



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

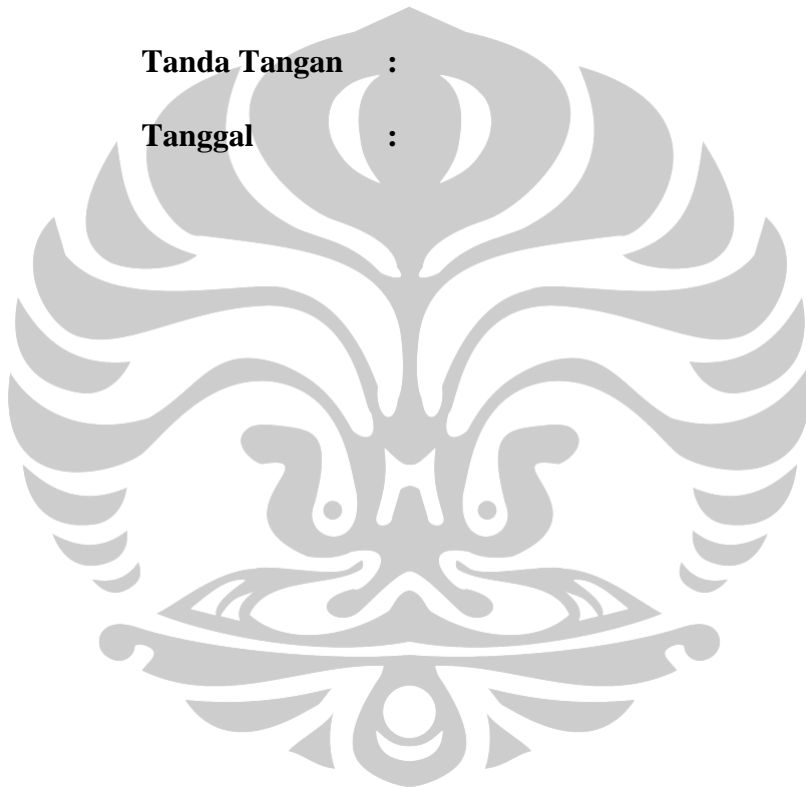
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Julio Febrian

NPM : 1906354702

Tanda Tangan :

Tanggal :



LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

Nama : Julio Febrian
NPM : 1906354702
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Pengembangan Model Optimasi untuk
Meminimalkan Total Biaya Persediaan pada
Gudang Bahan Baku Daur Ulang Plastik
dengan Metode *Mixed Integer Linear
Programming* (MILP)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Inaki Maulida Hakim, S.T., M.T. ()

Penguji : Ir. Fauzia Dianawati, M.Si. ()

Penguji : Dr.rer.pol. Romadhani Ardi S.T., M.T. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : xx Juni 2023

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. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Industri UI yang telah mendidik dan memberikan banyak pembelajaran selama masa perkuliahan.
3. Ibu Dian Kurniawati dan segenap pihak perusahaan yang telah membantu dan mengizinkan Penulis untuk mengumpulkan data yang dibutuhkan.
4. Kedua orang tua Penulis, Bapak Rusli dan Ibu Lim Djan Tjin yang selalu memberikan dukungan kepada Penulis untuk menyelesaikan perkuliahan.
5. Gemilang Ananda Nizola, Fransiscus Fruitomi, Wahyu Adiraga Digjaya, Thomson dan teman bimbingan lainnya yang sama-sama berjuang menyelesaikan skripsi dan membantu penulis dengan semangat.
6. Sobat Amongusxstatdas yang sangat baik telah membuat kehidupan perkuliahan Penulis menjadi lebih seru dan bermakna.
7. Teman-teman mahasiswa Teknik Industri UI 2019 yang telah mengisi pengalaman kuliah dengan berbagai kenangan.
8. Serta pihak-pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, kritik dan saran untuk peningkatan di masa yang akan datang sangat diharapkan. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi orang lain dan pengembangan ilmu.

