



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI UNTUK  
MEMINIMALKAN TOTAL BIAYA PERSEDIAAN PADA GUDANG  
BAHAN BAKU DAUR ULANG PLASTIK DENGAN METODE  
*MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING (MILP)***

**SKRIPSI**

**JULIO FEBRIAN  
1906354702**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
2023**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI UNTUK  
MEMINIMALKAN TOTAL BIAYA PERSEDIAAN PADA GUDANG  
BAHAN BAKU DAUR ULANG PLASTIK DENGAN METODE  
*MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING (MILP)***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**JULIO FEBRIAN  
1906354702**


**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JUNI 2023**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Julio Febrian**

**NPM : 1906354702**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 06 Juni 2023**

## HALAMAN PERSETUJUAN SIDANG

Skripsi dengan judul :

**Pengembangan Model Optimasi untuk Meminimalkan Total Biaya Persediaan  
pada Gudang Bahan Baku Daur Ulang Plastik dengan Metode *Mixed Integer  
Linear Programming* (MILP)**

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Indonesia, dan disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian skripsi.

Depok, 31 Mei 2023



Inaki Maulida Hakim, S.T., MT

NIP. 198606022012122001

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengembangan Model Optimasi untuk Meminimalkan Total Biaya Persediaan pada Gudang Bahan Baku Daur Ulang Plastik dengan Metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP)” sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Indonesia (UI). Penulis menyadari bahwa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak dalam penyusunan skripsi ini sangat berharga. Oleh sebab itu, penulis menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Inaki Maulida Hakim, S.T., M.T. dan Dr. Komarudin S.T., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan bimbingan, waktu, ilmu, nasihat, arahan, serta dukungan moral dalam proses penyusunan skripsi.
2. Pak Farizal, M.Sc., Ph.D. selaku dosen Pembimbing Akademis yang telah memberikan bantuan dan bimbingan akademis sejak awal perkuliahan.
3. Seluruh dosen Teknik Industri UI yang telah mendidik dan memberikan banyak pembelajaran selama masa perkuliahan.
4. Ibu Dian Kurniawati, Kak Dewi, Pak Safta, Pak Tarno serta segenap pihak perusahaan daur ulang plastik yang telah membantu dan mengizinkan penulis mengumpulkan data yang dibutuhkan.
5. Kedua orang tua penulis, Bapak Rusli dan Ibu Lim Djan Tjin yang selalu memberikan dukungan dalam segala hal untuk menyelesaikan perkuliahan.
6. Fransiscus Fruitomi, Gemilang Ananda Nizola, Wahyu Adiraga Digjaya, Thomson dan teman bimbingan skripsi lainnya yang sama-sama berjuang menyelesaikan skripsi dan membantu dengan semangat.
7. Sobat Amongus yang sangat baik telah membuat kehidupan perkuliahan menjadi lebih seru dan bermakna.
8. Teman-teman mahasiswa Teknik Industri UI 2019 yang telah mengisi pengalaman kuliah dengan berbagai kenangan.
9. Serta pihak-pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam mengerjakan penelitian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tanpa bantuan dari semua pihak tersebut dan semoga Tuhan membalas segala kebaikan yang diberikan. Kritik dan saran untuk peningkatan pada penulisan dan penelitian selanjutnya sangat dibutuhkan. Akhir kata, penulis berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi orang lain dan pengembangan ilmu di masa depan.

Depok, 06 Juni 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julio Febrian', with a stylized flourish at the end.

Julio Febrian

## ABSTRAK

Nama : Julio Febrian  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul : Pengembangan Model Optimasi untuk Meminimalkan Total Biaya Persediaan pada Gudang Bahan Baku Daur Ulang Plastik dengan Metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP)  
Pembimbing : Inaki Maulida Hakim, S.T., M.T.

Penelitian ini membahas suatu metode untuk menyelesaikan permasalahan tingginya biaya persediaan dan rendahnya perputaran persediaan pada gudang bahan baku daur ulang plastik yang disebabkan oleh manajemen persediaan pada bagian perencanaan dan penjadwalan bahan baku yang belum optimal, kurang efisien, dan kurang efektif sehingga sering mengalami penumpukan persediaan. Penelitian dilakukan dengan cara mengembangkan model optimasi menggunakan metode *mixed integer linear programming*. Model optimasi dikembangkan dari membangun formulasi permasalahan menjadi model matematika yang kemudian diterjemahkan ke dalam bahasa pemrograman *python* untuk menghasilkan keputusan kuantitas pemesanan (Q) berupa penentuan ukuran lot (*lot-sizing*) dan periode waktu pemesanan (Y) bahan baku yang optimal dengan biaya minimum serta dihubungkan dengan metode peramalan permintaan yang akurat dan persediaan pengaman yang tepat. Hasil akhir model mendapatkan keputusan optimal yang menunjukkan untuk melakukan total pemesanan sebesar 7.494.733 kg sebanyak 138 kali untuk tiga jenis bahan baku daur ulang plastik sesuai periode secara detail dengan biaya minimum pada tahun 2022 dan dapat digunakan dengan peramalan pada periode perencanaan persediaan di masa depan. Ditemukan bahwa hasil model dapat meminimalkan total biaya persediaan sebesar 26% atau setara dengan Rp168.049.200 dari Rp654.648.099 menjadi Rp486.598.899 dan meningkatkan nilai perputaran persediaan sebesar 1,20 dari kondisi aktual.

### Kata Kunci:

Manajemen Persediaan, Bahan Baku Daur Ulang Plastik, Optimasi Biaya Persediaan, *Mixed Integer Linear Programming*

## ABSTRACT

Name : Julio Febrian  
Study Program : Industrial Engineering  
Title : Development of Optimization Model to Minimize Total Inventory Costs in a Warehouse of Recycled Plastic Raw Materials Using Mixed Integer Linear Programming (MILP) Method  
Counsellor : Inaki Maulida Hakim, S.T., M.T.

This research discusses a method to solve the problem of high inventory costs and low inventory turnover in a warehouse of recycled plastic raw materials caused by suboptimal inventory management in the planning and scheduling of raw materials, which are inefficient and ineffective, resulting in frequent inventory accumulation or overstock. The research is carried out by developing an optimization model using the mixed integer linear programming method. The optimization model is developed by formulating the problem into a mathematical model, which is then translated into the python programming language to generate decisions on the optimal quantity of orders (Q) in terms of determining the lot-sizing and ordering period (Y) of raw materials with minimum costs, connected with accurate demand forecasting methods and appropriate safety stock levels. The final results of the model obtain optimal decisions that indicate a total order of 7,494,733 kg, ordered 138 times for three types of recycled plastic raw materials with detailed periods and minimum costs in the year 2022 and can be used with forecasting for future inventory planning periods. It was found that the model results can minimize total inventory costs by 26% or equivalent to IDR 168,049,200, reducing it from IDR 654,648,099 to IDR 486.598.899 and increase the inventory turnover by 1.20 from the actual condition.

Key words:

Inventory Management, Plastic Recycling Materials, Inventory Cost Optimization, Mixed Integer Linear Programming



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN SIDANG .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	7
1.3 Diagram Keterkaitan Masalah.....	7
1.4 Tujuan Penelitian.....	7
1.5 Batasan Penelitian .....	8
1.6 Metodologi Penelitian .....	9
1.7 Sistematika Penelitian .....	11
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI.....</b>	<b>13</b>
2.1 Manajemen Persediaan.....	13
2.1.1 Definisi Persediaan .....	13
2.1.2 Fungsi Persediaan .....	15
2.1.3 Biaya Persediaan.....	15
2.1.4 Proses Pengadaan Bahan Baku.....	16
2.1.5 Perputaran Persediaan ( <i>Inventory Turnover</i> ).....	18
2.1.6 Persediaan Pengaman ( <i>Safety Stock</i> ) .....	18
2.1.7 Metode Peramalan Permintaan ( <i>Demand Forecasting</i> ) .....	19
2.2 Program linear .....	20
2.2.1 Definisi Program linear.....	21
2.2.2 <i>Mixed Integer Linear Programming</i> (MILP) .....	21
2.3 <i>Python</i> dan <i>Gurobi Optimizer</i> .....	22
2.3.1 <i>Python</i> .....	22
2.3.2 <i>Gurobi Optimizer</i> .....	23
2.4 Verifikasi dan Validasi Model.....	23
2.4.1 Verifikasi Model.....	24
2.4.2 Validasi Model.....	24
<b>BAB 3 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA .....</b>	<b>25</b>
3.1 Pengumpulan Data.....	25
3.1.1 Data Permintaan Bahan Baku.....	25
3.1.2 Data Harga Bahan Baku .....	25

3.1.3	<i>Lead Time</i> Bahan Baku.....	26
3.1.4	Biaya Simpan dan Biaya Pesan Bahan Baku.....	27
3.2	Pengolahan Data.....	28
3.2.1	Peramalan Permintaan ( <i>demand forecasting</i> ).....	28
3.2.2	Perhitungan Nilai <i>Safety Stock</i> .....	30
3.2.3	Pengembangan Model Matematika .....	30
3.3	Verifikasi dan Validasi Model.....	33
3.3.1	Verifikasi Model.....	33
3.3.2	Validasi Model.....	36
3.4	Hasil Pengolahan Data.....	40
<b>BAB 4</b>	<b>ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1	Analisis Hasil.....	43
4.1.1	Analisis Kuantitas Pemesanan (Q) .....	43
4.1.2	Analisis Periode Pemesanan (Y) .....	45
4.1.3	Analisis Total Biaya Persediaan .....	46
4.2	Analisis Perbandingan Sebelum dan Sesudah .....	46
4.2.1	Perbandingan Biaya.....	46
4.2.2	Perbandingan Nilai ITO.....	48
4.3	Analisis Sensitivitas.....	49
4.3.1	Perubahan Parameter Harga Beli Bahan Baku .....	49
4.3.2	Perubahan Parameter Permintaan .....	50
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>53</b>
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>59</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Harga Satuan Bahan Baku.....	26
Tabel 3.2	<i>Lead Time</i> Bahan Baku .....	26
Tabel 3.3	Biaya Simpan Bahan Baku.....	27
Tabel 3.4	Biaya Pesan Bahan Baku.....	28
Tabel 3.5	Perbandingan Akurasi <i>Demand Forecasting</i> .....	29
Tabel 3.6	Persediaan Pengaman Bahan Baku .....	30
Tabel 3.7	Validasi Model dengan Peninjauan Fungsi Kendala.....	37
Tabel 3.8	Validasi Model dengan Pemeriksaan Biaya Hasil .....	38
Tabel 3.9	Data Validasi Biaya, <i>Lead Time</i> , dan <i>Safety Stock</i> .....	38
Tabel 3.10	Data Validasi Permintaan .....	39
Tabel 3.11	Perhitungan Model dengan Penggunaan Data Validasi .....	40
Tabel 3.12	Hasil Akhir Kuantitas Pesan dan Biaya Persediaan Periode Historis .....	41
Tabel 3.13	Hasil Akhir Kuantitas Pesan dan Biaya Persediaan Periode <i>Forecast</i> .....	42
Tabel 4.1	Perbandingan Total Biaya Persediaan Kondisi Aktual dan Hasil Model.....	47
Tabel 4.2	Perbandingan Nilai ITO Kondisi Aktual dan Hasil Model .....	48
Tabel 4.3	Perubahan Parameter Harga Bahan Baku.....	49
Tabel 4.4	Pengaruh Perubahan Parameter Harga Terhadap Biaya Persediaan .....	50
Tabel 4.5	Perubahan Parameter Permintaan Bahan Baku .....	51
Tabel 4.6	Pengaruh Perubahan Parameter Permintaan Terhadap Biaya Persediaan ....	51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Produksi Plastik Global Tahun 1950 - 2015.....	1
Gambar 1.2	Produk Serpihan PET .....	4
Gambar 1.3	Bahan Baku Utama Daur Ulang Plastik .....	4
Gambar 1.4	Nilai <i>Inventory Turnover</i> tahun 2022 .....	5
Gambar 1.5	Diagram Keterkaitan Masalah .....	7
Gambar 1.6	Metodologi Penelitian.....	9
Gambar 2.1	Klasifikasi Persediaan Berdasarkan Aliran Material .....	14
Gambar 2.2	Komponen Biaya Persediaan .....	16
Gambar 3.1	<i>Time-series Plot</i> Permintaan Bahan Baku .....	29
Gambar 3.2	Fungsi Tujuan pada Model <i>Python</i> .....	33
Gambar 3.3	Fungsi Kendala 1 pada Model <i>Python</i> .....	34
Gambar 3.4	Fungsi Kendala 2 pada Model <i>Python</i> .....	34
Gambar 3.5	Fungsi Kendala 3 pada Model <i>Python</i> .....	34
Gambar 3.6	Fungsi Kendala 4 pada Model <i>Python</i> .....	35
Gambar 3.7	Fungsi Kendala 5 pada Model <i>Python</i> .....	35
Gambar 3.8	Fungsi Kendala 6 pada Model <i>Python</i> .....	35
Gambar 3.9	<i>Python Gurobi Optimizer Solver Status</i> .....	36
Gambar 3.10	Nilai Objektif Hasil Model <i>Python</i> .....	38
Gambar 3.11	Nilai Objektif Hasil Validasi Model <i>Python</i> .....	39
Gambar 4.1	Kuantitas Pemesanan (Q) Bahan Baku Tahun 2022.....	44
Gambar 4.2	Periode Pemesanan (Y) Bahan Baku Tahun 2022.....	45
Gambar 4.3	Total Biaya Persediaan Bahan Baku.....	46
Gambar 4.4	Perubahan Total Biaya Persediaan Akibat Perubahan Harga.....	50
Gambar 4.5	Perubahan Total Biaya Persediaan Akibat Perubahan Permintaan .....	52

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Total <i>Demand</i> tiga jenis bahan baku dalam 52 periode .....	59
Lampiran 2 Data <i>Forecasted Demand</i> tiga jenis bahan baku dalam 12 periode .....	61
Lampiran 3 Hasil Pengolahan Model dengan <i>Python</i> .....	62
Lampiran 4 Bahasa Pemrograman <i>Python</i> dalam Pengembangan Model.....	67

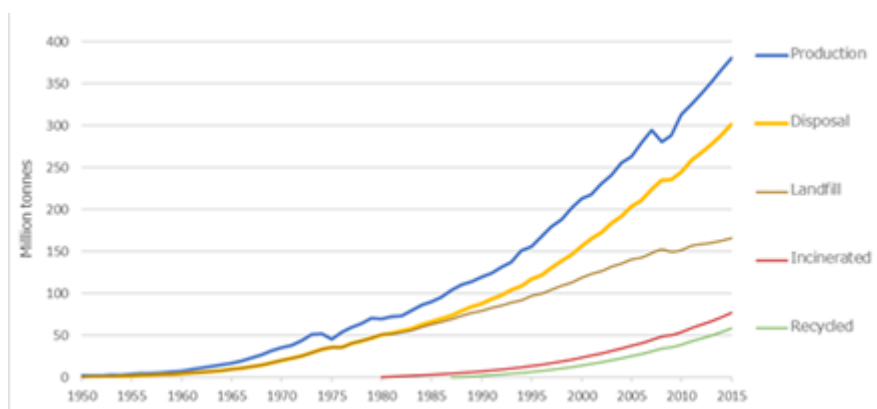
## BAB 1

### PENDAHULUAN

Bab ini membahas permasalahan dalam penelitian melalui latar belakang masalah, diagram keterkaitan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan yang digunakan.

#### 1.1 Latar Belakang

Plastik merupakan material yang dapat dipakai kembali dan membutuhkan waktu berabad-abad untuk dapat terurai (Ali et al., 2021). Hal ini disebabkan oleh karakteristik plastik yang memiliki laju degradasi yang rendah. Namun, harga plastik yang murah menyebabkan banyak orang cenderung menggunakan plastik hanya sekali pakai kemudian membuangnya menjadi sampah (Miller, 2020). Sampah plastik telah menjadi perhatian global selama satu dekade terakhir. Lama siklus hidup sampah plastik hingga terurai berbeda-beda sesuai jenis plastik. Setiap tahun, sekitar 300 juta ton plastik diproduksi dengan 14 juta ton berakhir di laut (International Union for Conservation of Nature, 2021). Massa plastik di lautan diantisipasi akan sama dengan massa ikan pada tahun 2050 apabila semua upaya yang dilakukan gagal mengatasi masalah sampah plastik (Letcher, 2020). Hal ini berkaitan dengan tingginya produksi plastik di dunia. Produksi plastik global sejak tahun 1950 hingga tahun 2015 menunjukkan kecenderungan peningkatan setiap tahun, seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Produksi Plastik Global Tahun 1950 - 2015

Sumber: Geyer et al., 2017

Pada tahun 2015, angka ini mencapai 381 juta ton dengan rata-rata peningkatan sebesar 5,8 juta ton per tahunnya. Dengan tren ini, pada tahun 2050 diestimasikan

sejumlah 12.000 juta ton limbah akan berakhir di tempat pembuangan akhir (Geyer et al., 2017). Limbah plastik yang tidak dikelola dengan benar pada akhirnya dapat masuk ke laut melalui saluran air dan diangkut oleh angin atau pasang surut dimana akan merusak ekosistem laut. Berdasarkan penelitian dalam jurnal yang berjudul *Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean* pada 2015, Indonesia menduduki posisi kedua sebagai negara penyumbang sampah plastik ke lautan terbanyak di dunia dengan total 187,2 juta ton. Limbah plastik di Indonesia merupakan limbah kedua terbanyak setelah limbah organik dari rata-rata komposisi limbah yang dihasilkan, yakni menyusun 18,7% dari total timbunan sampah nasional (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022). Indonesia menghasilkan 3,22 juta ton sampah plastik per tahun yang tidak dikelola dengan baik. Sekitar 0,48-1,29 juta ton dari sampah plastik tersebut mencemari lautan (Jambeck et al., 2015). Oleh karena itu, masalah sampah plastik di Indonesia masih dalam keadaan memprihatinkan. Total sampah nasional pada 2022 mencapai 70 juta ton yang meningkat dari 68,5 juta ton pada tahun sebelumnya. Dari jumlah tersebut, sekitar 12 juta ton merupakan sampah plastik. Salah satu cara untuk mengurangi volume sampah plastik yang tinggi, yaitu daur ulang. Daup ulang adalah proses pengumpulan dan pengolahan bahan habis pakai dan diubah menjadi produk baru yang bernilai ekonomis. Untuk mengatasi masalah lingkungan akibat sampah plastik, daur ulang plastik merupakan salah satu pendekatan terbaik yang bermanfaat bagi lingkungan. Namun, tingkat daur ulang limbah Indonesia masih tergolong rendah, yaitu sebesar 10 persen (World Economic Forum, 2020). Indonesia perlu meningkatkan kapasitas daur ulang hingga 4 kali lipat (World Bank, 2021)

Sampai saat ini, kapasitas pengelolaan limbah Indonesia belum mampu menangani besarnya jumlah limbah plastik yang dihasilkan. Oleh karena itu, dibutuhkan peningkatan kapasitas pada perusahaan daur ulang sampah plastik di Indonesia. Pemerintah telah mencanangkan program Indonesia Bersih Sampah 2025 yang dikeluarkan melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 97 Tahun 2017 yang berisi kebijakan pemerintah kabupaten dan daerah untuk membuat model perencanaan dalam mencapai target di tahun 2025, yakni mengurangi 30% sampah dari sumbernya dan memproses serta mengelola setidaknya 70% sampah agar tidak terkumpul dan menumpuk di TPA. Selain itu, Kemitraan Aksi Plastik Global berkolaborasi dengan Kemitraan Aksi Plastik Nasional Indonesia dalam membentuk strategi skenario

perubahan sistem yang bertujuan untuk mengurangi kebocoran aliran plastik ke laut di Indonesia hingga 70% pada 2025. Skenario tersebut terdiri dari lima strategi utama, salah satunya adalah menggandakan kapasitas daur ulang (World Economic Forum, 2020). Pemerintah juga mendorong skema pendanaan pengelolaan sampah plastik melalui kerja sama pemerintah dan swasta (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 83 Tahun 2018). Komitmen ini mendorong pertumbuhan industri daur ulang sampah plastik. Dampaknya, terdapat 600 industri besar dan 700 industri kecil pada sektor industri daur ulang plastik (Kementerian Perindustrian, 2021). Selain itu, Pemerintah telah menyusun strategi untuk mendorong peralihan pendekatan pengelolaan limbah yang digunakan dari ekonomi linier menjadi ekonomi sirkular untuk industri penghasil limbah plastik.

Dari berbagai produk berbahan plastik yang dihasilkan di Indonesia, salah satu jenis plastik terbanyak adalah *polyethylene terephthalate* (PET). PET atau poliester pertama kali diproduksi pada tahun 1930 sebagai serat sintetis (Welle, 2011). PET merupakan salah satu jenis plastik yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. PET merupakan jenis plastik yang paling banyak didaur ulang di Amerika Serikat dan seluruh dunia (PET Resin Association, 2015). PET memiliki karakteristik kuat, ringan, jernih, tidak mudah rusak, kedap air, transparansi tinggi, tangguh terhadap gas dan cairan, serta mudah untuk diproses (Majumdar et al., 2020). Oleh karena itu, plastik jenis PET memiliki tingkat efektivitas yang tinggi ketika dilakukan daur ulang (Hopewell et al., 2009). Menurut Badan Pengawasan Obat dan Makanan Republik Indonesia (2019), Proses daur ulang PET secara umum terdiri dari pengumpulan sampah PET, pembuatan serpihan (*flakes*), dan proses pembuatan menjadi produk akhir. PET dapat digunakan untuk membuat berbagai produk antara lain pakaian, tekstil, suku cadang otomotif dan barang-barang keperluan industri, serta kemasan untuk produk makanan dan minuman.

Salah satu pihak yang berperan penting dalam mengatasi permasalahan sampah plastik di Indonesia adalah industri daur ulang plastik. Industri ini merupakan perusahaan-perusahaan daur ulang plastik yang bertujuan untuk mengubah masalah sampah menjadi peluang dalam mencapai ekonomi sirkular. Salah satu industri daur ulang menjadi objek pada penelitian ini mengubah limbah botol plastik PET lokal menjadi PET *flakes* yang dapat ditransformasikan menjadi berbagai macam barang jadi.



Produk hasil daur ulang berupa serpihan PET dengan berbagai jenis, antara lain serpihan biru muda (*light blue*), serpihan bening (*clear*), dan campuran (*mix*) seperti pada Gambar 1.2 berikut.



