | 4 | 26 | 0 | 26 | 0 | 28 | 4 | 8000 | 52000 | 0 |
| 49 | 26 | 5 | 5 | 21 | 0 | 21 | 1 | 0 | 0 | 56000 | 42000 | 0 |
| 50 | 21 | 5 | 5 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 51 | 16 | 5 | 5 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22000 | 0 |
| 52 | 11 | 5 | 5 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 53 | 6 | 4 | 4 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 54 | 2 | 4 | 4 | 26 | 0 | 26 | 0 | 28 | 0 | 0 | 52000 | 0 |
| 55 | 26 | 5 | 5 | 21 | 0 | 21 | 1 | 0 | 0 | 56000 | 42000 | 0 |
| 56 | 21 | 4 | 4 | 17 | 0 | 17 | 0 | 0 | 4 | 8000 | 34000 | 0 |
| 57 | 17 | 5 | 5 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 58 | 12 | 4 | 4 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16000 | 0 |
| 59 | 8 | 5 | 5 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 60 | 3 | 4 | 4 | 27 | 0 | 27 | 0 | 28 | 0 | 0 | 54000 | 0 |

*Buyer* 5

| t | Beginning Inventory | Customer Demand | B1 Demand | total demand | Ending Inventory | Lost Sales | abs.inv | Order Status | Order Received From Vendor | Ordering Cost | Inventory Cost | Lost Sales Cost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 3 | 0 | 3 | 17 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 34000 | 0 |
| 2 | 17 | 1 | 0 | 1 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 3 | 16 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 32000 | 0 |
| 4 | 16 | 1 | 0 | 1 | 15 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 30000 | 0 |
| 5 | 15 | 3 | 0 | 3 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 24000 | 0 |
| 6 | 12 | 2 | 1 | 3 | 9 | 0 | 9 | 1 | 0 | 32500 | 18000 | 0 |
| 7 | 9 | 1 | 0 | 1 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 16000 | 0 |
| 8 | 8 | 2 | 0 | 2 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 9 | 6 | 2 | 0 | 2 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 10 | 4 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 11 | 3 | 2 | 0 | 2 | 11 | 0 | 11 | 1 | 10 | 32500 | 22000 | 0 |
| 12 | 11 | 2 | 0 | 2 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 13 | 9 | 3 | 2 | 5 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 14 | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 15 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 3 | 0 | 3 | 7 | 0 | 7 | 1 | 10 | 32500 | 14000 | 0 |
| 17 | 7 | 3 | 0 | 3 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 18 | 4 | 3 | 0 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 19 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 20 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| 21 | 0 | 3 | 1 | 4 | 6 | 0 | 6 | 1 | 10 | 32500 | 12000 | 0 |
| 22 | 6 | 2 | 0 | 2 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 23 | 4 | 3 | 0 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 24 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 25 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25000 |
| 26 | 0 | 2 | 0 | 2 | 8 | 0 | 8 | 1 | 10 | 32500 | 16000 | 0 |
| 27 | 8 | 3 | 0 | 3 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 28 | 5 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 |
| 29 | 3 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 30 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 31 | 1 | 2 | 0 | 2 | 9 | 0 | 9 | 1 | 10 | 32500 | 18000 | 0 |
| 32 | 9 | 2 | 0 | 2 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 33 | 7 | 3 | 0 | 3 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 34 | 4 | 2 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75000 |
| 36 | 0 | 2 | 0 | 2 | 8 | 0 | 8 | 1 | 10 | 32500 | 16000 | 0 |
| 37 | 8 | 3 | 0 | 3 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 38 | 5 | -1 | 0 | -1 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 39 | 6 | 2 | 0 | 2 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 40 | 4 | 3 | 0 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2000 | 0 |
| 41 | 1 | 2 | 1 | 3 | 8 | 0 | 8 | 1 | 10 | 32500 | 16000 | 0 |
| 42 | 8 | 2 | 0 | 2 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 12000 | 0 |
| 43 | 6 | 2 | 0 | 2 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 44 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 45 | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 46 | 2 | 2 | 0 | 2 | 10 | 0 | 10 | 1 | 10 | 32500 | 20000 | 0 |
| 47 | 10 | 1 | 0 | 1 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 48 | 9 | 2 | 0 | 2 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 49 | 7 | 1 | 1 | 2 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 50 | 5 | 3 | 0 | 3 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |
| 51 | 2 | 1 | 0 | 1 | 11 | 0 | 11 | 1 | 10 | 32500 | 22000 | 0 |
| 52 | 11 | 1 | 0 | 1 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 |
| 53 | 10 | 2 | 0 | 2 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 16000 | 0 |
| 54 | 8 | 1 | 0 | 1 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 55 | 7 | 3 | 0 | 3 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8000 | 0 |
| 56 | 4 | 2 | 1 | 3 | 11 | 0 | 11 | 1 | 10 | 32500 | 22000 | 0 |
| 57 | 11 | 2 | 0 | 2 | 9 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 18000 | 0 |
| 58 | 9 | 2 | 0 | 2 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 14000 | 0 |
| 59 | 7 | 2 | 0 | 2 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 0 |
| 60 | 5 | 3 | 0 | 3 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4000 | 0 |