Depok, xx Juni 2023

Julio Febrian



LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Julio Febrian
NPM : 1906354702
Program Studi : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

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

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : xx Juni 2023

Yang menyatakan

(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 xx

Kata Kunci:

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



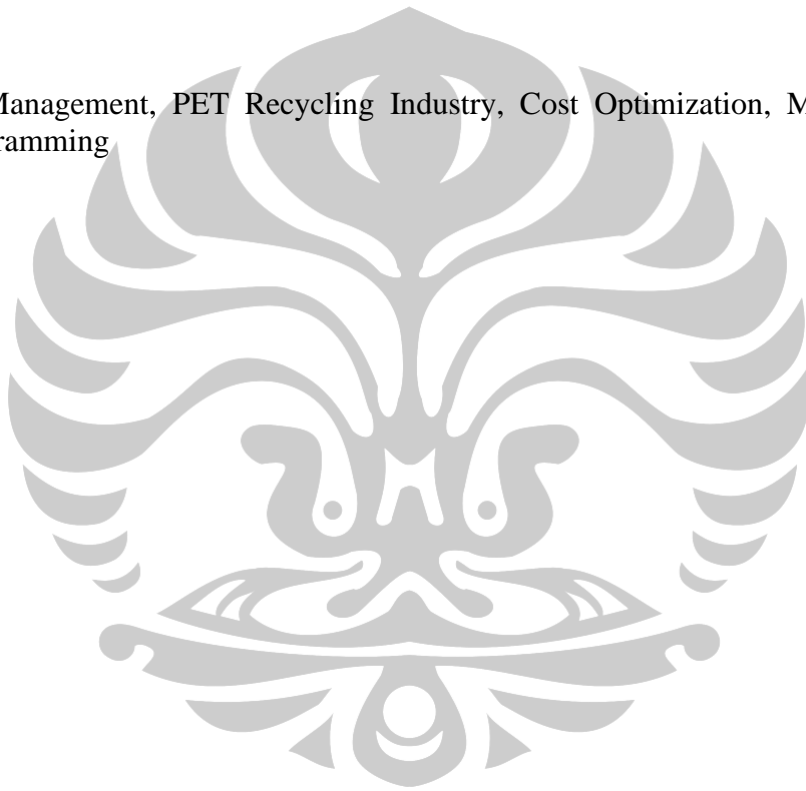
ABSTRACT

Name : Julio Febrian
Study Program : Industrial Engineering
Title : Developing an Optimization Model to Minimize Total Inventory Cost in the Warehouse of Plastic Recycling Materials by Using Mixed Integer Linear Programming (MILP)
Counsellor : Inaki Maulida Hakim, S.T., M.T.

This research explains xx

Key words:

Inventory Management, PET Recycling Industry, Cost Optimization, Mixed Integer Linear Programming



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 15 PENDAHULUAN	15
1.1. Latar Belakang.....	15
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
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	13
2.1. Manajemen Persediaan Gudang	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 Linier.....	21
2.2.1. Definisi Program Linier.....	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.....	23
2.4.2. Validasi Model.....	24
BAB 3 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	25
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	31
3.3. Verifikasi dan Validasi Model.....	33
3.3.1. Verifikasi Model.....	33
3.3.2. Validasi Model.....	37
3.4. Hasil Pengolahan Data.....	40
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	42
4.1. Analisis Hasil.....	42
4.1.1. Analisis Kuantitas Pemesanan (Q)	42
4.1.2. Analisis Periode Pemesanan	42
4.1.3. Analisis Total Biaya Persediaan	42
4.2. Analisis Perbandingan Sebelum dan Sesudah	42
4.2.1. Perbandingan Biaya.....	42
4.2.2. Perbandingan Nilai ITO.....	42
4.3. Analisis Sensitivitas.....	42
4.3.1. Perubahan Parameter Harga Beli Material	42
4.3.2. Perubahan Parameter Permintaan	42
4.4. Analisis Hubungan	42
4.4.1. Hubungan Pola Permintaan dan Total Biaya Persediaan	42
4.4.2. Hubungan x dan y	42
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1. Kesimpulan.....	43
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	48