Gambar 1.2 Produk Serpihan PET

Sumber: Data Perusahaan, 2023

Sebagai penghasil produk serpihan PET, industri ini memiliki peran besar dalam proses daur ulang plastik secara keseluruhan. Peningkatan pada industri pembuatan *flakes* PET menjadi hal penting dalam memenuhi strategi penggandaan kapasitas daur ulang sampah plastik di Indonesia. Dalam proses produksi serpihan PET terdapat beberapa bahan baku utama yang dibutuhkan sesuai jenisnya, yaitu botol PET biru muda (*light blue*), botol PET bening (*clear*), dan campuran keduanya (*mix*) seperti pada Gambar 1.3.

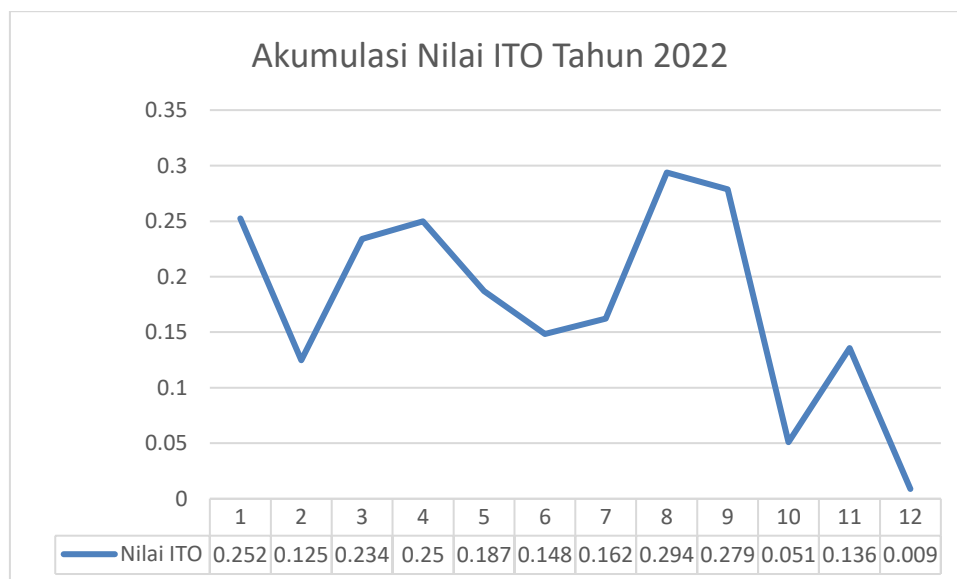


Gambar 1.3 Bahan Baku Utama Daur Ulang Plastik

Sumber: Data Perusahaan, 2023

Manajemen persediaan bahan baku menjadi salah satu tantangan pada industri ini dengan karakteristik industri yang memiliki ukuran lot (*lot-size*) yang besar dan biaya persediaan yang tinggi. Manajemen persediaan merupakan bagian penting dari proses bisnis yang membantu perusahaan mencegah kehabisan stok, tingkat pemesanan yang akurat, dan memastikan penyimpanan catatan yang akurat. Manajemen persediaan adalah serangkaian kebijakan dan pengendalian yang memonitor dan menentukan tingkat persediaan yang harus dijaga, kapan waktu yang tepat persediaan harus diisi, dan

berapa jumlah pesanan yang harus dilakukan (Jacobs & Chase, 2014). Pada umumnya, perusahaan melakukan penyimpanan material dan produk dalam jumlah besar agar tidak terdapat potensi kekurangan material namun besarnya jumlah penyimpanan menimbulkan tingginya biaya persediaan dan risiko kerusakan barang simpanan. Ketika perusahaan membeli terlalu banyak bahan baku, maka dapat terjadi penumpukan dan kelebihan bahan baku (*overstock*). Namun, perusahaan juga tidak dapat membeli terlalu sedikit bahan baku karena dapat mengalami kekurangan persediaan dan untuk mengantisipasi kebutuhan produksi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang efektif dan efisien untuk mengelola persediaan. Salah satu parameter penilaian kinerja persediaan dalam gudang pada umumnya adalah nilai *Inventory Turnover* (ITO) yang mengukur frekuensi persediaan dikonsumsi atau diputar dalam periode waktu tertentu (Kwak, 2019). Rasio nilai tersebut menunjukkan efisiensi manajemen persediaan dan didapatkan dengan membandingkan hasil penjualan dengan persediaan rata-rata untuk suatu periode. Seperti pada nilai ITO studi kasus di sebuah gudang bahan baku daur ulang perusahaan daur ulang plastik yang berlokasi di Kabupaten Tangerang yang menjadi subjek penelitian.



**Gambar 1.4 Nilai *Inventory Turnover* Tahun 2022**

Sumber: Data Perusahaan, 2023 (telah diolah kembali)

Gambar 1.4 menunjukkan bahwa nilai perputaran persediaan rendah dan masih perlu ditingkatkan karena dapat mengakibatkan peningkatan total biaya persediaan pada beberapa periode. Pada akhir tahun tepatnya bulan ke-12, perusahaan mengalami masalah yang harus menghentikan produksi sehingga nilai penjualan sangat kecil

menyebabkan nilai ITO yang sangat rendah. Cara meningkatkan nilai ITO antara lain melakukan peramalan permintaan (*demand forecasting*) yang lebih akurat dan perancangan strategi yang lebih baik. Peningkatan volume pembelian bahan baku dalam memenuhi kapasitas daur ulang yang bertambah dan permintaan yang tinggi menyebabkan tuntutan untuk mengembangkan metode perencanaan dan penjadwalan bahan baku yang lebih baik agar total biaya persediaan bahan baku seminimal mungkin. Biaya persediaan bahan baku merupakan salah satu komponen dari logistik yang terdiri dari biaya penyimpanan dan biaya pemesanan bahan baku. Seiring meningkatnya volume daur ulang, maka biaya persediaan bahan baku akan semakin tinggi. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode dan upaya untuk meminimalkan biaya yang kian meningkat ini. Salah satu cara untuk menangani permasalahan manajemen persediaan adalah melakukan efisiensi keputusan kuantitas pemesanan dan waktu pesan (Kusuma & Hakim, 2020).

Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara, masalah rendahnya perputaran persediaan dan kenaikan biaya persediaan terjadi karena peramalan permintaan dan penjadwalan kedatangan bahan baku belum cukup efektif dan efisien, serta penggunaan metode manajemen persediaan tradisional yang mempengaruhi kecepatan dan keakuratan dalam pengambilan keputusan kuantitas dan waktu pesan yang belum optimal menyebabkan kenaikan biaya pemesanan dan biaya penyimpanan sehingga memicu peningkatan biaya persediaan bahan baku sebesar 27% dari tahun sebelumnya pada perusahaan. Permasalahan ini mendorong perlunya untuk mengembangkan model optimasi yang dapat menentukan kuantitas dan waktu pesan persediaan bahan baku agar biaya yang dikeluarkan minimum.

Setelah menganalisis proses yang ada saat ini, ditemukan bahwa terdapat berbagai batasan, parameter, dan tujuan. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan sebuah penyelesaian dengan model matematis yang dapat digunakan untuk menentukan jumlah persediaan yang optimal sesuai batasan dan parameter yang ada. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Mohammadi & Shekarian (2017) yang mengembangkan model kuantitas dan periode waktu pesan yang optimal pada setiap material yang dapat meminimalkan total biaya persediaan dengan mempertimbangkan biaya pemesanan dan biaya penyimpanan pada perusahaan manufaktur serta menggunakan metode peramalan yang tepat. Berlandaskan latar belakang tersebut, penelitian ini akan menyelesaikan

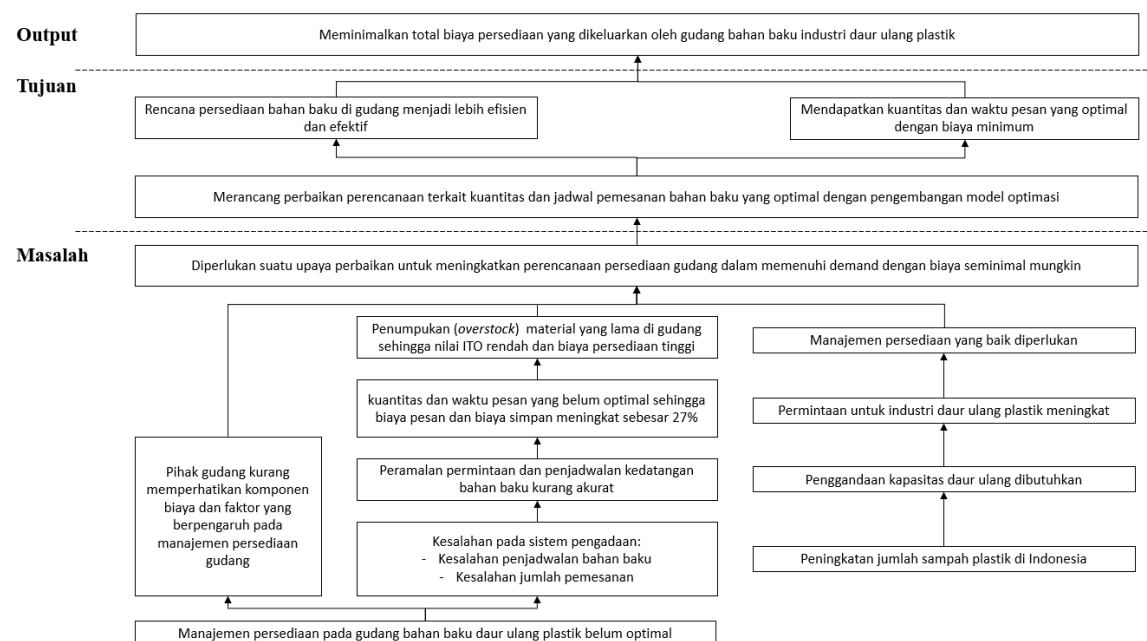
permasalahan tersebut dengan menerapkan metode *Mixed Integer Linear Programming* untuk penentuan kuantitas pesan dan waktu pesan yang menghasilkan total biaya persediaan yang minimum sesuai kondisi dalam sebuah gudang bahan baku daur ulang plastik.

## 1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang, dihasilkan suatu perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu, “Bagaimana model optimasi perencanaan bahan baku yang optimal untuk meminimalkan total biaya persediaan pada industri daur ulang plastik?”.

## 1.3 Diagram Keterkaitan Masalah

Untuk memperjelas kondisi dari permasalahan yang ada serta hal-hal yang dibutuhkan untuk menyelesaikan masalah tersebut, dibuatlah diagram keterkaitan masalah sebagai berikut:



Gambar 1.5 Diagram Keterkaitan Masalah

## 1.4 Tujuan Penelitian

Terdapat dua tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini dalam menjawab rumusan masalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan model matematis untuk meminimalkan biaya bahan baku pada industri daur ulang plastik.

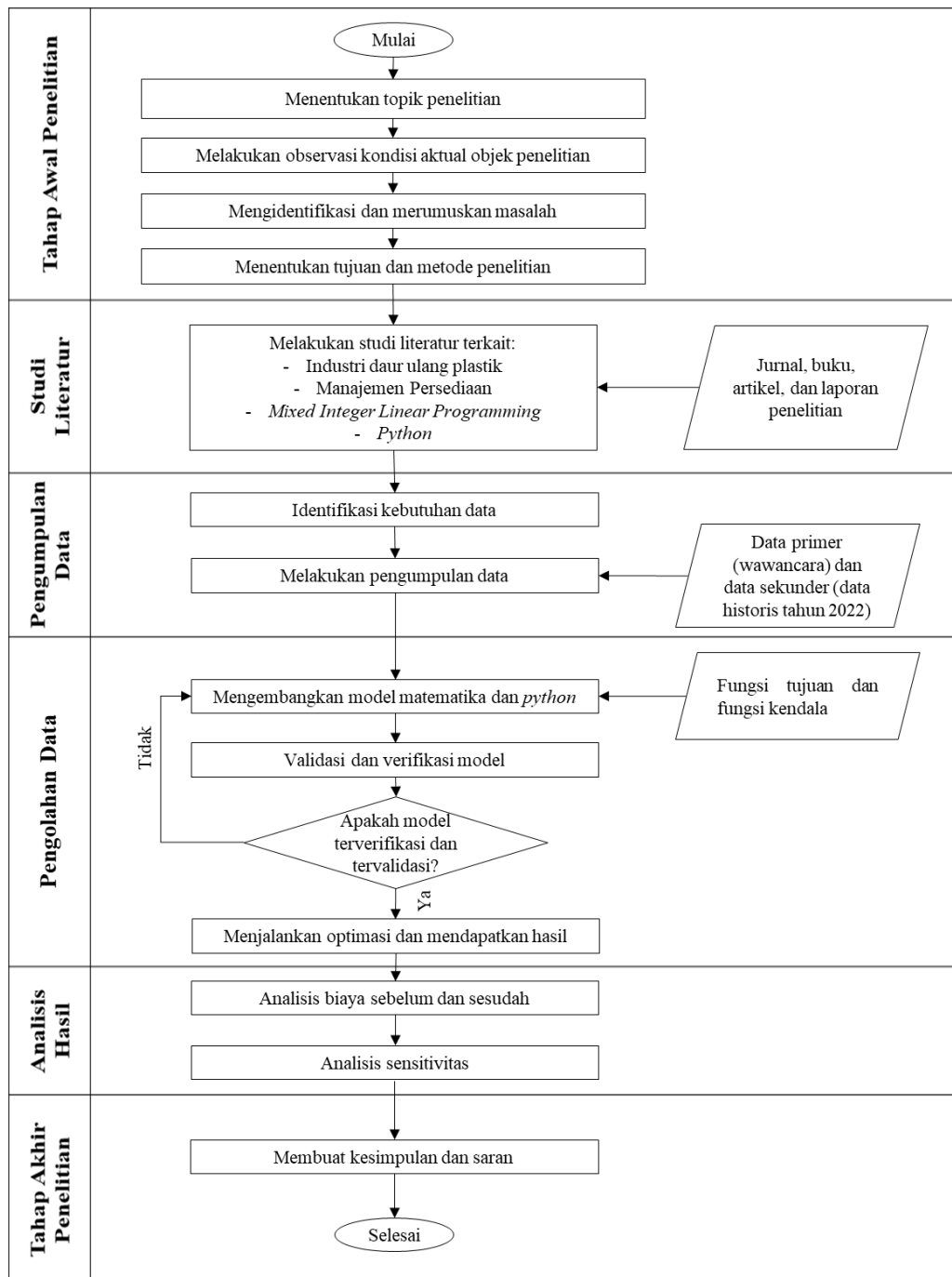
2. Mendapatkan kuantitas (Q) dan waktu pemesanan (Y) bahan baku pada industri daur ulang plastik.

### **1.5 Batasan Penelitian**

Dalam melakukan penelitian, terdapat beberapa batasan yang diterapkan pada penelitian ini agar lebih terarah dan berjalan sesuai dengan perencanaan yang telah dibuat. Adapun batasan penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian berfokus pada sebuah gudang bahan baku salah satu perusahaan daur ulang plastik yang terletak di daerah Pagedangan, Kabupaten Tangerang.
2. Data terbagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder, data primer didapatkan melalui pengamatan dan wawancara langsung dengan pihak terkait pada Februari – Mei 2023. Data sekunder dikumpulkan dari data historis perusahaan bulan Januari sampai Desember tahun 2022.
3. Material yang diteliti merupakan ketiga bahan baku utama yang digunakan untuk daur ulang plastik, yaitu botol PET *clear*, *light blue*, dan *mix*.

## 1.6 Metodologi Penelitian



Gambar 1.6 Metodologi Penelitian

Sesuai dengan Gambar 1.6, pelaksanaan penelitian ini dibagi menjadi enam tahapan utama. Adapun penjelasan dari masing-masing tahap tersebut sebagai berikut:

### 1. Tahap Awal Penelitian

Penelitian diawali dengan melakukan pengamatan kondisi aktual dan diskusi dengan pihak terkait untuk mengidentifikasi dan merumuskan masalah sesuai

dengan tema atau topik penelitian yang diinginkan mengenai manajemen persediaan bahan baku daur ulang plastik. Tahap selanjutnya dilakukan dengan penentuan tujuan dan batasan penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan biaya total persediaan dalam periode historis dan periode peramalan dengan cara mendapatkan keputusan kuantitas dan waktu pemesanan material yang optimal.

## 2. Studi Literatur

Studi literatur terdiri dari teori-teori penelitian yang berasal dari berbagai referensi antara lain jurnal, buku, artikel, dan laporan penelitian. Metode dan teori pada penelitian ini berhubungan tentang manajemen persediaan, *Mixed Integer Linear Programming* (MILP), dan bahasa pemrograman *python*.

## 3. Pengumpulan Data

Setelah studi literatur, dilakukan identifikasi kebutuhan data yang dibagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan melalui pengamatan dan wawancara langsung dengan pihak terkait. Data sekunder didapatkan dari data historis perusahaan bulan Januari sampai Desember tahun 2022. Adapun data-data primer yang dibutuhkan antara lain sistem persediaan bahan baku mencakup proses pengadaan, komponen biaya persediaan yang terlibat, kapasitas penyimpanan gudang, kondisi dan batasan masalah. Sedangkan data-data sekunder antara lain data historis permintaan, data persediaan awal dan akhir, data harga dan satuan bahan baku, data *lead time*, data biaya simpan, dan data biaya pesan.

## 4. Pengolahan Data

Setelah data terkumpul dengan baik, dilakukan pengolahan data yang diawali oleh perhitungan persediaan pengaman (*safety stock*), penentuan metode peramalan permintaan (*demand forecasting*), dan dilanjutkan dengan pengembangan model optimasi yang terdiri dari pembuatan model matematika dengan mengidentifikasi indeks, sets, parameter, variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala yang sesuai dengan permasalahan. Model matematika tersebut lalu diterjemahkan ke dalam bahasa pemrograman *python* lalu dilakukan verifikasi dan validasi model yang telah terbentuk sebelum model dijalankan dan hasil pengolahan data dapat dikumpulkan.

## 5. Analisis Hasil

Tahap ini melakukan analisis hasil pengolahan data berupa biaya sebelum dan sesudah, analisis sensitivitas terhadap hasil dengan beberapa skenario perubahan parameter model, dan analisis perbandingan.

## 6. Tahap Akhir Penelitian

Tahap terakhir dari penelitian ini adalah pembuatan kesimpulan dan saran. Kesimpulan berisi pembahasan secara ringkas tentang hasil akhir penelitian. Saran berisi rekomendasi bagi perusahaan dan usulan perbaikan atau peningkatan yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

### 1.7 Sistematika Penelitian

Untuk memahami alur penelitian ini, maka laporan akhir disusun menjadi lima bab dengan penulisan yang sistematis sebagai berikut:

#### 1. BAB 1 PENDAHULUAN

Bab pertama penelitian membahas mengenai latar belakang penelitian, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

#### 2. BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab kedua berisi tentang tinjauan atas teori dan literatur yang digunakan dalam penelitian ini. Bab ini membahas tentang manajemen persediaan yang meliputi definisi, fungsi, biaya persediaan, proses pengadaan, metode peramalan, persediaan pengaman, perputaran persediaan dan optimasi dengan metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) serta bahasa pemrograman yang digunakan.

#### 3. BAB 3 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ketiga merupakan tahap pengumpulan dan proses pengolahan data dengan melakukan pengembangan model matematika, menghitung nilai persediaan pengaman, dan menentukan metode peramalan yang tepat. Data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder, diolah kembali agar dapat digunakan menjadi dasar model matematika yang sesuai dengan tujuan optimasi. Kemudian, model matematika diterjemahkan ke bahasa pemrograman *python* yang pada akhirnya akan dijalankan dan dikumpulkan hasil dari model untuk dianalisis.



#### 4. BAB 4 ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab keempat membahas mengenai analisis hasil pengolahan data dari model. Output yang dihasilkan adalah total biaya persediaan minimal dengan keputusan kuantitas pemesanan dan periode pemesanan. Hasil ini selanjutnya juga dianalisis dengan menggunakan analisis hasil, analisis perbandingan, dan analisis sensitivitas berupa skenario bisnis dimana dilakukan perubahan terhadap beberapa parameter.

#### 5. BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab kelima berisi kesimpulan dan saran dari penelitian. Kesimpulan yang ada mengandung inti dari seluruh hasil penelitian yang telah dilakukan sedangkan saran merupakan usulan untuk pihak perusahaan yang diteliti dan juga untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

Bab ini membahas mengenai literatur dari berbagai sumber terkait dengan penelitian yang terdiri dari manajemen persediaan, program linear MILP, bahasa pemrograman dan perangkat lunak yang digunakan serta verifikasi dan validasi model.

#### **2.1 Manajemen Persediaan**

Pada bagian pertama membahas teori-teori yang menjelaskan tentang keadaan gudang bahan baku perusahaan sebagai tempat objek penelitian antara lain definisi persediaan, fungsi persediaan, biaya persediaan, proses pengadaan bahan baku, *inventory turnover*, persediaan pengaman (*safety stock*), dan metode peramalan permintaan (*demand forecasting*).

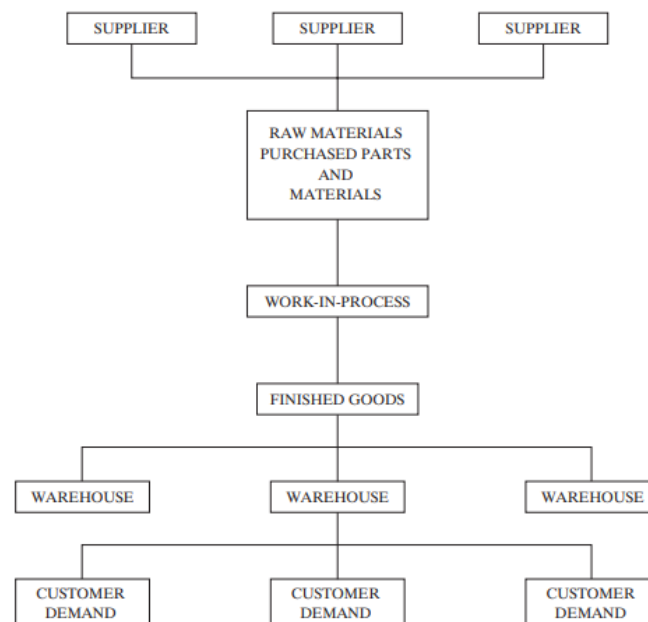
##### **2.1.1 Definisi Persediaan**

Persediaan menurut Jacobs & Chase (2014) adalah sumber daya yang digunakan perusahaan untuk melakukan kegiatan operasional. Johns & Harding (2001) menyatakan bahwa persediaan merupakan suatu keputusan investasi yang penting dengan tingkat prioritas yang tinggi sehingga perlu pertimbangan yang baik. Persediaan merupakan aset bernilai tinggi yang dapat diproses dan dijual kembali untuk mendapatkan keuntungan. Persediaan sangat penting bagi perusahaan karena menghubungkan satu operasi ke operasi selanjutnya yang sistematis dalam pembentukan suatu barang sebelum sampai ke tangan konsumen. Persediaan yang berlebih akan menimbulkan biaya penyimpanan relatif besar. Oleh karena itu, persediaan harus dikelola dengan baik agar keuntungan perusahaan maksimal. Persediaan dapat dioptimalkan dengan perencanaan yang baik dan manajemen persediaan yang optimal (Pinedo, 2005).