## Vendor

| t | Beginning inven | demand from B1 | Demand from B2 | Demand from B3 | demand from B4 | Demand from B5 | Ending Inventory | lost sales | Abs. Inv | lost sales cost | setup cost | Inventory Cost | carbon emission cost for setup | daily carbon emission cost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 46 | 24 | 0 | 28 | 0 | 6 | 0 | 6 | 0 | 5700 | 21000 | 7800 | 62400 |
| 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 35000 | 0 | 62400 |
| 3 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 49000 | 0 | 62400 |
| 4 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 18 | 0 | 5700 | 63000 | 7800 | 62400 |
| 5 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 0 | 22 | 0 | 0 | 77000 | 0 | 62400 |
| 6 | 22 | 46 | 24 | 0 | 0 | 10 | 0 | 58 | 0 | 319000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 | 0 | 28 | 0 | 154000 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 14000 | 0 | 62400 |
| 9 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 28000 | 0 | 62400 |
| 10 | 8 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 6 | 0 | 6 | 0 | 5700 | 21000 | 7800 | 62400 |
| 11 | 6 | 46 | 24 | 0 | 0 | 10 | 0 | 74 | 0 | 407000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 14000 | 0 | 62400 |
| 13 | 4 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 | 0 | 24 | 0 | 132000 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 14000 | 0 | 62400 |
| 15 | 4 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 11000 | 0 | 7000 | 0 | 62400 |
| 16 | 2 | 46 | 24 | 0 | 0 | 10 | 0 | 78 | 0 | 429000 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 14000 | 0 | 62400 |
| 18 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 28000 | 0 | 62400 |
| 19 | 8 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 | 0 | 20 | 0 | 110000 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 33000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 21 | 0 | 46 | 24 | 0 | 0 | 10 | 0 | 80 | 0 | 440000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 5700 | 14000 | 7800 | 62400 |
| 23 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 28000 | 0 | 62400 |
| 24 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 42000 | 0 | 62400 |
| 25 | 12 | 0 | 0 | 6 | 28 | 0 | 0 | 22 | 0 | 121000 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 26 | 0 | 46 | 24 | 0 | 0 | 10 | 0 | 80 | 0 | 440000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 14000 | 0 | 62400 |
| 28 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 5700 | 28000 | 7800 | 62400 |
| 29 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 42000 | 0 | 62400 |
| 30 | 12 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 35000 | 0 | 62400 |
| 31 | 10 | 46 | 24 | 0 | 28 | 10 | 0 | 98 | 0 | 539000 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 14000 | 0 | 62400 |
| 33 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 28000 | 0 | 62400 |
| 34 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 12 | 0 | 5700 | 42000 | 7800 | 62400 |
| 35 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 56000 | 0 | 62400 |
| 36 | 16 | 46 | 24 | 6 | 0 | 10 | 0 | 70 | 0 | 385000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 | 0 | 28 | 0 | 154000 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 14000 | 0 | 62400 |
| 39 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 28000 | 0 | 62400 |
| 40 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 12 | 0 | 5700 | 42000 | 7800 | 62400 |
| 41 | 12 | 46 | 24 | 0 | 0 | 10 | 0 | 68 | 0 | 374000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 42 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 33000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 | 0 | 28 | 0 | 154000 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 14000 | 0 | 62400 |
| 45 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 28000 | 0 | 62400 |
| 46 | 8 | 46 | 24 | 0 | 0 | 10 | 0 | 72 | 0 | 396000 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 47 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 33000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 14000 | 0 | 62400 |
| 49 | 4 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 | 0 | 24 | 0 | 132000 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 14000 | 0 | 62400 |
| 51 | 4 | 46 | 24 | 0 | 0 | 10 | 0 | 76 | 0 | 418000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 52 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 33000 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 14000 | 0 | 62400 |
| 54 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 28000 | 0 | 62400 |
| 55 | 8 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 | 0 | 20 | 0 | 110000 | 5700 | 0 | 7800 | 62400 |
| 56 | 0 | 46 | 24 | 0 | 0 | 10 | 0 | 80 | 0 | 440000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 57 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 33000 | 0 | 0 | 0 | 62400 |
| 58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 5700 | 14000 | 7800 | 62400 |
| 59 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 28000 | 0 | 62400 |
| 60 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 42000 | 0 | 62400 |