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 <i>Dummy</i> Biaya, <i>Lead Time</i> , dan <i>Safety Stock</i>	39
Tabel 3.10 Data <i>Dummy</i> Permintaan.....	39
Tabel 3.11 Data Permintaan Bahan Baku.....	39
Tabel 3.12 Hasil Akhir Kuantitas Pesan dan Biaya Persediaan Periode Historis	40
Tabel 3.13 Hasil Akhir Kuantitas Pesan dan Biaya Persediaan Periode <i>Forecast</i>	40

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</i> Status untuk Verifikasi Model.....	36
Gambar 3.10 Nilai Objektif Hasil Model <i>Python</i>	38
Gambar 3.11 Nilai Objektif Hasil Model <i>Python</i>	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Total Demand tiga jenis bahan baku dalam 52 periode (minggu)	48
Lampiran 2 Data <i>Forecasted Demand</i> tiga jenis bahan baku dalam 12 periode	49
Lampiran 3 Hasil Pengolahan Model dengan <i>Python</i>	50
Lampiran 4 Bahasa Pemrograman <i>Python</i> dalam Pengembangan Model.....	50



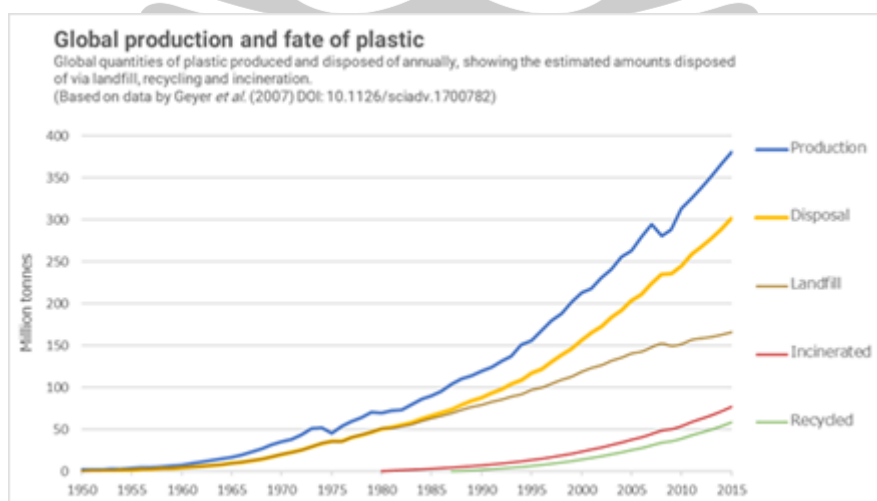
BAB 1

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, 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 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, estimasi 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 Jambeck dalam jurnalnya 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 diduga mencemari lautan (Jambeck, 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, sebanyak 18 persen atau sekitar 12 juta ton merupakan sampah plastik. Salah satu cara untuk mengurangi volume sampah plastik yang tinggi, yaitu daur ulang. Daur 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 4x lipat (The World Bank, 2021)

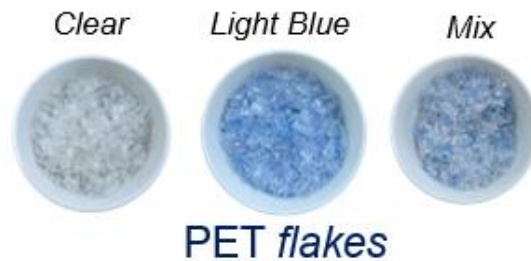
Sampai saat ini, kapasitas pengelolaan limbah Indonesia belum mampu menangani besarnya jumlah limbah plastik yang dihasilkan. Oleh karena itu, dibutuhkan peningkatan kapasitas pada perusahaan daur ulang sampah plastik di Indonesia. Pemerintah telah mencanangkan program Indonesia Bersih Sampah 2025 yang dikeluarkan melalui Peraturan Presiden Indonesia No. 97/2017 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 pada tahun 2019, terdapat 600 industri besar dan 700 industri kecil pada sektor industri daur ulang plastik (Kementerian Perindustrian, 2019). 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 PET. *Polyethylene terephthalate* (PET) atau poliester pertama kali diproduksi pada tahun 1930 sebagai serat sintetis (European Federation of Bottled Waters, 2015). 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 daur ulang plastik merupakan perusahaan-perusahaan daur ulang botol 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. Pada umumnya, produk hasil daur ulang adalah 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.