Persediaan dapat diklasifikasikan berdasarkan aliran material seperti yang digambarkan oleh Arnold et al. (2012) sebagai berikut:

1. Persediaan bahan baku (*raw material*) merupakan persediaan dari bahan baku yang digunakan dalam proses produksi dan diperoleh dari sumber daya alam atau dibeli dari pemasok bahan baku.

2. Persediaan komponen barang jadi (*component stock*) merupakan persediaan barang berupa komponen (*parts*) yang diperoleh dari perusahaan lain dan dapat langsung digunakan seperti dalam proses perakitan.
3. Persediaan *maintenance, repair, dan operational* (MRO) atau persediaan perlengkapan (*supplies stock*) merupakan persediaan barang-barang yang dibutuhkan untuk mendukung jalannya suatu proses dalam perusahaan, namun bukan merupakan bagian dari barang jadi meliputi peralatan tangan, *spare parts*, pelumas, dan alat kebersihan.
4. Persediaan barang setengah jadi (*work in process*) merupakan persediaan yang telah diolah namun masih perlu diproses kembali untuk menjadi barang jadi.
5. Persediaan barang jadi (*finished goods*) merupakan persediaan barang-barang yang telah selesai diproses dan disimpan dalam keadaan siap untuk dijual kepada konsumen sesuai permintaan.



Gambar 2.1 Klasifikasi Persediaan Berdasarkan Aliran Material

Sumber: Arnold et al., 2012

Jumlah persediaan yang dimiliki oleh tiap perusahaan idealnya optimal dimana tidak terlalu banyak hingga terjadi *overstock* dan penumpukan barang namun juga tidak terlalu sedikit dan menyebabkan kekurangan (*shortage*). Dalam mencapai hal ini diperlukan suatu perencanaan dalam menentukan jumlah persediaan atau dengan kata lain manajemen persediaan. Manajemen persediaan adalah serangkaian kebijakan dan

pengendalian yang memonitor tingkat persediaan dan menentukan tingkat persediaan yang harus dijaga, kapan waktu yang tepat persediaan tersebut harus diisi, dan berapa jumlah pesanan yang harus dilakukan (Jacobs & Chase, 2014). Perusahaan sering kali menghadapi berbagai masalah mengenai persediaan. Oleh karena itu, untuk menangani hal tersebut dilakukan manajemen persediaan dengan tujuan memaksimalkan pelayanan atau meminimalkan total biaya. Manajemen persediaan mengatur jumlah penyimpanan untuk menjaga keberlangsungan perusahaan dari ketidakpastian permintaan dan *lead time* sehingga mengurangi adanya kemungkinan terjadi kekurangan persediaan dan ketidakpuasan pelanggan. Dengan begitu, melakukan efisiensi keputusan kuantitas pemesanan dan waktu pesan akan menghasilkan total biaya persediaan yang minimum (Kusuma & Hakim, 2020).

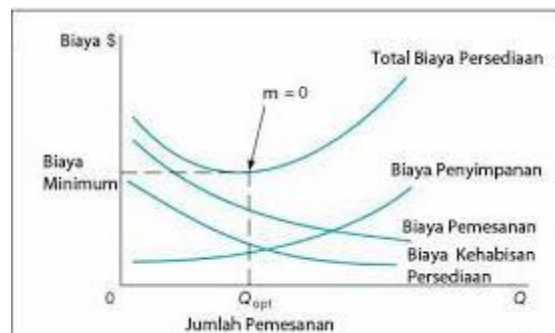
#### 2.1.2 Fungsi Persediaan

Fungsi utama persediaan antara lain menjadi penyangga dan menghubungkan antar proses produksi dan distribusi untuk memperoleh efisiensi. Menurut Heizer & Render (2014), terdapat beberapa fungsi persediaan antara lain membantu perusahaan mengantisipasi permintaan pelanggan yang harus terpenuhi dan ketidakpastian yang menyertai, memisahkan beberapa tahapan dari proses produksi dengan pihak pemasok, mengambil keuntungan dari potongan harga berdasarkan jumlah pemesanan, dan menghindari tingkat inflasi yang tinggi serta kenaikan harga persediaan. Selain itu, persediaan juga berfungsi untuk menjaga hubungan operasional, memungkinkan fleksibilitas dalam penjadwalan produksi, mengantisipasi keterlambatan waktu dari pengiriman, mengambil keuntungan dari jumlah pembelian ekonomis, dan berbagai tujuan lainnya yang dipengaruhi oleh situasi yang berubah-ubah.

#### 2.1.3 Biaya Persediaan

Faktor biaya merupakan salah satu tolak ukur dalam manajemen persediaan gudang. Peningkatan pada manajemen persediaan dapat mengefisienkan biaya-biaya yang dikeluarkan perusahaan pada seluruh proses bisnis. Biaya persediaan merupakan seluruh komponen biaya-biaya yang terlibat dalam membentuk persediaan pada gudang dan terdiri dari biaya simpan (*holding cost*) dan biaya pesan (*ordering cost*). Biaya simpan adalah seluruh pengeluaran yang timbul akibat menyimpan barang atau semua biaya yang terlibat dalam melakukan penyimpanan bahan baku meliputi biaya modal,

biaya penyusutan, biaya kerusakan, biaya sewa gudang, biaya administrasi, biaya perawatan persediaan, biaya asuransi, biaya kadaluarsa, biaya kekurangan persediaan (*shortage cost*), dan biaya lain-lain. Sedangkan biaya pesan adalah seluruh pengeluaran yang timbul untuk mendatangkan barang dari luar perusahaan atau semua biaya yang terlibat dalam melakukan pemesanan bahan baku meliputi biaya pengiriman pemesanan, biaya pengangkutan, biaya bongkar muat, biaya persiapan (*setup cost*), biaya administrasi, dan lain sebagainya. Biaya ini diasumsikan konstan setiap kali melakukan pemesanan pada rentang periode tertentu. Seperti pada komponen biaya manajemen persediaan yang dikemukakan oleh Jacobs & Chase (2014), yaitu *ordering cost*, *setup cost*, *holding cost*, dan *shortage cost*.



Gambar 2.2 Komponen Biaya Persediaan

Sumber: Taha, 2007

Gambar 2.2 menunjukkan hubungan komponen biaya persediaan dalam berinteraksi menghasilkan total biaya persediaan dimana biaya simpan akan semakin tinggi sedangkan biaya pemesanan akan mengecil ketika dilakukan pengadaan pemesanan dalam jumlah banyak dan begitu pula sebaliknya. Hal ini diakibatkan pengadaan persediaan dalam jumlah besar menyebabkan frekuensi pemesanan lebih sedikit sehingga biaya pesan lebih rendah namun biaya simpan menjadi lebih tinggi. Sebaliknya, jika pengadaan dalam jumlah kecil meningkatkan frekuensi pemesanan sehingga biaya pesan menjadi lebih tinggi dan biaya simpan lebih rendah.

#### 2.1.4 Proses Pengadaan Bahan Baku

Secara umum, proses pengadaan bahan baku yang baik terdiri dari merancang hubungan yang tepat dengan pemasok bahan baku atau kemitraan seperti menentukan pemasok utama dan pemasok lain untuk setiap bahan baku, kemudian memilih pemasok, memilih teknologi, menyimpan data pemasok, melakukan proses pemesanan

yang terdiri dari negosiasi dan administrasi, dan mengevaluasi kinerja pemasok bahan baku. Pada industri daur ulang plastik, proses pengadaan bahan baku dimulai dari pengumpul sampah botol plastik yang diteruskan ke lapak lalu dibersihkan dan ditekan oleh pihak pemasok yang disebut *pengepress* yang kemudian akan mengirimkan bahan baku botol PET bekas sesuai pemesanan yang dilakukan pihak perusahaan menggunakan truk menuju ke gudang bahan baku perusahaan kemudian dilakukan proses penyimpanan gudang sehingga dapat digunakan untuk proses daur ulang plastik.

Penentuan jumlah persediaan perlu ditentukan sebelum melakukan penilaian persediaan. Jumlah persediaan pada akhir periode dapat ditentukan dengan menggunakan dua sistem yang umum diketahui antara lain *periodic system*, yaitu setiap akhir periode dilakukan perhitungan secara fisik agar jumlah persediaan akhir dapat diketahui jumlahnya secara pasti dan *perpetual system* atau *book inventory*, yaitu setiap kali pengeluaran diberikan catatan administrasi barang persediaan.

Dalam melaksanakan penilaian persediaan (Jacobs & Chase, 2014), terdapat beberapa cara yang dapat digunakan, yaitu:

1. *First-In, First-Out* (FIFO) merupakan metode penilaian persediaan yang didasarkan atas asumsi bahwa arus harga bahan baku adalah sama dengan arus penggunaan bahan baku. Bila sejumlah unit bahan dengan harga beli tertentu sudah habis dipergunakan, maka penggunaan bahan baku berikutnya didasarkan pada harga beli berikutnya, maka nilai persediaan akhir adalah sesuai dengan harga dan jumlah unit pembelian akhir.
2. *Last-In, First-Out* (LIFO) merupakan metode penilaian persediaan yang didasarkan atas asumsi bahwa harga beli terakhir dipergunakan untuk harga bahan baku yang pertama keluar sehingga terdapat stok dengan harga pembelian sebelumnya.
3. Rata-rata tertimbang (*weighted average*) merupakan metode penilaian persediaan yang didasarkan atas harga rata-rata per unit bahan baku adalah sama dengan jumlah harga per unit dikalikan masing-masing kuantitas dibagi dengan seluruh jumlah unit dalam perusahaan pada periode tertentu.
4. Harga standar merupakan metode penilaian persediaan yang didasarkan atas asumsi bahwa persediaan akhir akan sama dengan jumlah unit persediaan akhir dikalikan dengan harga standar perusahaan.

Pada gudang bahan baku objek penelitian ini, cara penilaian persediaan yang digunakan adalah harga standar dan rata-rata tertimbang dengan mengambil harga rata-rata bahan baku selama periode pada data historis yang dikumpulkan.

#### 2.1.5 Perputaran Persediaan (*Inventory Turnover*)

Tingkat perputaran persediaan merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengukur kinerja efisiensi dan efektivitas manajemen persediaan (Heizer & Render, 2014). Parameter ini adalah rasio yang menunjukkan berapa kali persediaan telah dilakukan aktivitas penjualan dan penggantian persediaan selama periode tertentu (Kwak, 2019). Ukuran rasio ini bersifat objektif dan menjadi penanda seberapa efisien persediaan bergerak di sepanjang periode rantai pasok. Rumus rasio perputaran persediaan adalah sebagai berikut:

$$\text{Inventory turnover (ITO)} = \frac{\text{penjualan}}{\text{rata - rata persediaan}} \quad (2.1)$$

Terdapat dua komponen utama, yaitu persediaan dan penjualan. Beberapa langkah untuk meningkatkan nilai ITO antara lain meningkatkan akurasi peramalan permintaan (*demand forecasting*), merancang strategi penjualan, dan meningkatkan manajemen persediaan gudang. Dari rumus 2.1, dapat diketahui bahwa jumlah material yang disimpan dalam gudang persediaan berbanding terbalik dengan nilai ITO. Penurunan jumlah persediaan dengan manajemen persediaan yang lebih efektif dan efisien akan mengakibatkan peningkatan nilai ITO dengan tetap mempertimbangkan adanya ketidakpastian permintaan yang memiliki risiko *stockout*. Oleh karena itu, dibutuhkan persediaan pengaman.

#### 2.1.6 Persediaan Pengaman (*Safety Stock*)

Menurut Arnold et al. (2012), persediaan pengaman disebut juga persediaan fluktuasi karena mencegah disrupsi dalam manufaktur produk kepada pelanggan akibat ketidakpastian acak dari fluktuasi persediaan. Nilai persediaan pengaman dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor (Kusuma & Hakim, 2020) sebagai berikut:

1. Frekuensi pemesanan kembali (*reorder point*). Jumlah persediaan pengaman dapat menjadi lebih kecil apabila perubahan permintaan dan variabilitas diketahui lebih awal.

2. *Service level* yang ingin dicapai perusahaan, nilai ini berbanding lurus dengan persediaan pengaman.
3. *Lead time*, yaitu lama waktu persediaan dari pemasok sampai ke gudang perusahaan. Semakin lama *lead time*, maka persediaan pengaman semakin besar terutama jika terdapat kemungkinan keterlambatan pengadaan bahan baku yang tinggi.
4. Variabilitas permintaan yang berbanding lurus dengan jumlah persediaan pengaman.

Terdapat beberapa cara perhitungan nilai *safety stock* yang sering diterapkan dalam perusahaan. Salah satu cara yang mempertimbangkan faktor-faktor di atas adalah rumus dari Waters (2003) sebagai berikut:

$$Safety\ Stock = Z \times \sigma_{demand} \times \sqrt{Lead\ Time} \quad (2.2)$$

Dimana  $Z$  melambangkan nilai *safety factor* berdasarkan *service level* yang diinginkan.  $\sigma_{demand}$  melambangkan nilai standar deviasi dari permintaan. *Lead time* pada penelitian ini dalam bentuk hari. Rumus ini digunakan karena kasus dalam penelitian fokus kepada ketidakpastian permintaan. Pada umumnya, perusahaan menetapkan 95% sebagai *service level* yang berarti kemungkinan untuk permintaan tidak dapat terpenuhi hanyalah sebesar 5%. *Service level* menentukan besar *safety factor*. Angka ini juga dijadikan sebagai parameter dalam perhitungan nilai *safety stock* pada penelitian ini.

#### 2.1.7 Metode Peramalan Permintaan (*Demand Forecasting*)

Peramalan permintaan adalah prediksi dari proyeksi permintaan untuk produk atau layanan suatu perusahaan (Heizer & Render, 2014). Salah satu pertimbangan manajemen persediaan perusahaan adalah bagaimana mengestimasi siklus fluktuasi permintaan (Mohammadi & Shekarian, 2017). Terdapat berbagai macam metode dalam meramalkan permintaan (Chopra & Mendl, 2016) sebagai berikut:

1. Analisis Tren (*Trend Analysis*), yaitu metode yang mengkaji data historis untuk mengidentifikasi pola atau tren yang dapat digunakan untuk memprediksi permintaan di masa mendatang. Metode ini paling cocok untuk data yang menunjukkan tren yang jelas dan konsisten dari waktu ke waktu.
2. Analisis regresi (*regression analysis*), yaitu metode yang menggunakan teknik statistik untuk mengidentifikasi hubungan antara variabel independen seperti



waktu dan variabel dependen (permintaan). Metode ini paling cocok untuk data yang menunjukkan hubungan linear antara variabel independen dan dependen.

3. Pemulusan eksponensial (*exponential smoothing*), yaitu metode yang memberikan bobot pada data historis untuk lebih mementingkan pengamatan terbaru. Metode ini paling cocok untuk data yang menunjukkan tingkat permintaan yang stabil dan konsisten dari waktu ke waktu. Metode ini dibagi menjadi *single exponential smoothing*, *double exponential smoothing*, dan *triple exponential smoothing* atau disebut juga metode *winter*. Perbedaan terletak pada jumlah parameter yang dipertimbangkan, yaitu tren (*trend*), tingkat (*level*), dan musim (*seasonality*).
4. Rata-rata bergerak (*moving average*), yaitu metode yang menghitung rata-rata sejumlah titik data historis tertentu. Metode ini paling cocok untuk data yang menunjukkan tingkat permintaan yang stabil dan konsisten dari waktu ke waktu.
5. *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA), yaitu metode yang menggabungkan teknik *autoregression* (AR), *differencing* (I), dan *moving average* (MA) untuk memodelkan data *time series*. Metode ini paling cocok untuk data yang menunjukkan pola permintaan yang kompleks dari waktu ke waktu, seperti perubahan musiman atau tren.

Dalam melakukan *demand forecasting*, akurasi peramalan sangat penting untuk mencegah kelebihan persediaan (*overstock*) dan kehilangan kesempatan (*opportunity loss*) akibat *stockout*. Berdasarkan kesesuaian metode-metode peramalan yang tersedia terutama pada industri daur ulang plastik, penelitian ini menentukan metode terbaik dengan membandingkan akurasi peramalan. Nilai akurasi yang digunakan terdiri dari *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Squared Deviation* (MSD), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). MAD adalah rata-rata deviasi atau simpangan mutlak dari titik pusat. MSD adalah rata-rata kuadrat perbedaan nilai antara nilai aktual dengan nilai peramalan. MAPE adalah adalah suatu pengukuran akurasi dengan menghitung persentase kesalahan dalam peramalan (Phakdeewongthep, 2021).

## 2.2 Program linear

Pada bagian kedua membahas metode yang digunakan dalam penelitian meliputi program linear, masalah optimasi, dan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP).

### 2.2.1 Definisi Program linear

Program linear adalah metode untuk mencapai hasil terbaik seperti keuntungan maksimum atau biaya minimum dalam model matematika dengan sifat hubungan linier. Terdapat beberapa bagian dalam penyusunan program linear (Jünger et al., 2010):

1. Variabel keputusan, yaitu variabel yang melambangkan keputusan yang akan dibuat dan mempengaruhi nilai tujuan yang diharapkan. Penentuan variabel keputusan adalah langkah pertama dalam membangun model.
2. Fungsi tujuan adalah suatu fungsi untuk memaksimalkan atau meminimalkan tujuan tertentu seperti biaya.
3. Fungsi kendala, yaitu fungsi parameter yang membatasi keputusan dalam bentuk persamaan atau pertidaksamaan matematika.

Secara teori, program linear dibagi menjadi dua jenis berdasarkan bentuk hasil pemrograman, yaitu program linear integer dan program linear non-integer. Program linear integer dibagi kembali menjadi dua jenis, yaitu *Pure Integer Linear Programming* (PILP) dan program linear integer campuran atau *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Penelitian ini menggunakan pemrograman linier integer campuran untuk memecahkan salah satu jenis masalah dalam manajemen persediaan, yaitu *lot-sizing problem*. *Lot-sizing problem* merupakan masalah optimasi persediaan yang melibatkan penentuan kapan dan berapa banyak barang yang akan dipesan pada setiap periode untuk memenuhi permintaan dengan biaya minimum (Fiorotto et al., 2016)

### 2.2.2 *Mixed Integer Linear Programming* (MILP)

MILP merupakan suatu metode penyelesaian masalah penelitian operasi dimana pemrograman sebuah model yang dibuat memberikan sebagian output variabel bernilai integer (Taha, 2007). MILP adalah suatu program optimasi yang melibatkan variabel-variabel integer dan kontinu (Pochet, 2005). Formulasi dasar MILP yang digunakan oleh berbagai jurnal adalah sebagai berikut:

$$\text{Minimize } \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (2.3)$$

dibatasi oleh:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2.4)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2.5)$$

$$x_j \text{ integer for some or all } (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2.6)$$

Penelitian kali ini menggunakan metode MILP dikarenakan persyaratannya yang sesuai dengan kebutuhan penelitian dan MILP terbukti dapat digunakan dalam penelitian untuk meminimalkan biaya persediaan gudang seperti pada beberapa penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Mohammadi & Shekarian (2017) dan Mohammadi & Tap (2012) pada industri manufaktur. Hasil penelitian berupa jumlah persediaan yang optimal dengan kuantitas dan waktu pesan yang tepat serta total biaya persediaan yang minimum. Penggunaan MILP memiliki keunggulan (Atabay, 2018) yaitu keadaan model lebih realistis dan fleksibel serta dapat berskala untuk masalah besar dan kompleks antara lain dapat memberikan keputusan dalam bentuk integer, seperti pesan atau tidak pesan serta dapat dimodifikasi dan digunakan dalam penelitian yang bertujuan untuk menurunkan biaya seperti permasalahan persediaan dan penyimpanan.

### 2.3 *Python dan Gurobi Optimizer*

Pada bagian ini membahas bahasa pemrograman dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini.

#### 2.3.1 *Python*

*Python* adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang populer dan sering digunakan dalam berbagai bidang, termasuk ilmu data, pengembangan web, kecerdasan buatan, dan pemrograman umum. Beberapa kelebihan *python* antara lain memiliki sintaks yang sederhana dan mudah dipahami, mudah dibaca, mudah ditulis, interpretatif, memiliki perpustakaan standar yang sangat kaya, yang menyediakan berbagai modul dan fungsi bawaan yang siap digunakan untuk berbagai keperluan pemrograman, dan mendukung pemrograman fungsional, yang memungkinkan penggunaan fungsi sebagai argumen dan pengembalian nilai dari fungsi sebagai hasil (McKinney, 2013). Aplikasi yang digunakan untuk menjalankan bahasa pemrograman ini disebut *Python IDE (Integrated Development Environment)* antara lain *Jupyter Notebook*, *Visual Studio*

*Code*, *PyCharm*, dan *Spyder*. Pada Penelitian ini, digunakan IDE *Spyder* yang merupakan *environment open-source* yang kuat, *cross-platform*, dan berfokus pada penyediaan IDE untuk keperluan ilmiah daripada menyediakan pengembangan web dan tujuan lain karena IDE ini menampilkan kombinasi unik dari fungsi pengeditan lanjutan, analisis, *debugging*, dan alat pengembangan komprehensif dengan eksplorasi data, eksekusi interaktif, inspeksi mendalam, kemampuan visualisasi yang baik dari berbagai paket ilmiah, dan tampilan antarmuka (*user interface*) serta pengalaman pengguna (*user experience*) yang memudahkan untuk mengeksplorasi dan mengedit kode *python*. Selain itu, pemilihan IDE *Spyder* juga dikarenakan kecocokan penggunaan yang sebagian besar ditujukan dan digunakan untuk peneliti, teknisi, dan analisis data.

### 2.3.2 Gurobi Optimizer

*Gurobi Optimizer* adalah perangkat lunak komersial yang populer untuk pemodelan dan pemecahan masalah optimasi matematis. Terintegrasi sebagai salah satu *library* dari *python* dengan dokumentasi yang lengkap dan mendalam sehingga memungkinkan pengguna untuk memodelkan dan memecahkan berbagai masalah optimasi dengan mudah. Beberapa kelebihan dari perangkat lunak ini antara lain menyediakan berbagai algoritma optimasi canggih yang dioptimalkan untuk kecepatan dan efisiensi mencakup pemecahan *linear programming* (LP), *mixed integer linear programming* (MILP), *quadratic programming* (QP), dan masalah optimasi nonlinear. *Library* ini juga menyediakan fitur-fitur seperti pengoptimalan penjadwalan dan sering digunakan dalam berbagai industri dan disiplin ilmu termasuk manufaktur. MILP umumnya diselesaikan dengan menggunakan algoritma *branch-and-bound* berbasis pemrograman linier, yaitu suatu metode untuk memecahkan masalah optimasi MILP dengan memecah sub-masalah yang lebih kecil dan menggunakan fungsi pembatas untuk mengeliminasi sub-masalah yang tidak dapat memuat solusi optimal dengan algoritma yang meliputi *preprocessing*, *relaxation*, *branching variable*, *search tree*, dan *nodes* (Gurobi Optimization, 2021).

## 2.4 Verifikasi dan Validasi Model

Proses verifikasi dan validasi model adalah proses akhir dalam pengembangan model untuk menguji kelayakan model, mengukur, dan membangun kredibilitas model. Pada proses ini, model dapat dikatakan terverifikasi dan tervalidasi jika model yang

telah dikembangkan dapat berjalan dengan baik sesuai output yang diinginkan tanpa adanya *debugging* atau *error* dan dapat merepresentasikan kondisi aktual.

#### 2.4.1 Verifikasi Model

Verifikasi model adalah suatu proses untuk menentukan bahwa implementasi model dapat merepresentasikan secara akurat terkait dengan konseptual dan solusi dari model tersebut. Proses ini berkaitan dengan identifikasi dan eliminasi kesalahan dalam model dengan membandingkan solusi numerik analitis. Model dapat dikatakan terverifikasi apabila model matematis yang diterjemahkan ke model komputasi dapat berjalan tanpa adanya *error* atau *debugging* dan mampu memberikan hasil sesuai dengan tujuan seperti komponen biaya dan waktu. *Debugging* adalah kesalahan atau bug di setiap kode pemrograman.

#### 2.4.2 Validasi Model

Validasi model adalah suatu proses menentukan derajat akurasi dari model dalam merepresentasikan keadaan sebenarnya dengan tujuan untuk mengukur nilai keyakinan dari model dengan cara membandingkan hasil model dengan data hasil eksperimen. Proses dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain dengan perhitungan manual menggunakan perangkat lunak pengolah angka dengan hasil dari model *python* lalu dilihat kesesuaian dari model dan telah memenuhi semua fungsi kendala yang telah dikembangkan serta penggunaan data lain untuk diujikan ke dalam model. Model dapat dikatakan tervalidasi jika hasil perbandingan model komputasi dengan perhitungan manual bernilai sama serta memberikan hasil yang rasional dari perubahan parameter yang diujikan.

## BAB 3

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini membahas mengenai data-data yang dikumpulkan dan proses-proses dalam mengolah data yang terdiri dari peramalan permintaan, perhitungan nilai persediaan pengaman, pengembangan model matematika dan penerjemahan model ke bahasa pemrograman *python* untuk optimasi dengan metode MILP, hingga proses verifikasi dan validasi model. Pada akhir bagian didapatkan hasil pengolahan data dari model yang telah dilakukan verifikasi dan validasi.

#### 3.1 Pengumpulan Data

Data penelitian ini dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan melalui pengamatan dan wawancara langsung dengan penanggung jawab gudang dan beberapa pihak lain terkait penelitian. Data primer terdiri dari sistem manajemen persediaan bahan baku gudang, proses pengadaan bahan baku, komponen biaya persediaan, kapasitas penyimpanan gudang, *lead time*, kondisi dan batasan masalah. Data sekunder didapatkan dari data historis perusahaan pada Januari sampai Desember tahun 2022 yang terdiri dari data permintaan bahan baku, harga dan satuan bahan baku, serta persediaan bahan baku awal dan akhir.

##### 3.1.1 Data Permintaan Bahan Baku

Permintaan dalam bentuk mingguan dan bulanan dalam jumlah periode yang banyak (*multi-period*) selama satu tahun 2022 yang telah diolah kembali dari data harian terhadap tiga bahan baku utama daur ulang plastik, yaitu botol PET *clear*, *light blue*, dan *mix*. Satuan dari bahan baku adalah kilogram (kg) dan memiliki karakteristik harga, jumlah, dan biaya yang berbeda-beda. Data permintaan bahan baku secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.

##### 3.1.2 Data Harga Bahan Baku

Harga bahan baku adalah biaya yang harus dikeluarkan perusahaan daur ulang plastik untuk mendapatkan bahan baku yang dibutuhkan dari pemasok. Harga beli bahan baku daur ulang plastik menggunakan harga rata-rata standar dan diasumsikan sama untuk setiap pemasok dan konstan setiap bulan pada periode data historis

penelitian ini serta tidak bergantung kepada kuantitas pesan. Parameter harga dapat diubah sesuai perubahan kondisi dalam implementasi model. Data harga beli bahan baku dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Harga Satuan Bahan Baku

No.	Nama Bahan Baku	Satuan	Harga Beli (Rp)
1	<i>Clear</i>	kg	8000
2	<i>Light Blue</i>	kg	7000
3	<i>Mix</i>	kg	7300

Sumber: Data Historis Perusahaan Tahun 2022

### 3.1.3 *Lead Time* Bahan Baku

*Lead time* adalah waktu yang dibutuhkan bahan baku yang dipesan untuk sampai ke gudang bahan baku. Setiap bahan baku memiliki *lead time* yang berbeda-beda karena dipengaruhi berbagai faktor dan ketidakpastian. Penelitian ini berusaha untuk menggambarkan keadaan nyata sebaik mungkin sehingga mempertimbangkan adanya ketidakpastian *lead time*. Terdapat banyak pemasok (*multi-supplier*) yang tidak terikat dengan kontrak, *lead time* bervariasi di antara 1 sampai 3 hari berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan dimana banyak faktor mempengaruhi variasi waktu tersebut antara lain jarak, masalah, dan kondisi dari pemasok-pemasok dan perusahaan. Oleh karena itu, periode optimasi yang digunakan berbentuk mingguan untuk mengantisipasi ketidakpastian dan membuat manajemen persediaan lebih fleksibel serta dapat diterapkan dengan baik (*feasible*) dalam pemesanan bahan baku dari berbagai pemasok. Data *lead time* dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 *Lead Time* Bahan Baku

No.	Nama Bahan Baku	Satuan	<i>Lead Time</i> (Hari)
1	<i>Clear</i>	kg	1-3
2	<i>Light Blue</i>	kg	1-3
3	<i>Mix</i>	kg	1-3

Sumber: Data Historis Perusahaan Tahun 2022

### 3.1.4 Biaya Simpan dan Biaya Pesan Bahan Baku

Komponen pada biaya simpan dan biaya pesan ditemukan dengan melakukan identifikasi biaya terhadap proses-proses yang terlibat dalam aktivitas penyimpanan dan pemesanan bahan baku. Biaya simpan (*holding cost*) merupakan semua biaya yang timbul dari aktivitas penyimpanan bahan baku. Biaya simpan dalam penelitian ini terdiri dari biaya operasional dan biaya pembelian harga bahan baku yang telah diolah kembali. Biaya operasional terdiri dari biaya persiapan simpan (*setup cost*), biaya sewa gudang, biaya keusangan, biaya asuransi penyimpanan, biaya pajak penyimpanan, biaya pemeliharaan penyimpanan, biaya administrasi pencatatan penyimpanan, biaya tenaga kerja penyimpanan, biaya peralatan penunjang atau fasilitas penyimpanan meliputi bahan bakar dan perawatan *forklift*. Biaya operasional penyimpanan untuk setiap bahan baku bernilai sama karena memiliki proses yang sama. Faktor pembeda biaya simpan pada tiap bahan baku adalah harga masing-masing bahan baku. Faktor harga bahan baku dari yang termahal hingga termurah menggunakan bobot agar setiap keputusan pesan juga mempertimbangkan biaya pembelian bahan baku (*purchasing cost*). Rincian biaya simpan per kg setiap bahan baku dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Biaya Simpan Bahan Baku

No.	Nama Bahan Baku	Proses Penyimpanan	Biaya Komponen	Biaya Simpan (Rp)
1	<i>Clear</i>	Operasional penyimpanan	63	84
		Faktor harga bahan baku	21	
2	<i>Light Blue</i>	Operasional penyimpanan	63	70
		Faktor harga bahan baku	7	
3	<i>Mix</i>	Operasional penyimpanan	63	77
		Faktor harga bahan baku	14	

Sumber: Data Historis Perusahaan Tahun 2022

Sedangkan biaya pesan (*ordering cost*) merupakan semua biaya yang timbul dari aktivitas pemesanan bahan baku untuk mendatangkan bahan baku ke gudang. Biaya pesan dalam penelitian ini terdiri dari biaya pengiriman truk dan biaya administrasi yang telah diolah kembali. Biaya administrasi untuk melakukan pemesanan meliputi biaya asuransi pengiriman, biaya pajak pengiriman, biaya admin, listrik, pulsa, internet, peralatan kantor, serta biaya pengiriman seperti tenaga kerja pengiriman dan bahan



bakar truk. Biaya pesan yang diidentifikasi dan dihitung dalam penelitian ini adalah biaya-biaya yang timbul setelah pemilihan pemasok selesai karena pada umumnya proses pemilihan pemasok dilakukan di awal periode dengan frekuensi hanya satu kali sehingga komponen biaya ini tidak selalu dikeluarkan setiap saat melakukan pemesanan. Setiap bahan baku memiliki biaya pesan yang sama karena tidak dipengaruhi faktor yang berbeda. Biaya pesan dikenakan setiap satu kali melakukan pemesanan. Rincian data biaya pesan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Biaya Pesan Bahan Baku

No.	Proses Pemesanan	Biaya Pesan (Rp)
1	Pengiriman truk	100.000
2	Administrasi	24.000
	Total	124.000

Sumber: Data Historis Perusahaan Tahun 2022

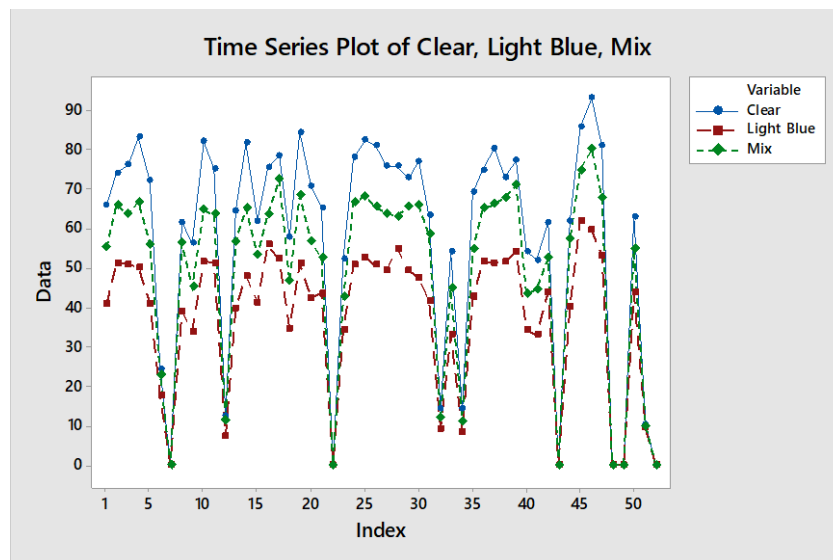
## 3.2 Pengolahan Data

Setelah data-data yang dibutuhkan terkumpul, selanjutnya data diolah dan dibahas pada bagian ini. Tahap pengolahan data terdiri dari peramalan permintaan, perhitungan nilai *safety stock* yang sesuai, dan pengembangan model matematika untuk optimasi persediaan bahan baku yang kemudian akan diterjemahkan ke dalam bahasa pemrograman. Pada akhir bagian, model akan dilakukan uji verifikasi dan validasi.

### 3.2.1 Peramalan Permintaan (*demand forecasting*)

Studi kasus pada industri daur ulang plastik yang dilakukan menerapkan sistem *Make-To-Stock* (MTS). Oleh karena itu, akurasi peramalan sangat penting untuk mencegah kelebihan persediaan (*overstock*) dan kehilangan kesempatan (*opportunity loss*) akibat *stockout*. Maka, salah satu pertimbangan manajemen persediaan perusahaan adalah bagaimana mengestimasi siklus fluktuasi permintaan. Terdapat berbagai macam metode peramalan, namun pada penelitian ini fokus pada pendekatan *time-series forecasting*, antara lain *moving average*, *simple/single exponential smoothing*, *double exponential smoothing* (*Holt's model*), dan *triple exponential smoothing* (*Winter's model*) yang mempertimbangkan parameter tren naik atau turun (*trend*), tingkat persediaan (*level*), dan musim (*seasonality*) serta *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan data historis

perusahaan seperti ditunjukkan oleh *time-series plot* permintaan bahan baku pada Gambar 3.1. Metode yang digunakan dalam peramalan permintaan bahan baku daur ulang plastik ditentukan dengan cara membandingkan akurasi dari metode-metode yang ada dan mengambil metode yang menghasilkan akurasi yang terbaik. Nilai akurasi yang digunakan terdiri dari *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Squared Deviation* (MSD), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Peramalan permintaan ini dilakukan untuk mendapatkan data permintaan hasil peramalan (*forecasted demand*) pada model matematika dan meramalkan 12 periode yang akan datang. *Demand forecasting* pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *Minitab* dan *Microsoft Excel*. Hasil perbandingan metode dapat dilihat pada Tabel 3.5.



Gambar 3.1 *Time-series Plot* Permintaan Bahan Baku

Tabel 3.5 Perbandingan Akurasi *Demand Forecasting*

No.	Metode peramalan	MAD	MSD	MAPE
1	<i>Moving Average m=2</i>	1,4	2,9	11
2	<i>Moving Average m=3</i>	1,3	2,6	10,4
3	<i>Moving Average m=4</i>	1,3	2,4	9,8
4	<i>Simple Exponential Smoothing</i>	1,2	2	9,1
5	<i>Holt's Model</i>	1,6	4,1	12,6
6	<i>Winter's Model</i>	1,1	1,9	8,9
7	ARIMA (1,1,0)	1,3	1,8	11

Berdasarkan tabel perbandingan di atas, di antara semua metode yang digunakan, metode *Winter's Model* menghasilkan nilai MAD, MSD, dan MAPE yang terendah secara berurutan, yaitu 1,1, 1,9, dan 8,9%. Hal ini berarti metode *Winter's Model* memiliki nilai akurasi yang tertinggi sehingga dipilih untuk digunakan dalam penelitian ini. Metode ini yang terbaik karena mempertimbangkan parameter *trend* dan *seasonality*. Data hasil peramalan permintaan, yaitu *Forecasted demand* untuk 12 periode ke depan dapat dilihat pada Lampiran 2.

### 3.2.2 Perhitungan Nilai *Safety Stock*

*Safety stock* atau persediaan pengaman merupakan jumlah persediaan bahan baku yang perlu disimpan untuk menjaga fluktuasi permintaan. Penentuan jumlah *safety stock* pada penelitian ini mengacu pada persamaan 2.2 oleh Waters (2003) sebagai berikut:

$$Safety\ Stock = Z \times \sigma_{demand} \times \sqrt{Lead\ Time}$$

$Z$  adalah angka standar deviasi dari rata-rata yang berhubungan dengan *service level* tertentu,  $\sigma_{demand}$  adalah standar deviasi dari *demand*, dan *lead time* bahan baku. Kebijakan perusahaan yang digunakan untuk menentukan probabilitas kekurangan persediaan (*shortage*) adalah sama dengan 5% atau 0,05 sehingga digunakan *service level* sebesar 95%. Berdasarkan tabel normal  $Z$ , probabilitas sebesar 0,05 ini memiliki nilai  $Z = 1.65$ . Rumus ini juga digunakan oleh penelitian Mohammadi & Shekarian (2017) yang sesuai untuk diterapkan oleh gudang daur ulang plastik dimana nilai *safety stock* didapatkan dengan mengalikan faktor pelayanan (*service level*) yang diinginkan dengan standar deviasi permintaan dan akar dari *lead time* dalam hal ini digunakan *lead time* maksimum. Perhitungan nilai *safety stock* untuk setiap bahan baku daur ulang dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Persediaan Pengaman Bahan Baku

No.	Nama Bahan Baku	Persediaan Pengaman (kg)
1	<i>Clear</i>	46321
2	<i>Light Blue</i>	30419
3	<i>Mix</i>	39251

### 3.2.3 Pengembangan Model Matematika

Tahap selanjutnya setelah mendapatkan nilai *safety stock* dan *forecasted demand* adalah pengembangan model matematika yang bertujuan untuk mendapatkan kuantitas

(Q) dan waktu pesan (Y) yang optimal dari bahan baku daur ulang plastik. Model matematika yang dikembangkan terdiri dari indeks, parameter, variabel keputusan (*decision variables*), fungsi tujuan (*objective function*), dan fungsi kendala (*constraints*). Pengembangan model matematika ini menggunakan jurnal referensi dari Mohammadi & Shekarian (2017) yang berhasil menyelesaikan permasalahan serupa untuk menurunkan biaya persediaan dengan menggunakan model matematika. Dalam penelitian ini, terdapat beberapa penyesuaian agar dapat menggambarkan kondisi asli dari perusahaan objek penelitian dalam hal ini adalah industri daur ulang plastik. Model matematika yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

a. Batasan

- 1) Periode perencanaan (*planning horizon*) diketahui, yaitu 1 periode = 1 minggu
- 2) Biaya di semua periode dianggap tetap dan tidak tergantung pada jumlah pemesanan
- 3) Semua demand harus terpenuhi, tidak diperbolehkan adanya *shortage*
- 4) Tiap bahan baku berasal dari pemasok-pemasok yang berbeda sehingga pemesanan terpisah

b. Indeks

- 1)  $T$  = banyak periode perencanaan
- 2)  $i$  = jenis bahan baku ( $i = 1, 2, 3$ )
- 3)  $t$  = periode waktu ( $t = 1, \dots, T$ )

c. Parameter

- 1)  $D_{it}$  = *forecasted demand* bahan baku  $i$  pada periode  $t$
- 2)  $o_i$  = *ordering cost* 1 kali pesan bahan baku  $i$
- 3)  $g_i$  = harga satuan bahan baku  $i$
- 4)  $h_i$  = *holding cost* setiap kg per hari bahan baku  $i$
- 5)  $l_i$  = *lead time* bahan baku  $i$
- 6)  $SS_{it}$  = *safety stock* bahan baku  $i$  pada periode  $t$
- 7)  $C_i$  = kapasitas gudang bahan baku  $i$

d. Variabel Keputusan

$Y_{it} = \{1,0\}$  – variabel biner menyatakan keputusan pesan

Keterangan:

1 = melakukan pemesanan  $i$  pada periode  $t$

2 = tidak melakukan pemesanan  $i$  pada periode  $t$

$X_{it}$  = level persediaan bahan baku  $i$  pada periode  $t$

$Q_{it}$  = jumlah bahan baku  $i$  yang dipesan pada periode  $t$

e. Fungsi Tujuan

Meminimalkan total biaya persediaan bahan baku

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^T o_i Y_{it} + \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^T h_i X_{it} \quad (3.1)$$

$\text{Min } Z = \text{ordering cost} + \text{holding cost}$

f. Fungsi Kendala

- 1) Memastikan total pemesanan bahan baku pada periode sebelumnya memenuhi *demand* dan mendefinisikan nilai *level* persediaan awal ( $X_{it}$ )

$$X_{it} = X_{i(t-1)} + Q_{i(t-1)} - D_{i(t-1)} \quad \forall i; \forall t \quad (3.2)$$

- 2) Memastikan persediaan awal tidak kurang dari jumlah *safety stock* yang telah ditentukan

$$X_{it} \geq SS_{it} \quad \forall i; \forall t \quad (3.3)$$

- 3) Mendefinisikan hubungan antara keputusan pesan ( $Y_{it}$ ) bergantung pada kuantitas pesan ( $Q_{it}$ ) dan sebaliknya. Apabila keputusan tidak pesan ( $Y_{it}$  bernilai 0) maka kuantitas  $Q_{it}$  juga 0, apabila pesanan dilakukan pada periode  $t$  ( $Y_{it}$  bernilai 1) maka kuantitas  $Q_{it}$  akan bernilai positif. Untuk memenuhi hubungan antara  $Y_{it}$  dan  $Q_{it}$ , diperlukan angka positif ( $M$ ) yang sangat besar

$$Q_{it} \leq MY_{it} \quad \forall i; \forall t \quad (3.4)$$

- 4) Memastikan *level* persediaan tidak lebih dari kapasitas gudang bahan baku

$$X_{it} \leq C_i \quad \forall i; \forall t \quad (3.5)$$

- 5) Mendefinisikan keputusan biner  $Y_{it}$  (*binary constraint*)

$$Y_{it} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad \forall i; \forall t \quad (3.6)$$

- 6) Mendefinisikan variabel keputusan adalah non-negatif

$$Q_{it} \geq 0 \quad \forall i; \forall t \quad (3.7)$$

$$Y_{it} \geq 0 \quad \forall i; \forall t \quad (3.8)$$

$$X_{it} \geq 0 \quad \forall i; \forall t \quad (3.9)$$

### 3.3 Verifikasi dan Validasi Model

#### 3.3.1 Verifikasi Model

Tahap verifikasi model pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Spyder* dan *Gurobi Optimizer*. Model matematika yang telah dikembangkan pada tahap sebelumnya dilakukan proses penerjemahan ke bahasa pemrograman *python* yang dapat dipahami oleh berbagai perangkat lunak yang mendukung bahasa pemrograman ini. Berikut merupakan penerjemahan dari setiap fungsi yang digunakan dalam penelitian ini:

- 1) Meminimalkan total biaya persediaan bahan baku

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^T o_i Y_{it} + \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^T h_i X_{it}$$