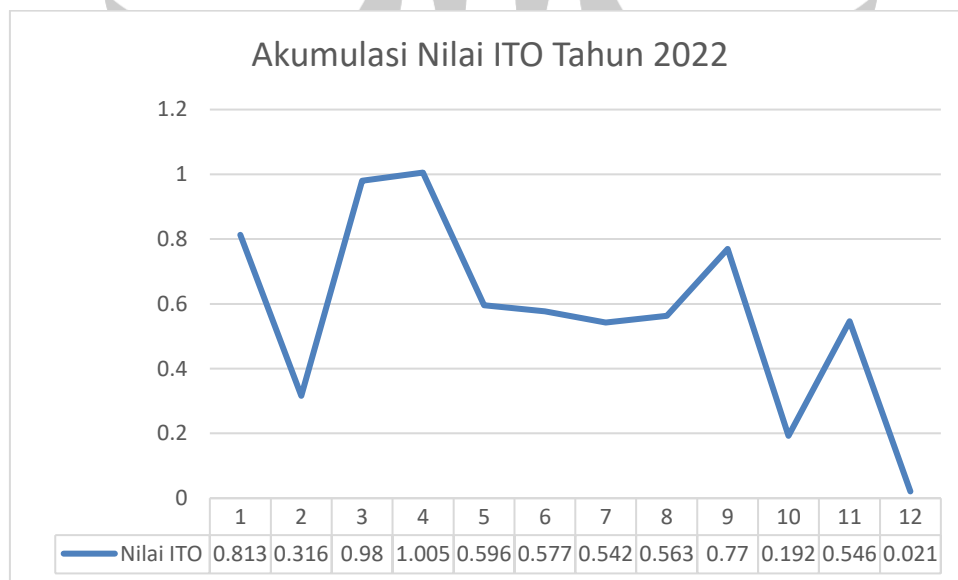


Gambar 1.3 Bahan Baku Utama Daur Ulang Plastik

Sumber: Data Perusahaan, 2023

Manajemen persediaan bahan baku menjadi salah satu tantangan dengan karakteristik industri daur ulang plastik 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 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.



Gambar 1.4 Nilai *Inventory Turnover* tahun 2022

Sumber: Data historis perusahaan, 2023

Gambar 1.4 menunjukkan bahwa nilai perputaran persediaan cenderung rendah dan masih perlu ditingkatkan karena terdapat 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 (Q) dan waktu pesan (Kusuma & Hakim, 2020).

Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara, masalah *overstock* dan kenaikan biaya persediaan terjadi karena peramalan permintaan dan penjadwalan kedatangan bahan baku belum cukup efektif dan efisien, penggunaan metode manajemen persediaan tradisional yang mempengaruhi kecepatan dan keakuratan dalam pengambilan keputusan, serta kuantitas dan waktu pesan yang belum optimal menyebabkan kenaikan biaya pemesanan dan biaya penyimpanan sehingga memicu peningkatan biaya persediaan bahan baku sebesar 27%. 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