$\text{Min } Z = \text{ordering cost} + \text{holding cost}$

Dimodelkan menjadi:

```
# Fungsi Tujuan: Meminimalkan Total Biaya Persediaan
model_1.setObjective(gp.quicksum(o_1[t] * Y_1[t] + h_1[t] * X_1[t]
                                for t in periode_1), GRB.MINIMIZE)
model_2.setObjective(gp.quicksum(o_2[t] * Y_2[t] + h_2[t] * X_2[t]
                                for t in periode_2), GRB.MINIMIZE)
model_3.setObjective(gp.quicksum(o_3[t] * Y_3[t] + h_3[t] * X_3[t]
                                for t in periode_3), GRB.MINIMIZE)
```

Gambar 3.2 Fungsi Tujuan pada Model *Python*

- 2) Memastikan total pemesanan bahan baku pada periode sebelumnya memenuhi demand dan mendefinisikan nilai *level* persediaan awal ( $X_{it}$ )

$$X_{it} = X_{i(t-1)} + Q_{i(t-1)} - D_{i(t-1)} \quad \forall i; \forall t$$

Dimodelkan menjadi:

```
# Fungsi Kendala 1: Memastikan bahan baku tiap periode memenuhi demand
# dan mendefinisikan nilai level persediaan awal (X_it)
for t in range(1, t_1+1):
    model_1.addConstr((X_1[t-1] + Q_1[t-1] - D_1[t-1]) == X_1[t], "c11")
for t in range(1, t_2+1):
    model_2.addConstr((X_2[t-1] + Q_2[t-1] - D_2[t-1]) == X_2[t], "c21")
for t in range(1, t_3+1):
    model_3.addConstr((X_3[t-1] + Q_3[t-1] - D_3[t-1]) == X_3[t], "c31")
```

Gambar 3.3 Fungsi Kendala 1 pada Model *Python*

- a. Memastikan persediaan awal tidak kurang dari jumlah *safety stock* yang telah ditentukan

$$X_{it} \geq SS_{it} \quad \forall i; \forall t$$

Dimodelkan menjadi:

```
# Fungsi kendala 2: Memastikan persediaan tidak kurang dari safety stock
for t in range(1, t_1+1):
    model_1.addConstr(X_1[t] >= SS_1, "c12")
for t in range(1, t_2+1):
    model_2.addConstr(X_2[t] >= SS_2, "c22")
for t in range(1, t_3+1):
    model_3.addConstr(X_3[t] >= SS_3, "c32")
```

Gambar 3.4 Fungsi Kendala 2 pada Model *Python*

- 3) Mendefinisikan hubungan antara keputusan pesan ( $Y_{it}$ ) bergantung pada kuantitas pesan ( $Q_{it}$ ) dan sebaliknya. Apabila keputusan tidak pesan ( $Y_{it}$  bernilai 0) maka kuantitas  $Q_{it}$  juga 0, apabila pesanan dilakukan pada periode  $t$  ( $Y_{it}$  bernilai 1) maka kuantitas  $Q_{it}$  akan bernilai positif. Untuk memenuhi hubungan antara  $Y_{it}$  dan  $Q_{it}$ , diperlukan angka positif ( $M$ ) yang sangat besar

$$Q_{it} \leq MY_{it} \quad \forall i; \forall t$$

Dimodelkan menjadi:

```
# Fungsi Kendala 3: Mendefinisikan keputusan Y bergantung pada kuantitas Q
for t in periode_1:
    model_1.addConstr((Q_1[t] <= M_1[t]*Y_1[t]), "c13")
for t in periode_2:
    model_2.addConstr((Q_2[t] <= M_2[t]*Y_2[t]), "c23")
for t in periode_3:
    model_3.addConstr((Q_3[t] <= M_3[t]*Y_3[t]), "c33")
```

Gambar 3.5 Fungsi Kendala 3 pada Model *Python*

- 4) Memastikan *level* persediaan tidak lebih dari kapasitas gudang bahan baku

$$X_{it} \leq C_i \quad \forall i; \forall t$$

Dimodelkan menjadi:

```
# Fungsi Kendala 4: Memastikan persediaan tidak lebih dari kapasitas gudang
for t in periode_1:
    model_1.addConstr((X_1[t] <= C_1), "c14")
for t in periode_2:
    model_2.addConstr((X_2[t] <= C_2), "c24")
for t in periode_3:
    model_3.addConstr((X_3[t] <= C_3), "c34")
```

Gambar 3.6 Fungsi Kendala 4 pada Model *Python*

- 5) Mendefinisikan keputusan biner  $Y_{it}$  (*binary constraint*)

$$Y_{it} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad \forall i; \forall t$$

Dimodelkan menjadi:

```
# Fungsi Kendala 5: Mendefinisikan keputusan biner Y (pesan=1/tidak pesan=0)
Y_1 = model_1.addVars(t_1, name="c15", vtype=GRB.BINARY)
Y_2 = model_2.addVars(t_2, name="c25", vtype=GRB.BINARY)
Y_3 = model_3.addVars(t_3, name="c35", vtype=GRB.BINARY)
```

Gambar 3.7 Fungsi Kendala 5 pada Model *Python*

- 7) Mendefinisikan variabel keputusan adalah non-negatif

$$\begin{aligned} Q_{it} &\geq 0 & \forall i; \forall t \\ Y_{it} &\geq 0 & \forall i; \forall t \\ X_{it} &\geq 0 & \forall i; \forall t \end{aligned}$$

Dimodelkan menjadi:

```
# Fungsi Kendala 6: Mendefinisikan variabel keputusan adalah non-negatif
for t in periode_1:
    model_1.addConstr((Y_1[t] >= 0), "c16")
    model_1.addConstr((Q_1[t] >= 0), "c16")
    model_1.addConstr((X_1[t] >= 0), "c16")
for t in periode_2:
    model_2.addConstr((Y_2[t] >= 0), "c26")
    model_2.addConstr((Q_2[t] >= 0), "c26")
    model_2.addConstr((X_2[t] >= 0), "c26")
for t in periode_3:
    model_3.addConstr((Y_3[t] >= 0), "c36")
    model_3.addConstr((Q_3[t] >= 0), "c36")
    model_3.addConstr((X_3[t] >= 0), "c36")
```

Gambar 3.8 Fungsi Kendala 6 pada Model *Python*

Setelah model matematika selesai diterjemahkan ke model *python*, langkah selanjutnya adalah menjalankan model optimasi pada perangkat lunak yang digunakan. Model yang dikembangkan dapat dikatakan terverifikasi apabila saat dijalankan tidak terdapat *error* atau *debugging* sehingga mendapatkan output yang diinginkan, yaitu berupa variabel keputusan dan tujuan tercapai. Tampilan hasil dan keterangan model yang telah berhasil dijalankan dapat dilihat pada Gambar 3.9. Model pada penelitian ini dijalankan pada *Python 3.9.7* dengan bantuan solver *Gurobi Optimizer v10.0* dengan



spesifikasi perangkat *Intel (R) Core i5-10300H CPU @2.50 Ghz RAM 16 GB, Windows 10, sistem operasi 64-bit, x64-based processor.*

```
Gurobi Optimizer version 10.0.0 build v10.0.0rc2 (win64)
CPU model: Intel(R) Core(TM) i5-10300H CPU @ 2.50GHz, instruction set [SSE2|AVX|AVX2]
Thread count: 4 physical cores, 8 logical processors, using up to 8 threads

Optimize a model with 1098 rows, 471 columns and 1566 nonzeros
Model fingerprint: 0xaf0951af
Variable types: 315 continuous, 156 integer (156 binary)
Coefficient statistics:
  Matrix range      [1e+00, 1e+06]
  Objective range   [1e+01, 1e+05]
  Bounds range      [1e+00, 1e+00]
  RHS range         [1e+04, 1e+06]
Found heuristic solution: objective 4.002105e+07, 2.492695e+07, 3.281822e+07
Presolve removed 810 rows and 33 columns
Presolve time: 0.00s
Presolved: 288 rows, 438 columns, 723 nonzeros
Variable types: 288 continuous, 150 integer (150 binary)

Root relaxation 1: objective 2.006112e+08, 46 iterations, 0.00 seconds (0.00 work units)

  Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work
  Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time
  -----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----
    0     0 2.0061e+08    0 44 2.4518e+08 2.0061e+08 18.2% - 0s
H    0     0          2.054484e+08 2.0061e+08 2.35% - 0s

Root relaxation 2: objective 1.127925e+08, 46 iterations, 0.00 seconds (0.00 work units)

  Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work
  Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time
  -----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----
    0     0 1.1279e+08    0 44 1.3952e+08 1.1279e+08 19.2% - 0s
H    0     0          1.177184e+08 1.1279e+08 4.18% - 0s
    0     0 cutoff      0          1.1772e+08 1.1772e+08 0.00% - 0s

Root relaxation: objective 1.585538e+08, 46 iterations, 0.00 seconds (0.00 work units)

  Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work
  Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time
  -----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----
    0     0 1.5855e+08    0 44 1.9476e+08 1.5855e+08 18.6% - 0s
H    0     0          1.634321e+08 1.5855e+08 2.98% - 0s

Cutting planes: (model 1, 2, 3)
  Gomory: 0, 0, 1
  Cover: 0, 2, 0
  Implied bound: 8, 84, 20
  MIR: 0, 2, 0
  Flow cover: 0, 2, 2
  Flow path: 0, 3, 0

Explored 1 nodes (182 simplex iterations) in 0.09 seconds (0.00 work units)
Thread count was 8 (of 8 available processors)

Solution count 2: 2.054484e+08 2.45179e+08
Solution count 2: 1.17718e+08 1.39521e+08
Solution count 2: 1.63432e+08 1.9476e+08

Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 2.054484400000e+08, best bound 2.054484400000e+08, gap 0.0000%
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 1.177183500000e+08, best bound 1.177183500000e+08, gap 0.0000%
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 1.634321090000e+08, best bound 1.634321090000e+08, gap 0.0000%
```

Gambar 3.9 Python Gurobi Optimizer Solver Status

Dari gambar tersebut didapatkan pernyataan *Optimal Solution Found* yang memiliki arti bahwa hasil dari fungsi tujuan yang didapatkan merupakan solusi yang optimal. Selain itu, Gambar 3.9 menunjukkan bahwa tidak terdapat adanya kesalahan pada model sehingga dapat dikatakan model yang dikembangkan ini terverifikasi.

### 3.3.2 Validasi Model

Selain verifikasi, model juga perlu divalidasi untuk memastikan bahwa model yang telah dikembangkan dibuat sesuai dan dapat merepresentasikan keadaan yang

sebenarnya. Terdapat beberapa cara yang dilakukan untuk memvalidasi suatu model. Cara pertama adalah meninjau hasil model terhadap fungsi-fungsi batasan yang telah ditetapkan pada model. Hasil tinjauan model dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Validasi Model dengan Peninjauan Fungsi Kendala

No.	Fungsi Kendala	Hasil	Keterangan
1	Memastikan pemesanan bahan baku tiap periode memenuhi <i>demand</i>	Jumlah material yang dipesan berhasil memenuhi semua <i>demand</i>	Terpenuhi
2	Memastikan persediaan awal tidak kurang dari jumlah <i>safety stock</i> yang telah ditentukan	Nilai persediaan awal tiap periode selalu lebih besar atau sama dengan jumlah <i>safety stock</i>	Terpenuhi
3	Mendefinisikan hubungan antara keputusan pesan ( $Y_{it}$ ) bergantung pada kuantitas pesan ( $Q_{it}$ )	Terdapat sejumlah pemesanan yang totalnya sesuai dengan jumlah <i>demand</i>	Terpenuhi
4	Memastikan <i>level</i> persediaan tidak lebih dari kapasitas gudang bahan baku	Persediaan tiap periode selalu lebih kecil atau sama dengan kapasitas gudang bahan baku	Terpenuhi
5	Mendefinisikan keputusan biner $Y_{it}$ ( <i>binary constraint</i> )	Keputusan pesan selalu bernilai 1 (pesan) atau 0 (tidak pesan)	Terpenuhi
6	Mendefinisikan variabel keputusan adalah non-negatif	Tidak ditemukan variabel keputusan yang negatif atau lebih kecil dari nol	Terpenuhi

Cara kedua dalam validasi model adalah melakukan perhitungan secara manual dari data hasil penelitian. Perhitungan secara manual yang dilakukan untuk *holding cost* didapatkan dengan mengalikan biaya simpan setiap bahan baku ( $h_i$ ) dengan jumlah bahan baku yang tersimpan sebagai persediaan di awal periode ( $X_{it}$ ). Sedangkan perhitungan *ordering cost* dilakukan dengan mengalikan banyaknya keputusan pesan

( $Y_{it}$ ) yang bernilai 1 (melakukan pemesanan) dengan biaya satu kali pesan ( $o_i$ ). Hasil validasi dengan perhitungan manual terdapat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Validasi Model dengan Pemeriksaan Biaya Hasil

No.	Komponen Biaya	Biaya (Rp)
1	Holding Cost	469.486.899
2	Ordering Cost (138 kali pesan)	17.112.000
	Total biaya persediaan	486.598.899

Berdasarkan hasil perhitungan manual dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*, didapatkan bahwa total biaya persediaan yang dihitung secara manual sama dengan hasil dari model *python* yang terdapat pada Gambar 3.10.

```
Optimize a model with 1098 rows, 471 columns and 1566 nonzeros
Model fingerprint: 0x0d6b1df5, 0x9f51dd7f, 0x53907955
Variable types: 315 continuous, 156 integer (156 binary)
Explored 1 nodes (182 simplex iterations) in 0.09 seconds (0.00 work units)
Bahan Baku 1 (Clear):
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 2.054484400000e+08, best bound 2.054484400000e+08, gap 0.0000%
Bahan Baku 2 (Light Blue):
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 1.177183500000e+08, best bound 1.177183500000e+08, gap 0.0000%
Bahan Baku 3 (Mix):
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 1.634321090000e+08, best bound 1.634321090000e+08, gap 0.0000%
-----
Total biaya persediaan minimum bahan baku 1 (Clear): Rp. 205448440.0
-----
Total biaya persediaan minimum bahan baku 2 (Light Blue): Rp. 117718350.0
-----
Total biaya persediaan minimum bahan baku 3 (Mix): Rp. 163432109.0
-----
Total biaya persediaan minimum ketiga bahan baku: Rp. 486598899.0
```

Gambar 3.10 Nilai Objektif Hasil Model *Python*

Proses berikutnya dalam validasi model adalah menggunakan model yang telah dikembangkan dengan data lain yang disebut *dummy*. Penggunaan data lain ini untuk memastikan bahwa model dapat memberikan hasil yang sesuai apabila menggunakan data yang berbeda. Data *dummy* dalam penelitian ini menggunakan acuan dari jurnal penelitian Mohammadi & Tap (2012) seperti pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10.

Tabel 3.9 Data Validasi Biaya, *Lead Time*, dan *Safety Stock*

<i>Holding Cost</i> (\$)	<i>Ordering Cost</i> (\$)	<i>Lead Time</i> (Minggu)	<i>Safety Stock</i> (Unit)
1	1	2	6

Sumber: Mohammadi & Tap, 2012

Pada jurnal tersebut, digunakan data pada salah satu bahan baku manufaktur yang disebut komponen (*part*) 5. Tabel 3.9 menunjukkan beberapa parameter pada komponen ini berupa *ordering cost* dan *holding cost* sebesar \$1, *lead time* 2 minggu, dan *safety stock* 6 unit. Sedangkan Tabel 3.10 menunjukkan permintaan terhadap komponen pada 12 periode dalam satuan unit.

Tabel 3.10 Data Validasi Permintaan

Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demand	0	0	14	16	16	16	16	14	14	14	14	0

Sumber: Mohammadi & Tap, 2012

Setelah parameter disesuaikan dengan data lain dari jurnal, model dijalankan sama seperti sebelumnya, didapatkan hasil sebagai berikut:

```
Gurobi Optimizer version 10.0.0 build v10.0.0rc2 (win64)

CPU model: Intel(R) Core(TM) i5-10300H CPU @ 2.50GHz, instruction set [SSE2|AVX|AVX2]
Thread count: 4 physical cores, 8 logical processors, using up to 8 threads

Optimize a model with 170 rows, 73 columns and 242 nonzeros
Model fingerprint: 0x601bac1
Variable types: 25 continuous, 48 integer (24 binary)
Coefficient statistics:
  Matrix range      [1e+00, 3e+05]
  Objective range   [1e+00, 1e+00]
  Bounds range      [1e+00, 1e+00]
  RHS range         [6e+00, 1e+06]
Found heuristic solution: objective 174.0000000
Presolve removed 140 rows and 23 columns
Presolve time: 0.00s
Presolved: 30 rows, 50 columns, 79 nonzeros
Variable types: 0 continuous, 50 integer (21 binary)
Found heuristic solution: objective 171.0000000

Root relaxation: objective 1.418790e+02, 14 iterations, 0.00 seconds (0.00 work units)

   Nodes      |      Current Node      |      Objective Bounds      |      Work
  Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent    BestBd    Gap   | It/Node Time
-----
    0     0   141.87903   0   8   171.00000   141.87903   17.0%   -    0s
H    0     0           148.0000000   141.87903   4.14%   -    0s
    0     0   141.87903   0   8   148.00000   141.87903   4.14%   -    0s

Explored 1 nodes (14 simplex iterations) in 0.02 seconds (0.00 work units)
Thread count was 8 (of 8 available processors)

Solution count 3: 148 171 174

Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 1.480000000000e+02, best bound 1.480000000000e+02, gap 0.0000%
```

Gambar 3.11 Nilai Objektif Hasil Data Validasi Model *Python*

Dengan menggunakan model *python*, hasil total biaya persediaan minimum yang didapatkan adalah \$148 seperti pada Gambar 3.11. Untuk membuktikan kebenarannya, dilakukan peninjauan yang sama seperti cara validasi kedua, yaitu melakukan perhitungan manual dengan perbedaan hanya pada data yang digunakan. Hasil perhitungan manual untuk validasi model dengan penggunaan data validasi dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Perhitungan Model dengan Penggunaan Data Validasi

Komponen	Periode	Demand	Kuantitas Pesanan	Periode Pesanan	Inventory Awal	Total Biaya
5	1	0			6	148
	2	0			6	
	3	14	14	1	6	
	4	16	16	2	6	
	5	16	16	3	6	
	6	16	16	4	6	
	7	16	16	5	6	
	8	14	14	6	6	
	9	14	14	7	6	
	10	14	14	8	6	
	11	14	14	9	6	
	12	0			6	
		134	<b>134</b>	<b>10</b>	<b>66</b>	<b>148</b>

Hasil yang didapatkan dari perhitungan secara manual sama dengan hasil model *python*, yaitu sebesar \$148 yang terdiri dari biaya pesan sebesar \$10 dan biaya simpan sebesar \$138. Melalui ketiga proses validasi tersebut, model yang telah dikembangkan dapat dikatakan tervalidasi.

### 3.4 Hasil Pengolahan Data

Pada pengembangan model yang terverifikasi dan tervalidasi, maka model dapat dijalankan untuk mendapatkan hasil pengolahan data, yaitu solusi terkait dengan kuantitas pesan (Q) dan waktu pesan (Y) bahan baku yang paling optimal dimana menghasilkan biaya minimum sehingga tujuan penelitian untuk meminimalkan total biaya persediaan gudang bahan baku dapat tercapai. Waktu pemesanan dan jumlah pemesanan diperoleh dari solusi model oleh *python* optimasi *lot-sizing* bahan baku untuk menunjukkan berapa banyak bahan baku yang harus dipesan per periode. Model

menghasilkan total biaya persediaan setiap bahan baku dan rencana pemesanan (kuantitas dan waktu) yang optimal seperti yang dirangkum pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Hasil Akhir Kuantitas Pesan dan Biaya Persediaan Periode Historis

No.	Nama Bahan Baku	Satuan	Permintaan	Kuantitas Pemesanan	Total Biaya Persediaan (Rp)
1	<i>Clear</i>	kg	2.999.572	2.999.572	205.448.440
2	<i>Light Blue</i>	kg	1.953.108	1.953.108	117.718.350
3	<i>Mix</i>	kg	2.542.053	2.542.053	163.432.109
Total			7.494.733	7.494.733	486.598.899

Berdasarkan hasil model tersebut, jumlah yang dibutuhkan setiap bahan baku per periode sesuai *demand*, dapat diketahui bahwa semua permintaan bahan baku terpenuhi dengan biaya yang minimal. Semua jumlah bahan baku yang diperlukan tidak dapat dipesan di awal periode rendah karena ini mempengaruhi biaya penyimpanan, dan dengan demikian total biaya akan meningkat secara signifikan. Oleh karena itu, keputusan harus dibuat tentang menemukan solusi terbaik dari pengorbanan atau pertukaran (*trade-off*) antara biaya pemesanan dan biaya penyimpanan. Model *python* diperintahkan untuk meminimalkan total biaya dengan membuat keputusan mengenai perencanaan pemesanan bahan baku dalam waktu yang singkat dan hasil yang akurat dibandingkan perhitungan manual karena kompleksitas perhitungan diselesaikan oleh model komputasi hingga mendapatkan solusi yang optimal.

Kemudian setelah mendapatkan hasil model pada data historis, model juga dijalankan pada data *forecasted demand* untuk 12 periode ke depan yang telah diramalkan dengan parameter yang sama. Letak perbedaan hanya pada data permintaan yang digunakan merupakan hasil peramalan. Rangkuman hasil model pada *forecasted demand* terdapat pada Tabel 3.13. Hasil pengolahan data terhadap data historis dan data *forecast* secara lengkap terdapat pada Lampiran 3. Kuantitas pesan di setiap periode mengungkapkan jumlah total dari setiap bahan baku yang harus dipesan per periode. Pihak yang bertanggung jawab dalam pemesanan harus memastikan bahwa dalam periode minggu tersebut harus diupayakan memesan sebanyak hasil dari model dalam rentang waktu 1 minggu ke pemasok-pemasok yang sedang memiliki ketersediaan

bahan baku PET *clear*, *light blue*, dan *mix* serta melakukan pemesanan sebanyak berapa kali pada setiap periode juga didapatkan.

Tabel 3.13 Hasil Akhir Kuantitas Pesan dan Biaya Persediaan Periode *Forecast*

No.	Nama Bahan Baku	Satuan	Permintaan	Kuantitas Pemesanan	Total Biaya Persediaan (Rp)
1	<i>Clear</i>	kg	884.833	884.833	44.288.604
2	<i>Light Blue</i>	kg	654.554	654.554	24.910.630
3	<i>Mix</i>	kg	773.940	773.940	34.733.597
Total			2.313.327	2.313.327	103.932.831

Berdasarkan tabel di atas, maka total biaya persediaan untuk periode peramalan dapat diketahui dan selanjutnya digunakan sebagai acuan rekomendasi perencanaan bahan baku di masa yang akan datang bagi gudang perusahaan. Penggunaan model ini dapat menjadi salah satu alat perencanaan dan penjadwalan bahan baku dimana hasilnya berhubungan dengan Jadwal Produksi Induk (*Master Production Schedule*) perusahaan yang mengatur kapan dan berapa banyak bahan baku harus dipesan agar proses produksi lancar dan semua permintaan terpenuhi serta pada akhirnya mencapai kepuasan pelanggan yang baik, semua dilakukan dengan biaya yang minimum. Dengan hasil ini, maka proses pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini telah selesai dan dapat dilanjutkan ke tahap analisis hasil.

## **BAB 4**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas lebih lanjut hasil pengolahan data dengan melakukan beberapa analisis yang terdiri dari analisis hasil, perbandingan, dan sensitivitas. Analisis hasil berupa kuantitas pemesanan dan periode pemesanan bahan baku serta total biaya persediaan. Analisis perbandingan ditinjau dari total biaya persediaan dan nilai ITO gudang bahan baku. Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah nilai pada parameter harga dan permintaan bahan baku.

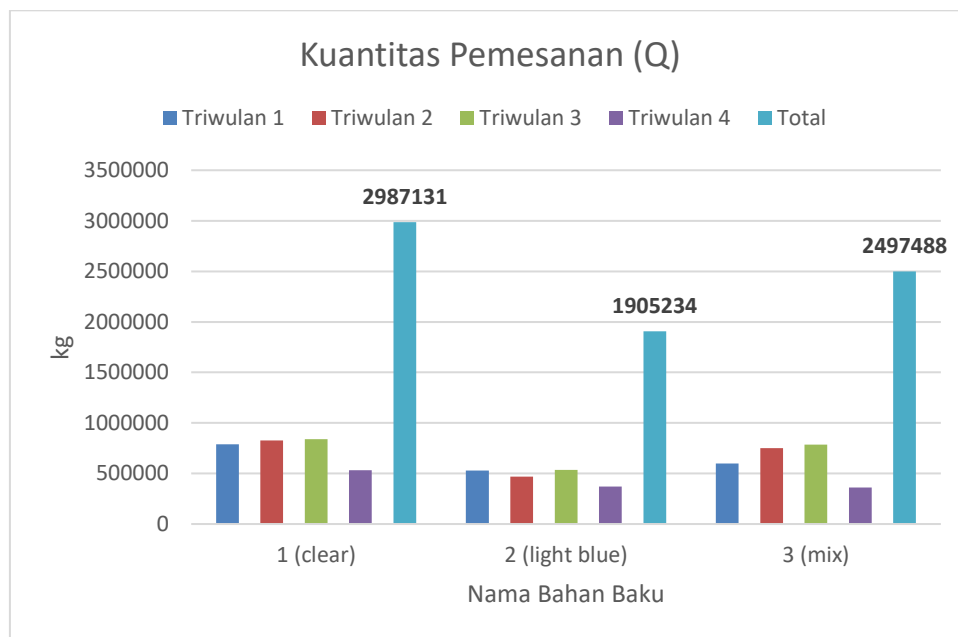
#### **4.1 Analisis Hasil**

##### **4.1.1 Analisis Kuantitas Pemesanan (Q)**

Berdasarkan output model, dapat diketahui bahwa total permintaan dan kuantitas pemesanan bahan baku memiliki jumlah yang sama ditambah dengan *safety stock*. Hal ini menunjukkan bahwa tidak akan adanya pembelian yang lebih besar dari jumlah kebutuhan bahan baku sehingga dapat menekan jumlah kuantitas bahan baku yang disimpan dan total biaya penyimpanan yang dikeluarkan. Angka yang dihasilkan sangat akurat dikarenakan jumlah permintaan yang digunakan pada penelitian ini telah diketahui sebelumnya, yaitu data permintaan historis 52 periode dari Januari sampai Desember 2022. Namun dalam kondisi aktual, jumlah permintaan tidak dapat diketahui secara pasti. Oleh sebab itu, penelitian juga melakukan pengolahan data menggunakan *forecasted demand* 12 periode ke depan dengan pendekatan metode *forecasting* terbaik berdasarkan nilai akurasi. Dengan penelitian ini, maka dapat meningkatkan akurasi dari peramalan permintaan bahan baku ditambah dengan penerapan persediaan pengaman untuk memastikan kemungkinan yang sangat kecil pada kejadian kekurangan persediaan. Penerapan metode peramalan dan persediaan pengaman ini membuat model optimasi menjadi lebih kuat dan menghasilkan keputusan yang lebih tepat dalam hal ini kuantitas pemesanan. Kuantitas pemesanan menunjukkan berapa banyak bahan baku yang harus dipesan tiap periode dimana dapat dipenuhi dengan beberapa kali pemesanan yang fleksibel disesuaikan dengan ketersediaan pemasok dan keadaan perusahaan di hari yang sama maupun berbeda dalam jumlah hari pada rentang periode karena bahan baku dapat sampai ke gudang dalam waktu satu sampai tiga hari



sedangkan hasil model dibuat untuk mendapatkan keputusan pesan dalam satu minggu sebagai periode. Dalam tiap satu minggu tersebut, maka gudang harus berusaha memenuhi kuantitas pemesanan yang dihasilkan model jika ingin mendapatkan hasil yang optimal, yaitu dalam hal ini adalah total biaya persediaan yang minimum yang didapatkan dari *ordering cost* dan *holding cost*. Hasil model dari total kuantitas pesan divisualisasikan seperti pada Gambar 4.1 untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas.

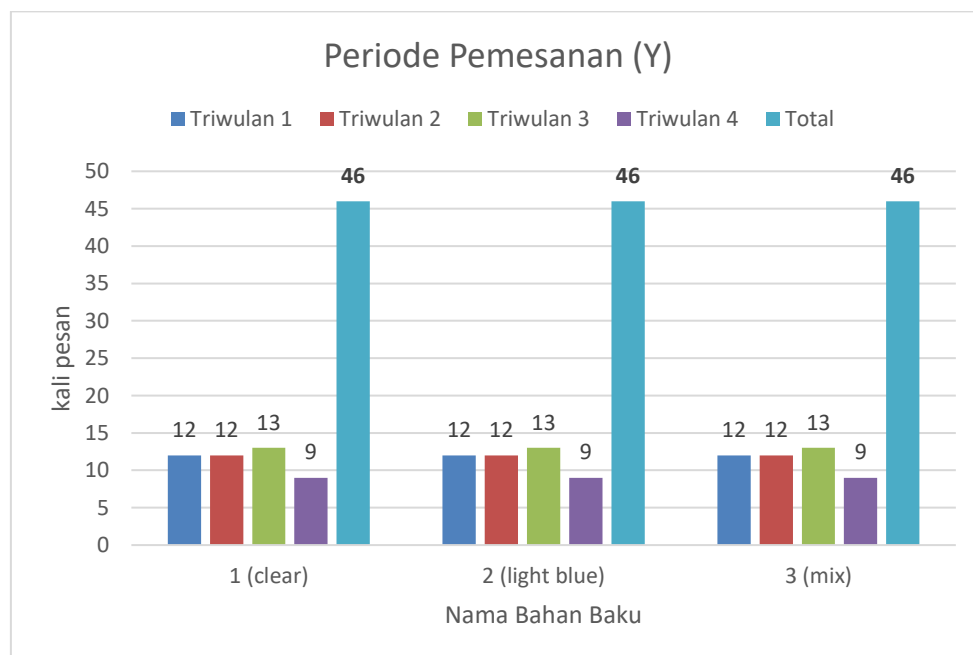


Gambar 4.1 Kuantitas Pemesanan (Q) Bahan Baku Tahun 2022

Pada Gambar 4.1, dapat diketahui bahwa total kuantitas pemesanan (Q) pada tahun 2022 adalah 7.494.333 kg dimana yang terbesar terdapat pada bahan baku botol PET *clear* dengan Q sebanyak 2.987.131 kg diikuti oleh bahan baku PET *mix* dengan Q sebanyak 2.497.488 kg, sedangkan Q yang terkecil adalah bahan baku botol PET *light blue* sebanyak 1.905.234 kg. Begitu juga demikian pada hasil pengolahan data *forecasted*. Secara triwulan, kuantitas pemesanan terbesar terdapat pada triwulan 3 dan terendah pada triwulan 4. Hal ini menunjukkan bahwa bahan baku *clear*, *mix*, dan *light blue* memiliki kuantitas pemesanan dan tingkat permintaan yang tertinggi secara berurutan. Kuantitas pemesanan ini dipengaruhi oleh jumlah permintaan, *safety stock*, dan biaya yang perlu dikeluarkan untuk menyimpan dan memesan bahan baku tersebut.

#### 4.1.2 Analisis Periode Pemesanan (Y)

Model yang dirancang pada penelitian ini memiliki tujuan untuk memperhitungkan jadwal dan jumlah pemesanan yang optimal sehingga material datang di waktu yang tepat dan tidak terjadi penumpukan di gudang bahan baku. Untuk mencapai hal tersebut, model optimasi pada penelitian ini memiliki variabel keputusan berupa periode pemesanan dimana merupakan jadwal kapan bahan baku harus dipesan. Indeks  $t$  menggambarkan waktu periode tiap variabel dalam model matematika. Pengolahan model menghasilkan frekuensi pemesanan yang perlu dilakukan selama satu tahun dan dapat digunakan untuk periode berapapun yang ingin dimasukkan ke dalam model sesuai data periode perencanaan yang dibutuhkan. Hasil model dari total kuantitas pesan divisualisasikan seperti pada Gambar 4.2 untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas.



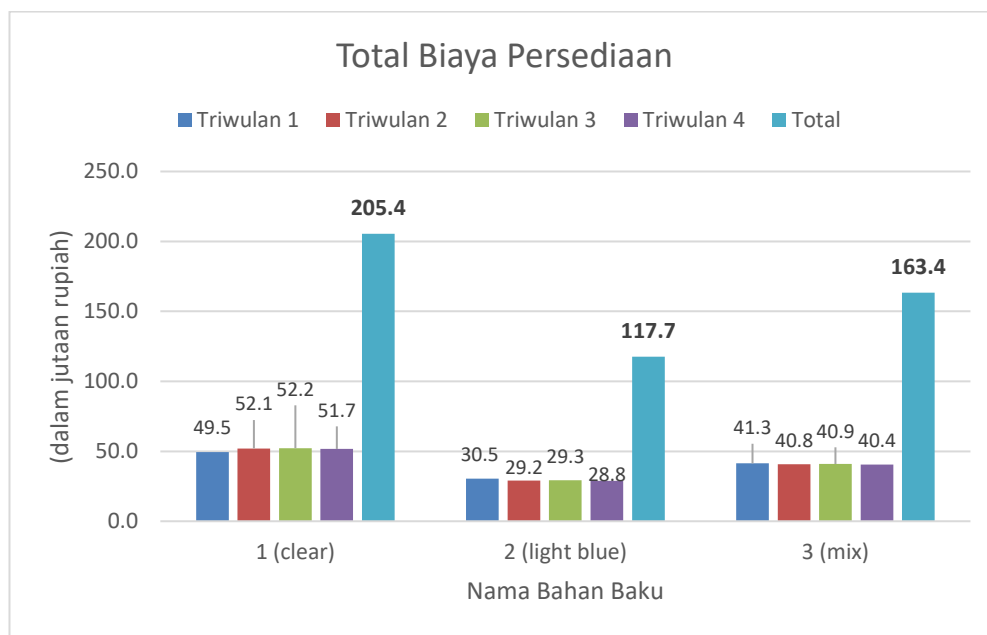
Gambar 4.2 Periode Pemesanan (Y) Bahan Baku Tahun 2022

Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa perusahaan harus melakukan pemesanan sebanyak total 138 kali untuk tiap jenis bahan baku dengan masing-masing 46 kali pemesanan yang dibagi ke dalam periode-periode mingguan dengan persebaran pemesanan berdasarkan pola permintaan. Pemesanan secara triwulan bervariasi dengan frekuensi pemesanan terbanyak terdapat pada triwulan 3 sebanyak 13 kali pemesanan dan frekuensi pemesanan terendah terdapat pada triwulan 4. Periode pemesanan ini

dipengaruhi oleh *lead time* dan permintaan bahan baku. Periode pemesanan secara detail per periode dapat dilihat pada Lampiran 3.

#### 4.1.3 Analisis Total Biaya Persediaan

Total biaya persediaan merupakan fungsi tujuan dari model optimasi persediaan bahan baku yang didapatkan dari komponen biaya simpan dan biaya pesan sehingga meminimalkan total biaya persediaan secara keseluruhan yang harus dikeluarkan oleh perusahaan dalam hal ini adalah gudang bahan baku. Visualisasi data total biaya persediaan hasil model dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Total Biaya Persediaan Bahan Baku

Total biaya persediaan yang paling besar ditemukan pada bahan baku botol PET *clear* Rp205.448.440 diikuti oleh bahan baku botol PET *mix* sebesar Rp163.432.109 dan biaya terendah pada bahan baku PET *light blue* sebesar Rp117.718.350. Bahan baku *clear* memiliki harga beli dan biaya simpan yang paling besar. Total biaya persediaan ini didominasi oleh komponen biaya simpan.

## 4.2 Analisis Perbandingan Sebelum dan Sesudah

### 4.2.1 Perbandingan Biaya

Analisis perbandingan ini dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan kondisi aktual yang ditemukan pada data historis perusahaan. Biaya persediaan merupakan salah satu indikator utama yang dipertimbangkan dalam melakukan

manajemen persediaan. Total biaya persediaan yang dikeluarkan sebelum penerapan model secara historis adalah sebesar Rp654.648.099 dimana biaya ini lebih tinggi daripada total biaya setelah penerapan model, yaitu sebesar Rp486.598.899. Dengan model optimasi, terjadi pengurangan atau penghematan total biaya persediaan sebesar Rp168.049.200 atau sekitar 26%. Perbandingan biaya dirangkum pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Total Biaya Persediaan Kondisi Aktual dan Hasil Model

Komponen Biaya	Biaya Aktual (dalam jutaan rupiah)			Biaya Model (dalam jutaan rupiah)		
	Clear	Light Blue	Mix	Clear	Light Blue	Mix
Biaya Simpan	201,5	161,4	223,7	199,7	112,0	157,7
Biaya Pesan	22,3	22,8	22,8	5,7	5,7	5,7
Biaya Persediaan	223,8	184,2	246,5	205,4	117,7	163,4
Total	654,6			486,5		

Dari tabel di atas, ditemukan bahwa terdapat penurunan pada biaya simpan maupun biaya pesan pada setiap bahan baku daur ulang plastik. Biaya penyimpanan berkurang karena model membuat persediaan tepat jumlah dan tepat waktu sehingga tidak mengalami penyimpanan berlebih atau penumpukan. Kondisi aktual dengan perencanaan sebelumnya sering mengalami kelebihan bahan baku yang menyebabkan biaya simpan yang sangat tinggi. Selain itu, biaya pesan juga tinggi karena penjadwalan pemesanan bahan baku yang belum efektif dan efisien. Dengan adanya *safety stock*, gudang memiliki persediaan tetap yang memastikan agar tidak akan terjadi kekurangan persediaan yang bisa menimbulkan kerugian yang lebih besar terutama dalam hal biaya. Oleh karena itu, perhitungan nilai *safety stock* harus dipertimbangkan dengan matang dan peramalan dilakukan seakurat mungkin. Biaya simpan berkurang sebesar 20%, sedangkan biaya pesan berkurang sebesar 75% dari kondisi aktual. Hal ini menunjukkan model mampu mengeliminasi jumlah pemesanan yang kurang efisien sehingga membuat penjadwalan bahan baku yang lebih baik serta mengurangi sejumlah penumpukan bahan baku berlebih pada gudang. Ditemukan bahwa pengurangan biaya terjadi pada kedua komponen biaya simpan maupun biaya pesan, namun pengurangan terbesar pada bahan baku 2 dan 3. Sedangkan, pengurangan terendah pada bahan baku 1. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat penumpukan bahan baku 2 dan 3 yang lebih

besar daripada bahan baku 1 pada kondisi aktual. Penghematan secara keseluruhan yang didapatkan dari biaya persediaan ini menunjukkan bahwa tujuan dari penelitian ini berhasil tercapai, yaitu mendapatkan model matematis untuk meminimalkan biaya bahan baku pada industri daur ulang plastik dan mendapatkan kuantitas (Q) dan waktu pemesanan (Y) bahan baku pada industri daur ulang plastik.

#### 4.2.2 Perbandingan Nilai ITO

Selain biaya, indikator manajemen persediaan gudang yang baik adalah nilai *inventory turnover* (ITO). Oleh karena itu, dilakukan analisis untuk mengetahui pengaruh dari penerapan model terhadap nilai ITO. Perbandingan nilai ITO pada kondisi aktual sebelum penerapan model dan sesudah penerapan model terdapat pada Tabel 4.2. Nilai ITO dihitung berdasarkan persamaan 2.1. Perhitungan ITO dilakukan dengan membagi jumlah penggunaan atau total penjualan yang telah diketahui sebelumnya dari data historis dengan rata-rata saldo penyimpanan bahan baku di awal dan akhir periode penelitian. Dikarenakan total penjualan bahan baku yang sama sebelum dan sesudah maka faktor yang mempengaruhi hanya saldo bahan baku yang tersimpan.

Tabel 4.2 Perbandingan Nilai ITO Kondisi Aktual dan Hasil Model

Kondisi Hasil	Saldo Awal (dalam jutaan rupiah)	Saldo Akhir (dalam jutaan rupiah)	Rata-rata Saldo (dalam jutaan rupiah)	Total Penjualan (dalam jutaan rupiah)	Nilai ITO
	A	B	$(A+B)/2$	C	$C/(A+B)/2$
Aktual	351.288	359.060	355.174	60.668	0,17
Model	43.066	45.491	44.279	60.668	1,37

Nilai ITO gudang bahan baku setelah penerapan model secara historis adalah sebesar 1,37 dimana nilai ini lebih tinggi daripada nilai ITO sebelum penerapan model, yaitu sebesar 0,17. Peningkatan nilai ITO ini menunjukkan bahwa model pada penelitian ini dapat menyelesaikan masalah perputaran persediaan bahan baku pada gudang. Peningkatan ini dapat terjadi dikarenakan jumlah bahan baku yang disimpan akurat sesuai kebutuhan.

### 4.3 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui akibat dari perubahan beberapa parameter tertentu terhadap hasil akhir perhitungan penelitian dalam hal ini adalah total biaya persediaan. Parameter yang akan diubah dalam penelitian ini adalah parameter harga beli bahan baku dan permintaan bahan baku.

#### 4.3.1 Perubahan Parameter Harga Beli Bahan Baku

Perubahan nilai parameter harga beli didasarkan pada skenario situasi harga beli bahan baku pada kondisi aktual yang dapat berubah secara fluktuatif dipengaruhi berbagai faktor seperti ketersediaan bahan baku pada pemasok atau musim pengumpulan sampah botol PET. Fluktuasi harga beli naik atau turun ditentukan oleh pemasok sebagai penentu harga sumber bahan baku bagi gudang dimana pemasok menentukan harga berdasarkan dinamika situasi dan kondisi aktual pada tiap periode tertentu. Nilai harga beli bahan baku dari tiga jenis bahan baku yang dipilih adalah kenaikan harga sebesar 5%, 10%, dan 15% serta penurunan harga sebesar 5%, 10%, dan 15%. Hal ini berdasarkan pada hasil wawancara pihak objek penelitian tentang besar kenaikan dan penurunan harga yang sering terjadi dalam kondisi aktual. Nilai akibat perubahan parameter harga beli bahan baku dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perubahan Parameter Harga Bahan Baku

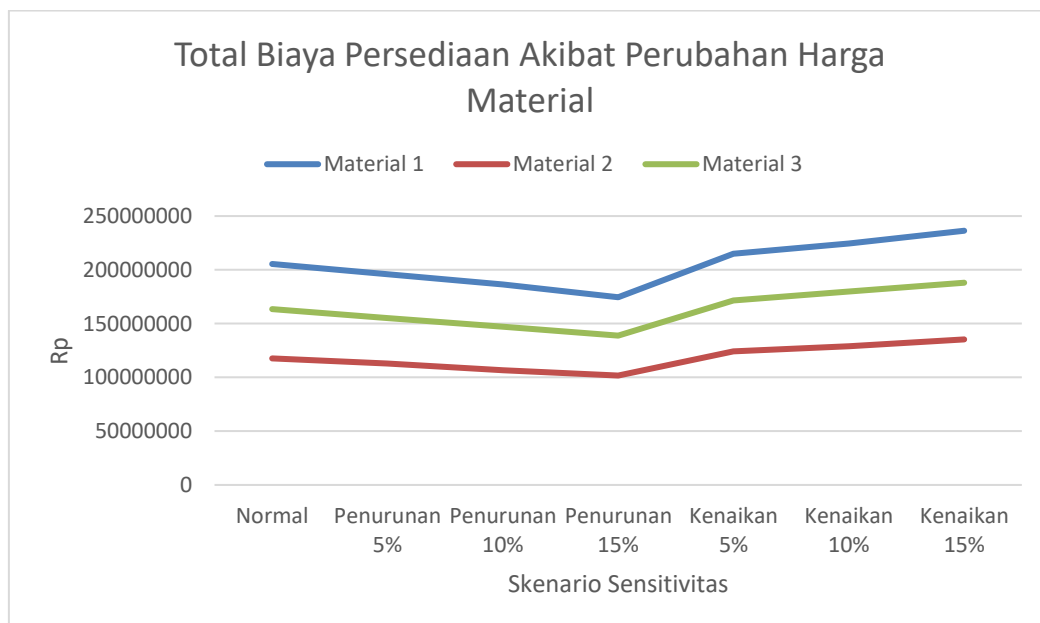
Keterangan Skenario	Bahan Baku		
	Clear (Rp/kg)	Light Blue (Rp/kg)	Mix (Rp/kg)
Harga Beli Awal	8.000	7.000	7.300
Penurunan 5%	7.600	6.650	6.935
Penurunan 10%	7.200	6.300	6.570
Penurunan 15%	6.800	5.950	6.205
Kenaikan 5%	8.400	7.350	7.665
Kenaikan 10%	8.800	7.700	8.030
Kenaikan 15%	9.200	8.050	8.395

Berdasarkan skenario penurunan dan kenaikan harga tersebut, dilakukan perhitungan kembali terhadap total biaya persediaan minimum masing-masing bahan baku dengan model optimasi. Hasil model berupa total biaya persediaan pada tiap skenario dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pengaruh Perubahan Parameter Harga Terhadap Biaya Persediaan

Keterangan Skenario	Bahan Baku		
	Clear (Rp)	Light Blue (Rp)	Mix (Rp)
Biaya Persediaan Awal	205.448.440	117.718.350	163.432.109
Penurunan 5%	195.936.800	112.917.735	155.238.441
Penurunan 10%	186.425.160	106.516.915	147.044.773
Penurunan 15%	174.535.610	101.716.300	138.851.105
Kenaikan 5%	214.960.080	124.119.170	171.625.777
Kenaikan 10%	224.471.720	128.919.785	179.819.445
Kenaikan 15%	236.361.270	135.320.605	188.013.113

Dapat diketahui pada tabel di atas bahwa setiap bahan baku memiliki pola perubahan total biaya persediaan sesuai dengan kenaikan dan penurunan parameter harga beli bahan baku. Hal tersebut membuktikan bahwa harga beli bahan baku berbanding lurus dengan total biaya persediaan seperti yang ditunjukkan visualisasi hasil pada Gambar 4.4. Semakin murah harga bahan baku, maka total biaya persediaan akan semakin menurun, dan begitu juga sebaliknya.