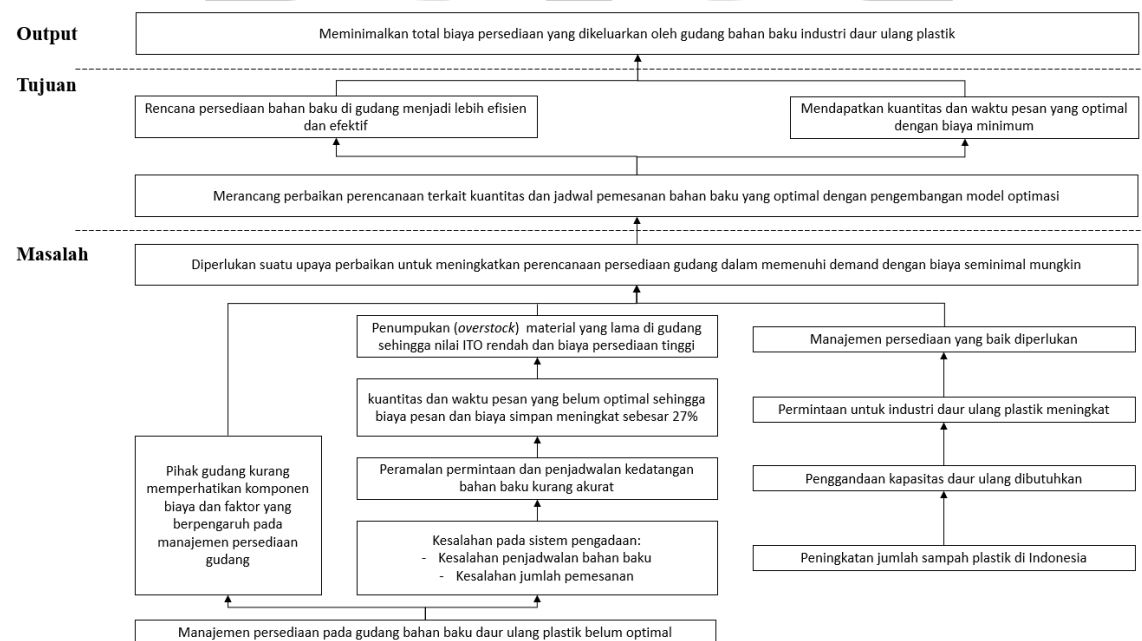
yang tepat. Berlandaskan latar belakang tersebut, penelitian ini akan menyelesaikan permasalahan tersebut dengan menerapkan metode *Mixed Integer Linear Programming* untuk penentuan kuantitas pesan dan waktu pesan yang menghasilkan biaya total persediaan yang minimum sesuai kondisi dalam sebuah gudang bahan baku daur ulang plastik.

1.2. Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang, dihasilkan suatu perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu, “Bagaimana upaya untuk meminimalkan total biaya bahan baku pada industri daur ulang plastik menggunakan metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP)?”.