Gambar 4.4 Perubahan Total Biaya Persediaan Akibat Perubahan Harga

#### 4.3.2 Perubahan Parameter Permintaan

Perubahan parameter permintaan bahan baku didasarkan pada skenario tren atau kecenderungan kenaikan dan penurunan permintaan akibat berbagai faktor seperti

regulasi pemerintah yang memperkuat kebutuhan penggunaan material daur ulang plastik atau munculnya kompetitor baru yang menurunkan permintaan pada perusahaan. Skenario yang akan dilakukan uji analisis sensitivitas adalah kenaikan dan penurunan permintaan sebesar 5%, 10%, dan 15% dikarenakan secara statistik, *confidence level* yang dapat diterima berada pada tingkat 85% - 95% (Xiao & Lu, 2017). Nilai akibat perubahan parameter permintaan bahan baku dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perubahan Parameter Permintaan Bahan Baku

Keterangan Skenario	Bahan Baku		
	Clear (kg)	Light Blue (kg)	Mix (kg)
Permintaan Awal (Rp)	2.999.572	1.953.108	2.542.053
Penurunan 5% (Rp)	2.849.593	1.855.453	2.414.950
Penurunan 10% (Rp)	2.699.615	1.757.797	2.287.848
Penurunan 15% (Rp)	2.549.636	1.660.142	2.160.745
Kenaikan 5% (Rp)	3.149.551	2.050.763	2.669.156
Kenaikan 10% (Rp)	3.299.529	2.148.419	2.796.258
Kenaikan 15% (Rp)	3.449.508	2.246.074	2.923.361

Berdasarkan skenario penurunan dan kenaikan permintaan tersebut, dilakukan perhitungan kembali terhadap total biaya persediaan minimum masing-masing bahan baku dengan model optimasi. Hasil model berupa total biaya persediaan pada tiap skenario dapat dilihat pada Tabel 4.6.

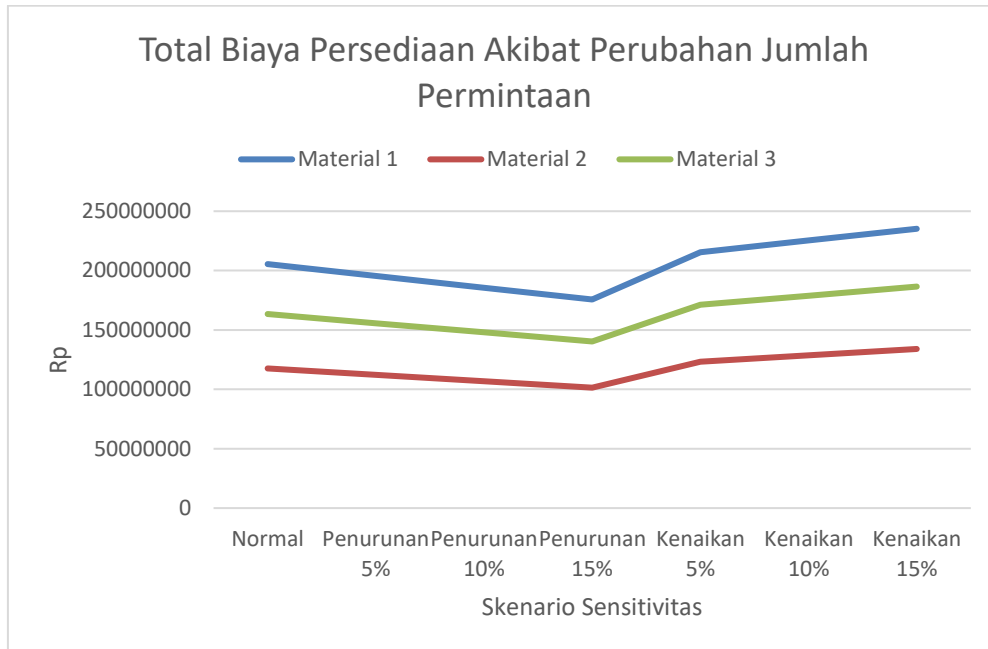
Tabel 4.6 Pengaruh Perubahan Parameter Permintaan Terhadap Biaya Persediaan

Keterangan Skenario	Bahan Baku		
	Clear (Rp)	Light Blue (Rp)	Mix (Rp)
Biaya Persediaan Awal	205.448.440	117.718.350	163.432.109
Penurunan 5%	195.526.696	112.288.380	155.727.335
Penurunan 10%	185.604.952	106.861.980	148.018.634
Penurunan 15%	175.681.536	101.430.386	140.312.924
Kenaikan 5%	215.369.126	123.149.884	171.141.039
Kenaikan 10%	225.291.024	128.579.758	178.848.068
Kenaikan 15%	235.212.921	134.009.633	186.555.097

Dapat diketahui pada tabel di atas bahwa setiap bahan baku juga memiliki pola perubahan total biaya persediaan sesuai dengan kenaikan dan penurunan parameter



permintaan bahan baku. Hal tersebut membuktikan bahwa jumlah permintaan bahan baku juga berbanding lurus dengan total biaya persediaan seperti yang ditunjukkan visualisasi hasil pada Gambar 4.5. Semakin banyak permintaan bahan baku, maka total biaya persediaan akan semakin meningkat, dan begitu juga sebaliknya.



Gambar 4.5 Perubahan Total Biaya Persediaan Akibat Perubahan Permintaan

Jumlah permintaan bahan baku menentukan besar dan kecilnya berapa banyak kuantitas bahan baku yang perlu dipesan dan juga simpan sehingga mempengaruhi biaya pesan dan biaya simpan. Oleh karena itu, mengurangi ketidakpastian jumlah permintaan sangat penting untuk dilakukan seperti meningkatkan akurasi peramalan permintaan dan menentukan metode-metode terbaik yang sesuai dengan perusahaan untuk peningkatan manajemen persediaan dalam hal ini gudang bahan baku industri daur ulang plastik.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini membahas rangkuman dari hasil penelitian yang telah dilakukan berupa kesimpulan untuk menjawab tujuan penelitian yang telah ditetapkan di awal serta saran untuk penelitian selanjutnya maupun perusahaan objek penelitian.

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan dan pengolahan data serta analisis dan pembahasan terkait optimasi total biaya persediaan bahan baku daur ulang plastik, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil, yaitu:

1. Pengembangan model hasil metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dapat meminimalkan total biaya persediaan sebesar 26% atau setara dengan Rp168.049.200 dari biaya awal persediaan sebesar Rp654.648.099 menjadi Rp486.598.899. Penggunaan metode MILP ini juga dapat meningkatkan nilai inventory turnover perusahaan sebesar 1,20 dari 0,17 menjadi 1,37.
2. Kuantitas pesan (Q) dan waktu pesan (Y) yang dihasilkan model menunjukkan nilai optimal sebesar 7.494.333 kg dari total tiga jenis bahan baku daur ulang plastik yang dipenuhi dengan melakukan pemesanan sebanyak 138 kali pada periode sesuai dengan masing-masing waktu perencanaan dan penjadwalan bahan baku yang telah ditemukan dari model dimana keputusan pemesanan ini dipengaruhi oleh faktor biaya simpan, biaya pesan, jumlah permintaan, harga bahan baku, jumlah persediaan pengaman, dan kapasitas gudang dalam hal ini sebagai parameter dalam model matematika. Dengan melakukan keputusan sesuai dengan hasil model, maka akan meminimalkan total biaya persediaan gudang bahan baku pada industri daur ulang plastik.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan peninjauan dari berbagai aspek dalam penelitian, terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan untuk perusahaan dan penelitian selanjutnya:

1. Penerapan model optimasi persediaan dengan MILP dapat digunakan oleh perusahaan sebagai salah satu rekomendasi metode manajemen persediaan untuk mendapatkan nilai optimal dari segi biaya persediaan dan memperbaiki perencanaan dan penjadwalan bahan baku dengan penyesuaian

nilai parameter yang fleksibel dan implementasi keputusan pemesanan mengikuti atau setidaknya tidak jauh dari hasil model sebagai acuan untuk mendapatkan nilai biaya minimum serta melakukan peningkatan berkelanjutan terhadap akurasi dan keefektifan metode.

2. Peningkatan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan penggunaan jenis model yang berbeda seperti model probabilistik dan penerapan metode lain dalam peramalan permintaan, perhitungan persediaan pengaman, dan pemrograman model optimasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S. S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-Sheekh, M., Abdelkarim, E. A., Zhu, D., & Sun, J. (2021). *Degradation of conventional plastic wastes in the environment: A review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. Science of the Total Environment*, 771, 144719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144719>
- Arnold, T., Chapman, S. N., & Clive, L. M. (2012). *Introduction to materials management* (7th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Atabay, D. (2018). *Comparison of Optimization Methods for Model Predictive Control: An Application to a Compressed Air Energy Storage System*. Universitätsbibliothek der TU München.
- Badan Pengawasan Obat dan Makanan Republik Indonesia. (2019). Pedoman dan Kriteria Plastik Berbahan Polyethylene Terephtalate (PET) Daur Ulang yang Aman untuk Kemasan Pangan 2019. Direktorat Standardisasi Pangan Olahan Badan Pengawasan Obat dan Makanan RI: Jakarta
- Fiorotto, D. J., Jans, R., & Silvio. (2017). *An analysis of formulations for the capacitated lot sizing problem with setup crossover. Computers & Industrial Engineering*, 106, 338–350. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.12.037>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Gurobi Optimization. (2021). *Documentation: Gurobi Optimization Reference Manual*. <https://www.gurobi.com/documentation/>
- Heizer, J. & Barry, R. (2014). *Operations management: sustainability and supply chain management*. Pearson Education
- Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). *Plastics recycling: Challenges and Opportunities. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115–2126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>

- International Union for Conservation of Nature - IUCN. (2021, November). *Marine plastic pollution*. <https://www.iucn.org/resources/issues-brief/marine-plastic-pollution>
- Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2014). *Operations and Supply Chain Management 14<sup>th</sup> edition*. McGraw-Hill Education
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). *Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean*. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Johns, D. T., & Harding, H. A. (2001). *Operations Management*, alih bahasa Kresnohadi Ariyoto. Salemba Empat. (*Original work published 1989*)
- Jünger, M., Liebling, T. M., Naddef, D., Nemhauser, G. L., Pulleyblank, W. R., Reinelt, G., Rinaldi, G., & Wolsey, L. A. (2010). *50 Years of Integer Programming 1958-2008*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68279-0>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. [Sipsn.menlhk.go.id](https://sipsn.menlhk.go.id).
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2021, April 3). Kemenperin: Kemenperin Dorong Transformasi Pembangunan Industri Berkelanjutan. [Kemenperin.go.id](https://kemenperin.go.id/artikel/22439/). <https://kemenperin.go.id/artikel/22439/>
- Kusuma, R. I., & Hakim, I. M. (2020). *Designing Inventory Models to Minimize Total Inventory Costs by Using Mixed Integer Linear Programming (MILP) in the Warehouse of MRO Materials*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1003(1), 012100. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1003/1/012100>
- Kwak, J. K. (2019). *Analysis of Inventory Turnover as a Performance Measure in Manufacturing Industry Processes*, 7(10), 760. <https://doi.org/10.3390/pr7100760>
- Letcher, T. M. (2020). *Plastic waste and recycling : environmental impact, societal issues, prevention, and solutions*. Academic Press.
- Majumdar, A., Shukla, S., Singh, A. A., & Arora, S. (2020). *Circular fashion: Properties of fabrics made from mechanically recycled poly-ethylene terephthalate*

- (PET) bottles. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104915.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104915>
- Mckinney, W. (2013). *Python for data analysis*. O'reilly.
- Miller, S. A. (2020). *Five Misperceptions Surrounding the Environmental Impacts of Single-Use Plastic*. *Environmental Science & Technology*, 54(22), 14143–14151.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05295>
- Mohammadi, M., & Shekarian, E. (2017). *A mixed integer linear programming model for the multi-item uncapacitated lot-sizing problem: a case study in the trailer manufacturing industry*. *International Journal of Multivariate Data Analysis*, 1(2), 173. <https://doi.org/10.1504/ijmda.2017.10008572>
- Mohammadi, M., & Tap, M. M. (2012). *A Mixed Integer Programming Model Formulation for Solving the Lot-Sizing Problem*. ArXiv.org.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1205.6179>
- Peraturan Presiden Nomor 83 tahun 2018 tentang Penanganan Sampah Laut
- Peraturan Presiden Nomor 97 tahun 2017 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga
- PET Resin Association - PETRA. (2015). *An Introduction to PET (polyethylene terephthalate)*. Petresin.org. <https://petresin.org/an-introduction-to-pet/>
- Phakdeewongthep, P., Saelek, P., Wisedsin, T., & Norasedsophon, S. (2023). *Finding Methods for Forecasting Storage Space Demand of Waste Recycle Company. Case Study of ABC Waste Recycle Company, Samutsakhon Province*. *International Academic Multidisciplines Research Conference*, 98–101.
- Pinedo, M. (2005). *Planning and scheduling in manufacturing and services*. Springer.
- Pochet, Y., & Wolsey, L. A. (2008). *Production Planning by Mixed Integer Programming*. Springer.
- Chopra, S. & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management : Strategy, Planning, and Operation (6th ed.)*. Pearson.
- Taha, H. A. (2007). *Operations research : an introduction (8th ed.)*. Prentice Hall.
- Waters, D. J. (2003). *Inventory Control and Management*. John Wiley & Sons.

- Welle, F. (2011). *Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview. Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 865–875.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.04.009>
- World Bank. (2021). *Plastic Waste Discharges from Rivers and Coastlines in Indonesia. Marine Plastics Series, East Asia and Pacific Region*. Washington DC
- World Economic Forum. (2020). Mengurangi Polusi Plastik Secara Radikal di Indonesia. [https://www.systemiq.earth/wpcontent/uploads/2020/05/NPAP\\_Indonesia\\_Action\\_Roadmap\\_BahasaLow-1.pdf](https://www.systemiq.earth/wpcontent/uploads/2020/05/NPAP_Indonesia_Action_Roadmap_BahasaLow-1.pdf) (pp. 8–38).
- Xiao, S., & Lu, Z. (2017). Structural reliability sensitivity analysis based on classification of model output. *Aerospace Science and Technology*, 71, 52–61.  
<https://doi.org/10.1016/j.ast.2017.09.009>

## LAMPIRAN

Lampiran 1 Total *Demand* tiga jenis bahan baku dalam 52 periode

Bulan	Periode	Nama Bahan Baku		
		<i>Clear</i>	<i>Light Blue</i>	<i>Mix</i>
Januari	1	65838	40674	55097
	2	73998	51131	65982
	3	76124	50891	63460
	4	82991	50057	66582
	5	72013	40959	56036
Februari	6	24411	17493	22884
	7	0	0	0
	8	61513	39083	56131
	9	56261	33855	45111
Maret	10	82011	51537	64566
	11	75210	51295	63615
	12	12565	7278	11195
	13	64501	39724	56680
April	14	81515	47839	65027
	15	61796	41237	53174
	16	75402	55893	63563
	17	78464	52060	72396
Mei	18	57612	34619	46687
	19	84400	51075	68330
	20	70545	42320	56572
	21	65114	43426	52457
	22	0	0	0
Juni	23	52372	34239	42632
	24	77908	50602	66535
	25	82320	52677	68198
	26	81000	50607	65421
Juli	27	75751	49279	63670
	28	75677	54836	62963
	29	72768	49361	65480



Lampiran 2 Total *Demand* tiga jenis bahan baku dalam 52 periode (Lanjutan)

	30	77057	47358	65693
Agustus	31	63201	41629	58401
	32	14223	9183	12071
	33	53992	32963	44698
	34	14180	8382	10854
	35	69150	42611	54787
September	36	74836	51390	65056
	37	80375	51233	66114
	38	72882	51436	67724
	39	77235	54100	70933
Oktober	40	54172	34187	43359
	41	52028	33057	44532
	42	61532	43813	52570
	43	0	0	0
November	44	61927	40208	57274
	45	85593	61836	74796
	46	93031	59463	80061
	47	80819	53116	67780
	48	0	0	0
Desember	49	0	0	0
	50	62907	43659	54843
	51	10352	9437	10063
	52	0	0	0

Lampiran 3 Data *Forecasted Demand* tiga jenis bahan baku dalam 12 periode

Periode	Nama Bahan Baku		
	<i>Clear</i>	<i>Light Blue</i>	<i>Mix</i>
1	78239	53016	66456
2	74939	54644	66224
3	77128	54121	66839
4	75449	55211	66132
5	76518	54385	65957
6	76013	56469	65971
7	63251	46607	55616
8	75560	57286	65993
9	75384	56872	66613
10	75072	58453	66258
11	74758	58343	66572
12	62522	49147	55309

Lampiran 4 Hasil Pengolahan Model dengan *Python*

Q(i,t)	Nilai Q	Y(i,t)	Nilai Y
Q(1,1)	96620	Y(1,1)	1
Q(1,2)	73998	Y(1,2)	1
Q(1,3)	76124	Y(1,3)	1
Q(1,4)	82991	Y(1,4)	1
Q(1,5)	72013	Y(1,5)	1
Q(1,6)	24411	Y(1,6)	1
Q(1,7)	0	Y(1,7)	0
Q(1,8)	61513	Y(1,8)	1
Q(1,9)	56261	Y(1,9)	1
Q(1,10)	82011	Y(1,10)	1
Q(1,11)	75210	Y(1,11)	1
Q(1,12)	12565	Y(1,12)	1
Q(1,13)	64501	Y(1,13)	1
Q(1,14)	81515	Y(1,14)	1
Q(1,15)	61796	Y(1,15)	1
Q(1,16)	75402	Y(1,16)	1
Q(1,17)	78464	Y(1,17)	1
Q(1,18)	57612	Y(1,18)	1
Q(1,19)	84400	Y(1,19)	1
Q(1,20)	70545	Y(1,20)	1
Q(1,21)	65114	Y(1,21)	1
Q(1,22)	0	Y(1,22)	0
Q(1,23)	52372	Y(1,23)	1
Q(1,24)	77908	Y(1,24)	1
Q(1,25)	82320	Y(1,25)	1
Q(1,26)	81000	Y(1,26)	1
Q(1,27)	75751	Y(1,27)	1
Q(1,28)	75677	Y(1,28)	1
Q(1,29)	72768	Y(1,29)	1
Q(1,30)	77057	Y(1,30)	1
Q(1,31)	63201	Y(1,31)	1
Q(1,32)	14223	Y(1,32)	1
Q(1,33)	53992	Y(1,33)	1
Q(1,34)	14180	Y(1,34)	1
Q(1,35)	69150	Y(1,35)	1
Q(1,36)	74836	Y(1,36)	1
Q(1,37)	80375	Y(1,37)	1
Q(1,38)	72882	Y(1,38)	1
Q(1,39)	77235	Y(1,39)	1

Lampiran 5 Hasil Pengolahan Model dengan *Python* (Lanjutan)

Q(1,40)	54172	Y(1,40)	1
Q(1,41)	52028	Y(1,41)	1
Q(1,42)	61532	Y(1,42)	1
Q(1,43)	0	Y(1,43)	0
Q(1,44)	61927	Y(1,44)	1
Q(1,45)	85593	Y(1,45)	1
Q(1,46)	93031	Y(1,46)	1
Q(1,47)	80819	Y(1,47)	1
Q(1,48)	0	Y(1,48)	0
Q(1,49)	0	Y(1,49)	0
Q(1,50)	62907	Y(1,50)	1
Q(1,51)	10352	Y(1,51)	1
Q(1,52)	0	Y(1,52)	0
Q(2,1)	22257	Y(2,1)	1
Q(2,2)	51131	Y(2,2)	1
Q(2,3)	50891	Y(2,3)	1
Q(2,4)	50057	Y(2,4)	1
Q(2,5)	40959	Y(2,5)	1
Q(2,6)	17493	Y(2,6)	1
Q(2,7)	0	Y(2,7)	0
Q(2,8)	39083	Y(2,8)	1
Q(2,9)	33855	Y(2,9)	1
Q(2,10)	51537	Y(2,10)	1
Q(2,11)	51295	Y(2,11)	1
Q(2,12)	7278	Y(2,12)	1
Q(2,13)	39724	Y(2,13)	1
Q(2,14)	47839	Y(2,14)	1
Q(2,15)	41237	Y(2,15)	1
Q(2,16)	55893	Y(2,16)	1
Q(2,17)	52060	Y(2,17)	1
Q(2,18)	34619	Y(2,18)	1
Q(2,19)	51075	Y(2,19)	1
Q(2,20)	42320	Y(2,20)	1
Q(2,21)	43426	Y(2,21)	1
Q(2,22)	0	Y(2,22)	0
Q(2,23)	34239	Y(2,23)	1
Q(2,24)	50602	Y(2,24)	1
Q(2,25)	52677	Y(2,25)	1
Q(2,26)	50607	Y(2,26)	1
Q(2,27)	49279	Y(2,27)	1
Q(2,28)	54836	Y(2,28)	1

Lampiran 6 Hasil Pengolahan Model dengan *Python* (Lanjutan)

Q(2,29)	49361	Y(2,29)	1
Q(2,30)	47358	Y(2,30)	1
Q(2,31)	41629	Y(2,31)	1
Q(2,32)	9183	Y(2,32)	1
Q(2,33)	32963	Y(2,33)	1
Q(2,34)	8382	Y(2,34)	1
Q(2,35)	42611	Y(2,35)	1
Q(2,36)	51390	Y(2,36)	1
Q(2,37)	51233	Y(2,37)	1
Q(2,38)	51436	Y(2,38)	1
Q(2,39)	54100	Y(2,39)	1
Q(2,40)	34187	Y(2,40)	1
Q(2,41)	33057	Y(2,41)	1
Q(2,42)	43813	Y(2,42)	1
Q(2,43)	0	Y(2,43)	0
Q(2,44)	40208	Y(2,44)	1
Q(2,45)	61836	Y(2,45)	1
Q(2,46)	59463	Y(2,46)	1
Q(2,47)	53116	Y(2,47)	1
Q(2,48)	0	Y(2,48)	0
Q(2,49)	0	Y(2,49)	0
Q(2,50)	43659	Y(2,50)	1
Q(2,51)	9437	Y(2,51)	1
Q(2,52)	0	Y(2,52)	0
Q(3,1)	47732	Y(3,1)	1
Q(3,2)	65982	Y(3,2)	1
Q(3,3)	63460	Y(3,3)	1
Q(3,4)	66582	Y(3,4)	1
Q(3,5)	56036	Y(3,5)	1
Q(3,6)	22884	Y(3,6)	1
Q(3,7)	0	Y(3,7)	0
Q(3,8)	56131	Y(3,8)	1
Q(3,9)	45111	Y(3,9)	1
Q(3,10)	64566	Y(3,10)	1
Q(3,11)	63615	Y(3,11)	1
Q(3,12)	11195	Y(3,12)	1
Q(3,13)	56680	Y(3,13)	1
Q(3,14)	65027	Y(3,14)	1
Q(3,15)	53174	Y(3,15)	1
Q(3,16)	63563	Y(3,16)	1
Q(3,17)	72396	Y(3,17)	1
Q(3,18)	46687	Y(3,18)	1

Lampiran 7 Hasil Pengolahan Model dengan *Python* (Lanjutan)

Q(3,19)	68330	Y(3,19)	1
Q(3,20)	56572	Y(3,20)	1
Q(3,21)	52457	Y(3,21)	1
Q(3,22)	0	Y(3,22)	0
Q(3,23)	42632	Y(3,23)	1
Q(3,24)	66535	Y(3,24)	1
Q(3,25)	68198	Y(3,25)	1
Q(3,26)	65421	Y(3,26)	1
Q(3,27)	63670	Y(3,27)	1
Q(3,28)	62963	Y(3,28)	1
Q(3,29)	65480	Y(3,29)	1
Q(3,30)	65693	Y(3,30)	1
Q(3,31)	58401	Y(3,31)	1
Q(3,32)	12071	Y(3,32)	1
Q(3,33)	44698	Y(3,33)	1
Q(3,34)	10854	Y(3,34)	1
Q(3,35)	54787	Y(3,35)	1
Q(3,36)	65056	Y(3,36)	1
Q(3,37)	66114	Y(3,37)	1
Q(3,38)	67724	Y(3,38)	1
Q(3,39)	70933	Y(3,39)	1
Q(3,40)	43359	Y(3,40)	1
Q(3,41)	44532	Y(3,41)	1
Q(3,42)	52570	Y(3,42)	1
Q(3,43)	0	Y(3,43)	0
Q(3,44)	57274	Y(3,44)	1
Q(3,45)	74796	Y(3,45)	1
Q(3,46)	80061	Y(3,46)	1
Q(3,47)	67780	Y(3,47)	1
Q(3,48)	0	Y(3,48)	0
Q(3,49)	0	Y(3,49)	0
Q(3,50)	54843	Y(3,50)	1
Q(3,51)	10063	Y(3,51)	1
Q(3,52)	0	Y(3,52)	0
Periode <i>Forecast</i>			
Q(1,1)	124560	Y(1,1)	1
Q(1,2)	74939	Y(1,2)	1
Q(1,3)	77128	Y(1,3)	1
Q(1,4)	75449	Y(1,4)	1
Q(1,5)	76518	Y(1,5)	1
Q(1,6)	76013	Y(1,6)	1
Q(1,7)	63251	Y(1,7)	1

Lampiran 8 Hasil Pengolahan Model dengan *Python* (Lanjutan)

Q(1,8)	75560	Y(1,8)	1
Q(1,9)	75384	Y(1,9)	1
Q(1,10)	75072	Y(1,10)	1
Q(1,11)	74758	Y(1,11)	1
Q(1,12)	62522	Y(1,12)	1
Q(2,1)	83435	Y(2,1)	1
Q(2,2)	54644	Y(2,2)	1
Q(2,3)	54121	Y(2,3)	1
Q(2,4)	55211	Y(2,4)	1
Q(2,5)	54385	Y(2,5)	1
Q(2,6)	56469	Y(2,6)	1
Q(2,7)	46607	Y(2,7)	1
Q(2,8)	57286	Y(2,8)	1
Q(2,9)	56872	Y(2,9)	1
Q(2,10)	58453	Y(2,10)	1
Q(2,11)	58343	Y(2,11)	1
Q(2,12)	49147	Y(2,12)	1
Q(3,1)	105707	Y(3,1)	1
Q(3,2)	66224	Y(3,2)	1
Q(3,3)	66839	Y(3,3)	1
Q(3,4)	66132	Y(3,4)	1
Q(3,5)	65957	Y(3,5)	1
Q(3,6)	65971	Y(3,6)	1
Q(3,7)	55616	Y(3,7)	1
Q(3,8)	65993	Y(3,8)	1
Q(3,9)	66613	Y(3,9)	1
Q(3,10)	66258	Y(3,10)	1
Q(3,11)	66572	Y(3,11)	1
Q(3,12)	55309	Y(3,12)	1

## Lampiran 9 Bahasa Pemrograman *Python* dalam Pengembangan Model

```

import gurobipy as gp
from gurobipy import GRB
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

# 1. Model
model_1 = gp.Model("optimasi bahan baku Clear daur ulang PET")
model_2 = gp.Model("optimasi bahan baku Light Blue daur ulang PET")
model_3 = gp.Model("optimasi bahan baku Mix daur ulang PET")

# 2. Sets & Parameter
# Bahan Baku 1 = 'Clear', 2 = 'Light Blue', 3 = 'Mix'
# 2.1. Demand per hari (kg)
path = r'C:\Users\Yulius\OneDrive\Documents\Dokumen Julio\Skripsi\Sidang\Input
Data Model_Historical 1 Tahun.xlsx'
# path = r'C:\Users\Yulius\OneDrive\Documents\Dokumen Julio\Skripsi\Sidang\Input
Data Model_Forecasted Demand.xlsx'
# path = r'C:\Users\Yulius\OneDrive\Documents\Dokumen Julio\Skripsi\Sidang\Input
Data Model_Sensitivitas.xlsx'
data_1 = pd.read_excel(path, sheet_name='Clear')
data_2 = pd.read_excel(path, sheet_name='Light Blue')
data_3 = pd.read_excel(path, sheet_name='Mix')
D_1 = data_1['Demand (kg)'].tolist()
t_1 = len(D_1)
periode_1 = range(0, t_1)
D_2 = data_2['Demand (kg)'].tolist()
t_2 = len(D_2)
periode_2 = range(0, t_2)
D_3 = data_3['Demand (kg)'].tolist()
t_3 = len(D_3)
periode_3 = range(0, t_3)

```



## # 2.2. Inventory\_awal (kg)

```

input_inventory_awal_1 = data_1.at[0, 'Inventory_Awal (kg)']
inventory_awal_1 = input_inventory_awal_1
input_inventory_awal_2 = data_2.at[0, 'Inventory_Awal (kg)']
inventory_awal_2 = input_inventory_awal_2
input_inventory_awal_3 = data_3.at[0, 'Inventory_Awal (kg)']
inventory_awal_3 = input_inventory_awal_3

```

## # 2.3. Holding cost per unit kg per hari (Rp.)

```

input_h_1 = data_1.at[0, 'Holding_Cost (Rp.)/kg']
h_1 = [input_h_1 for i in periode_1]
input_h_2 = data_2.at[0, 'Holding_Cost (Rp.)/kg']
h_2 = [input_h_2 for i in periode_2]
input_h_3 = data_3.at[0, 'Holding_Cost (Rp.)/kg']
h_3 = [input_h_3 for i in periode_3]

```

## # 2.4. Ordering cost per satu kali pesan (Rp.)

```

input_o_1 = data_1.at[0, 'Ordering_Cost (Rp.)']
o_1 = [input_o_1 for i in periode_1]
input_o_2 = data_2.at[0, 'Ordering_Cost (Rp.)']
o_2 = [input_o_2 for i in periode_2]
input_o_3 = data_3.at[0, 'Ordering_Cost (Rp.)']
o_3 = [input_o_3 for i in periode_3]

```

## # 2.5 Safety stock (kg)

```

input_SS_1 = data_1.at[0, 'Safety_Stock (kg)']
SS_1 = input_SS_1
input_SS_2 = data_2.at[0, 'Safety_Stock (kg)']
SS_2 = input_SS_2
input_SS_3 = data_3.at[0, 'Safety_Stock (kg)']
SS_3 = input_SS_3

```

## # 2.6. Inventory akhir

```

inventory_akhir_1 = SS_1

```

```
inventory_akhir_2 = SS_2
inventory_akhir_3 = SS_3
```

# 2.7. Kapasitas Gudang (mencegah stock di luar gudang)

```
C_1 = data_1.at[0, 'Kapasitas_Gudang (kg)']
C_2 = data_2.at[0, 'Kapasitas_Gudang (kg)']
C_3 = data_3.at[0, 'Kapasitas_Gudang (kg)']
```

# 3. Variabel

# 3.1. Kuantitas pesan

```
Q_1 = model_1.addVars(t_1, name="Q_1", vtype=GRB.CONTINUOUS)
Q_2 = model_2.addVars(t_2, name="Q_2", vtype=GRB.CONTINUOUS)
Q_3 = model_3.addVars(t_3, name="Q_3", vtype=GRB.CONTINUOUS)
```

# 3.2. Inventory (jumlah per hari)

```
X_1 = model_1.addVars(t_1 + 1, name="X_1", vtype=GRB.CONTINUOUS)
X_2 = model_2.addVars(t_2 + 1, name="X_2", vtype=GRB.CONTINUOUS)
X_3 = model_3.addVars(t_3 + 1, name="X_3", vtype=GRB.CONTINUOUS)
```

# 3.3. Keputusan order binary

# Fungsi Kendala 5: Mendefinisikan keputusan biner Y (pesan=1/tidak pesan=0)

```
Y_1 = model_1.addVars(t_1, name="Y_1", vtype=GRB.BINARY)
Y_2 = model_2.addVars(t_2, name="Y_2", vtype=GRB.BINARY)
Y_3 = model_3.addVars(t_3, name="Y_3", vtype=GRB.BINARY)
```

# 3.4. Big-M Value / Maksimal Kedatangan (True - dibatasi, False - tidak dibatasi)

```
max_kedatangan_1 = data_1.at[0, 'Max_Kedatangan (kg)']
max_kedatangan_2 = data_2.at[0, 'Max_Kedatangan (kg)']
max_kedatangan_3 = data_3.at[0, 'Max_Kedatangan (kg)']
capacitated = True
if capacitated:
```

```
    M_1 = [max_kedatangan_1 for t in periode_1]
    M_2 = [max_kedatangan_2 for t in periode_2]
    M_3 = [max_kedatangan_3 for t in periode_3]
```



# 5.3. Hubungan kuantitas dan keputusan pesan memenuhi persamaan dengan Big M-value (ci2)

# Fungsi Kendala 3: Mendefinisikan keputusan Y bergantung pada kuantitas Q

for t in periode\_1:

model\_1.addConstr((Q\_1[t] <= M\_1[t]\*Y\_1[t]), "c13")

for t in periode\_2:

model\_2.addConstr((Q\_2[t] <= M\_2[t]\*Y\_2[t]), "c23")

for t in periode\_3:

model\_3.addConstr((Q\_3[t] <= M\_3[t]\*Y\_3[t]), "c33")

# 5.4. Inventory tidak melebihi kapasitas gudang (ci3)

# Fungsi Kendala 4: Memastikan persediaan tidak lebih dari kapasitas gudang

for t in periode\_1:

model\_1.addConstr((X\_1[t] <= C\_1), "c14")

for t in periode\_2:

model\_2.addConstr((X\_2[t] <= C\_2), "c24")

for t in periode\_3:

model\_3.addConstr((X\_3[t] <= C\_3), "c34")

# 5.6. Non-negativity constraint (ci6)

# Note: Fungsi Kendala 5 variabel binary terdapat pada bagian 3.3

# Fungsi Kendala 6: Mendefinisikan variabel keputusan adalah non-negatif

for t in periode\_1:

model\_1.addConstr((Y\_1[t] >= 0), "c16")

model\_1.addConstr((Q\_1[t] >= 0), "c16")

model\_1.addConstr((X\_1[t] >= 0), "c16")

for t in periode\_2:

model\_2.addConstr((Y\_2[t] >= 0), "c26")

model\_2.addConstr((Q\_2[t] >= 0), "c26")

model\_2.addConstr((X\_2[t] >= 0), "c26")

for t in periode\_3:

model\_3.addConstr((Y\_3[t] >= 0), "c36")

model\_3.addConstr((Q\_3[t] >= 0), "c36")

model\_3.addConstr((X\_3[t] >= 0), "c36")

# 5.5. Inventory awal (ci5)

```
model_1.addConstr(X_1[0] == inventory_awal_1, "c15")
```

```
model_2.addConstr(X_2[0] == inventory_awal_2, "c25")
```

```
model_3.addConstr(X_3[0] == inventory_awal_3, "c35")
```

# 5.6. Inventory akhir sama dengan safety stock (ci6)

```
model_1.addConstr(X_1[t_1] == inventory_akhir_1, "c16")
```

```
model_2.addConstr(X_2[t_2] == inventory_akhir_2, "c26")
```

```
model_3.addConstr(X_3[t_3] == inventory_akhir_3, "c36")
```

# 6. Optimasi

```
model_1.optimize()
```

```
model_2.optimize()
```

```
model_3.optimize()
```

# 7. Analisis & Visualisasi hasil

```
for v in model_1.getVars():
```

```
    if v.varName.startswith("k"):
```

```
        print("Order {} kg bahan baku{} pada periode {}".format(abs(round((v.x),0)),
v.varName[9:11], v.varName[11:]))
```

```
minimum_cost_1 = round(model_1.objVal,0)
```

```
print("-----")
```

```
print("Total biaya persediaan minimum: Rp. {}".format(minimum_cost_1))
```

```
print("-----")
```

```
for v in model_2.getVars():
```

```
    if v.varName.startswith("k"):
```

```
        print("Order {} kg bahan baku{} pada periode {}".format(abs(round((v.x),0)),
v.varName[9:11], v.varName[11:]))
```

```
minimum_cost_2 = round(model_2.objVal,0)
```

```
print("-----")
```

```
print("Total biaya persediaan minimum: Rp. {}".format(minimum_cost_2))
```

```
print("-----")
```

```

for v in model_3.getVars():
    if v.varName.startswith("k"):
        print("Order {} kg bahan baku{} pada periode {}".format(abs(round((v.x),0)),
v.varName[9:11], v.varName[11:]))
    minimum_cost_3 = round(model_3.objVal,0)
    print("-----")
    print("Total biaya persediaan minimum: Rp. {}".format(minimum_cost_3))
    print("-----")

kolom_Y_1 = pd.DataFrame(columns=["Y_1"])
for o in Y_1.values():
    kolom_Y_1 = kolom_Y_1.append({"Y_1": int(abs(o.X))}, ignore_index=True)
kolom_quantity_1 = pd.DataFrame(columns=["Quantity_1"])
for q in Q_1.values():
    kolom_quantity_1=kolom_quantity_1.append({"Quantity_1": round(int(abs(q.X)),0)},
ignore_index=True)
kolom_X_1 = pd.DataFrame(columns=["X_1"])
for i in X_1.values():
    kolom_X_1 = kolom_X_1.append({"X_1": round(abs(i.X),0)}, ignore_index=True)
kolom_X_1 = kolom_X_1.drop(labels=t_1, axis=0)
kolom_D_1 = round(pd.DataFrame(D_1, columns = ["D_1"]),0)
table_1 = pd.concat([kolom_D_1, kolom_X_1, kolom_Y_1, kolom_quantity_1],
axis='columns')
print(table_1)
print("-----")
kolom_Y_2 = pd.DataFrame(columns=["Y_2"])
for o in Y_2.values():
    kolom_Y_2 = kolom_Y_2.append({"Y_2": int(abs(o.X))}, ignore_index=True)
kolom_quantity_2 = pd.DataFrame(columns=["Quantity_2"])
for q in Q_2.values():
    kolom_quantity_2=kolom_quantity_2.append({"Quantity_2": round(int(abs(q.X)),0)},
ignore_index=True)
kolom_X_2 = pd.DataFrame(columns=["X_2"])
for i in X_2.values():

```

```

kolom_X_2 = kolom_X_2.append({"X_2": round(abs(i.X),0)}, ignore_index=True)
kolom_X_2 = kolom_X_2.drop(labels=t_2, axis=0)
kolom_D_2 = round(pd.DataFrame(D_2, columns = ["D_2"]),0)
table_2 = pd.concat([kolom_D_2, kolom_X_2, kolom_Y_2, kolom_quantity_2],
axis='columns')
print(table_2)
print("-----")
kolom_Y_3 = pd.DataFrame(columns=["Y_3"])
for o in Y_3.values():
    kolom_Y_3 = kolom_Y_3.append({"Y_3": int(abs(o.X))}, ignore_index=True)
kolom_quantity_3 = pd.DataFrame(columns=["Quantity_3"])
for q in Q_3.values():
    kolom_quantity_3=kolom_quantity_3.append({"Quantity_3": round(int(abs(q.X)),0)},
ignore_index=True)
kolom_X_3 = pd.DataFrame(columns=["X_3"])
for i in X_3.values():
    kolom_X_3 = kolom_X_3.append({"X_3": round(abs(i.X),0)}, ignore_index=True)
kolom_X_3 = kolom_X_3.drop(labels=t_3, axis=0)
kolom_D_3 = round(pd.DataFrame(D_3, columns = ["D_3"]),0)
table_3 = pd.concat([kolom_D_3, kolom_X_3, kolom_Y_3, kolom_quantity_3],
axis='columns')
print(table_3)
print("-----")
table_4 = pd.concat([kolom_D_1, kolom_D_2, kolom_D_3, kolom_X_1, kolom_X_2,
kolom_X_3, kolom_Y_1, kolom_quantity_1, kolom_Y_2, kolom_quantity_2,
kolom_Y_3, kolom_quantity_3], axis = 1)
print(table_4)
print("-----")

# ind = np.arange(t_1)
# width = 0.25
# xvals = table_1.Quantity_1
# bar1_1 = plt.bar(ind, xvals, width, color = 'b')
# yvals = table_1.D_1
# bar2_1 = plt.bar(ind+width, yvals, width, color='r')

```

```

# zvals = table_1.X_1
# bar3_1 = plt.bar(ind+width*2, zvals, width, color = 'g')
# plt.xlabel("Periode")
# plt.ylabel('Kuantitas')
# plt.title("Perencanaan Bahan Baku 1 Optimal (Biaya Minimum)")
# plt.xticks(ind+width,ind)
# plt.legend((bar1_1, bar2_1, bar3_1), ('Pesanan Q&T', 'Demand', 'Inventory'))
# plt.show()
# ind = np.arange(t_2)
# width = 0.25
# xvals = table_2.Quantity_2
# bar1_2 = plt.bar(ind, xvals, width, color = 'b')
# yvals = table_2.D_2
# bar2_2 = plt.bar(ind+width, yvals, width, color='r')
# zvals = table_2.X_2
# bar3_2 = plt.bar(ind+width*2, zvals, width, color = 'g')
# plt.xlabel("Periode")
# plt.ylabel('Kuantitas')
# plt.title("Perencanaan Bahan Baku 2 Optimal (Biaya Minimum)")
# plt.xticks(ind+width,ind)
# plt.legend((bar1_2, bar2_2, bar3_2), ('Pesanan Q&T', 'Demand', 'Inventory'))
# plt.show()
# ind = np.arange(t_3)
# width = 0.25
# xvals = table_3.Quantity_3
# bar1_3 = plt.bar(ind, xvals, width, color = 'b')
# yvals = table_3.D_3
# bar2_3 = plt.bar(ind+width, yvals, width, color='r')
# zvals = table_3.X_3
# bar3_3 = plt.bar(ind+width*2, zvals, width, color = 'g')
# plt.xlabel("Periode")
# plt.ylabel('Kuantitas')
# plt.title("Perencanaan Bahan Baku 3 Optimal (Biaya Minimum)")
# plt.xticks(ind+width,ind)

```



```

# plt.legend((bar1_3, bar2_3, bar3_3), ('Pesan Q&T', 'Demand', 'Inventory'))
# plt.show()

# 8. Status
status_1 = model_1.status
if status_1 == GRB.Status.OPTIMAL:
    print('[model bahan baku 1 sudah optimal]')
if status_1 == GRB.Status.INF_OR_UNBD or status_1 == GRB.Status.INFEASIBLE
or status_1 == GRB.Status.UNBOUNDED:
    print('[model bahan baku 1 infeasible atau unbounded]')
status_2 = model_2.status
if status_2 == GRB.Status.OPTIMAL:
    print('[model bahan baku 2 sudah optimal]')
if status_2 == GRB.Status.INF_OR_UNBD or status_2 == GRB.Status.INFEASIBLE
or status_2 == GRB.Status.UNBOUNDED:
    print('[model bahan baku 2 infeasible atau unbounded]')
status_3 = model_3.status
if status_3 == GRB.Status.OPTIMAL:
    print('[model bahan baku 3 sudah optimal]')
if status_3 == GRB.Status.INF_OR_UNBD or status_3 == GRB.Status.INFEASIBLE
or status_3 == GRB.Status.UNBOUNDED:
    print('[model bahan baku 3 infeasible atau unbounded]')

#9. Download
#model_1.write("Perencanaan-Persediaan-Optimal.sol")
#model_2.write("Perencanaan-Persediaan-Optimal.lp")
#model_3.write("Perencanaan-Persediaan-Optimal.mps")

#10. Export model output to Excel
output_path=r'C:\Users\Yulius\OneDrive\Documents\DokumenJulio\Skripsi\Sidang\Ou
tput Data Model Final Historis.xlsx'
writer = pd.ExcelWriter(output_path, engine='xlsxwriter')
table_4.to_excel(writer, sheet_name = 'Output_All', index = True)
writer.save()

```