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

Sumber: Hasil wawancara pihak terkait, 2023

1.4. Tujuan Penelitian

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

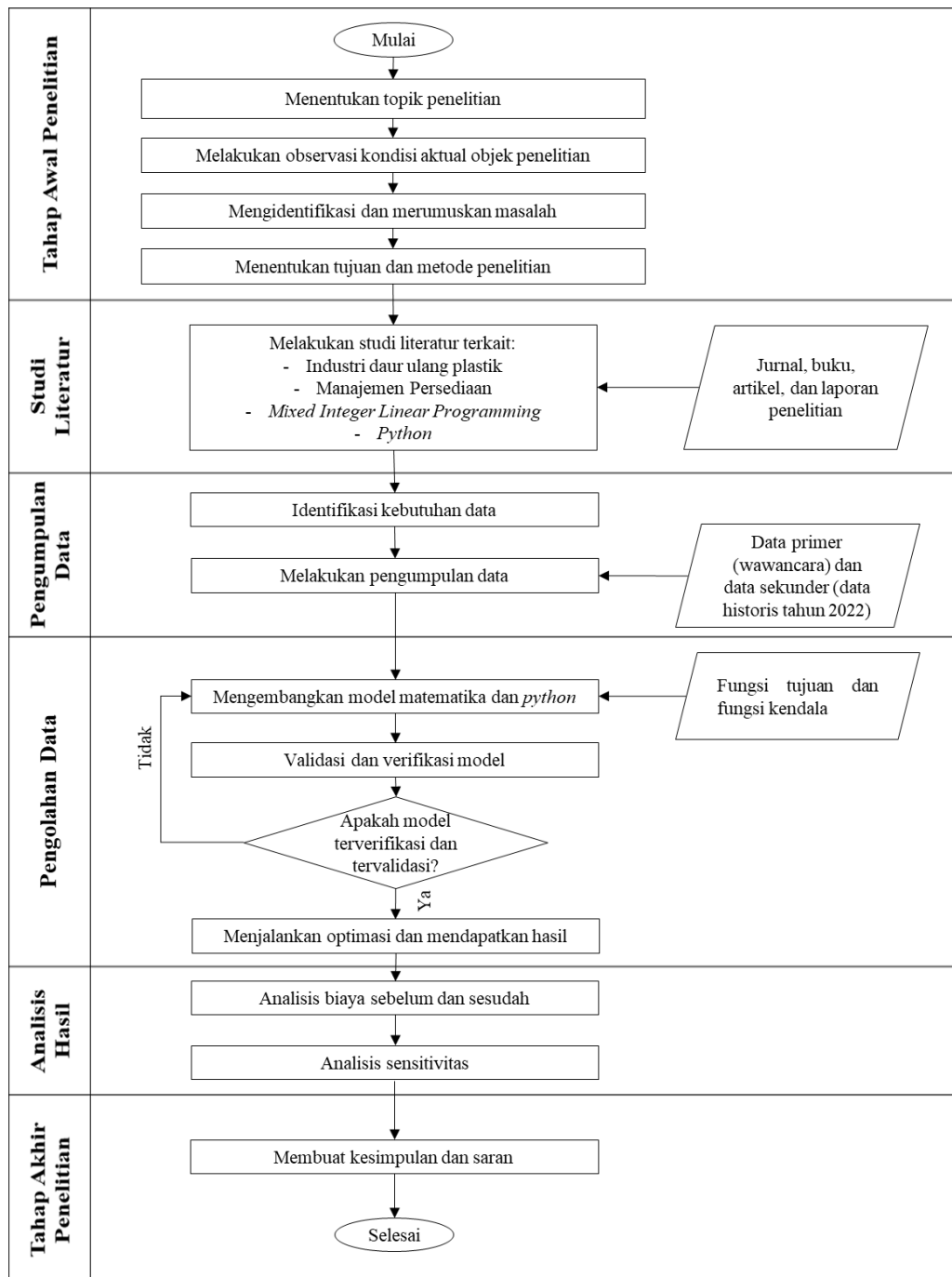
1. Mendapatkan model matematis untuk meminimalkan biaya bahan baku pada industri daur ulang plastik.
2. Mendapatkan kuantitas (Q) dan waktu pemesanan bahan baku pada industri daur ulang plastik.

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 adalah:

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 diambil dari data historis perusahaan pada bulan Januari sampai Desember tahun 2022.
3. Material yang diteliti merupakan ketiga bahan baku utama yang digunakan untuk daur ulang plastik, yaitu botol PET bekas pakai *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 yaitu 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 (Q) dan waktu pemesanan (T) material yang optimal sebagai rekomendasi.

2. Studi Literatur

Studi literatur terdiri dari teori-teori penelitian yang berasal dari berbagai referensi antara lain buku, jurnal, 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 pada 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 dengan 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 mengidentifikasikan 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, analisis perbandingan dan analisis hubungan. Analisis sensitivitas dilakukan untuk menentukan apakah model telah valid mampu menghasilkan hasil yang optimal.

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 karakteristik industri daur ulang plastik, proses pengadaan dan penyimpanan, metode peramalan, persediaan pengaman, *inventory turnover* dan optimasi dengan metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP).

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*.

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 dalam proses pengadaan dan penyimpanan bahan baku pada gudang. Hasil ini selanjutnya juga dianalisis dengan menggunakan 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 akan membahas mengenai literatur dari berbagai sumber terkait dengan penelitian yang terdiri dari manajemen persediaan gudang, program linear MILP, verifikasi dan validasi model, serta perangkat lunak yang digunakan.

2.1. Manajemen Persediaan Gudang

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*).

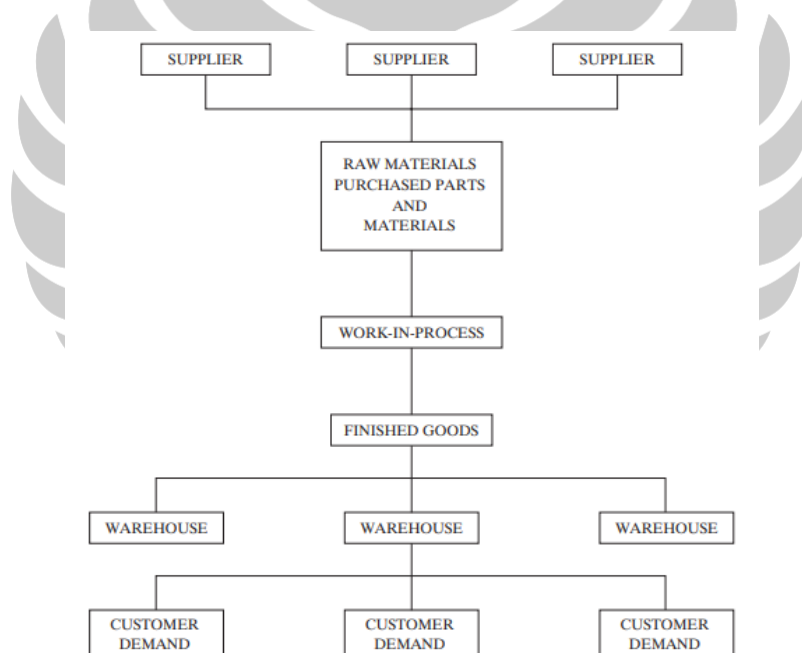
2.1.1. Definisi Persediaan

Persediaan menurut Jacobs & Chase (2014) adalah sumber daya yang digunakan perusahaan untuk melakukan kegiatan operasional. Sedangkan menurut Herjanto (2015), persediaan adalah barang yang disimpan dan digunakan oleh perusahaan untuk mencapai suatu tujuan tertentu. 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 namun juga tidak terlalu sedikit dan menyebabkan *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 dan 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 (Q) dan waktu pesan akan menghasilkan total biaya persediaan yang minimum (Kusuma & Hakim, 2020)

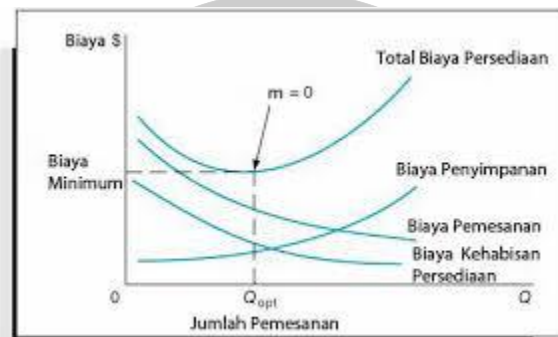
2.1.2. Fungsi Persediaan

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 sebagainya. 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 pesan 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

Gambar 2.2. menunjukkan hubungan komponen biaya persediaan dalam berinteraksi menciptakan 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 simpan menjadi lebih tinggi dan biaya pesan lebih rendah. 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 daur ulang plastik 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 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 2.2., 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 seperti yang tertera pada tabel 2.1. σ_{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 linier 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 *trend*, *level*, dan *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). MAPE adalah adalah suatu pengukuran akurasi dengan menghitung persentase kesalahan dalam peramalan. (Phakdeewongthep, 2021).

2.2. Program Linier

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

2.2.1. Definisi Program Linier

Program linier 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 linier (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. Pada dasarnya, fungsi tujuan ditulis sebagai berikut:
3. Fungsi kendala, yaitu parameter yang membatasi keputusan dalam bentuk persamaan atau pertidaksamaan matematika.

Secara teori, program linier dibagi menjadi dua jenis berdasarkan bentuk hasil pemrograman, yaitu program linier integer dan program linear non-integer. Program linier integer dibagi kembali menjadi dua jenis, yaitu *Pure Integer Linear Programming* (PILP) dan program linier 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 optimisasi 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 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), Tap (2012) yang dilakukan 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 perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu bahasa pemrograman *Python* dan *Gurobi Optimizer*.

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 dan 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).

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 merepresentasikan kondisi aktual. Model yang berhasil terverifikasi dan tervalidasi memberikan hasil yang baik sehingga dapat diimplementasikan menjadi pertimbangan untuk pengambilan keputusan dan perancangan strategi.

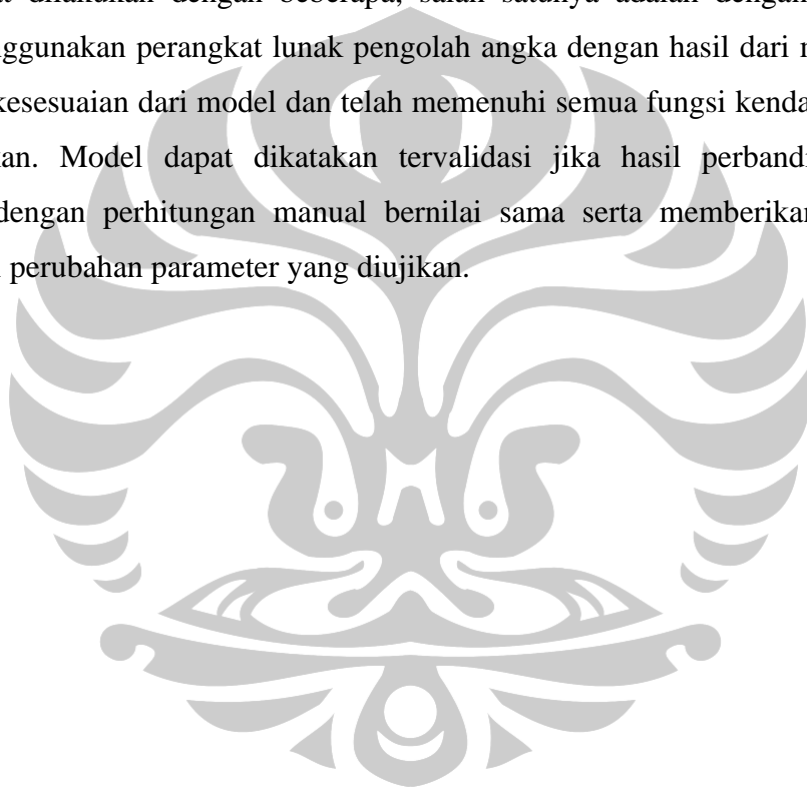
2.4.1. Verifikasi Model

Verifikasi model adalah suatu proses untuk menentukan bahwa implementasi model dapat merepresentasi 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, salah satunya adalah 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. 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 akan membahas mengenai data-data yang dikumpulkan dan proses-proses dalam mengolah data yang terdiri dari peramalan permintaan, 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 selama banyak periode (*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

Data harga bahan baku adalah data 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 di masa yang akan datang. 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	Lead Time
1	<i>Clear</i>	Kg	1-3 hari
2	<i>Light Blue</i>	Kg	1-3 hari
3	<i>Mix</i>	Kg	1-3 hari

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. Biaya operasional terdiri dari biaya persiapan simpan (*setup cost*), biaya sewa gudang, biaya keusangan, biaya asuransi penyimpanan, biaya pajak, biaya pemeliharaan penyimpanan, biaya administrasi pencatatan penyimpanan, biaya tenaga kerja penyimpanan, biaya peralatan penunjang atau fasilitas penyimpanan meliputi bahan bakar dan perawatan *forklift*. Faktor pembeda biaya simpan pada tiap bahan baku adalah harga masing-masing bahan baku. Rincian data biaya simpan 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) / kg
1	<i>Clear</i>	Operasional penyimpanan	9	84
		Faktor harga bahan baku	3	
2	<i>Light Blue</i>	Operasional penyimpanan	9	70
		Faktor harga bahan baku	1	
3	<i>Mix</i>	Operasional penyimpanan	9	77
		Faktor harga bahan baku	2	

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 asuransi pengiriman, biaya pajak, biaya administrasi untuk melakukan pemesanan meliputi biaya admin, listrik, pulsa, internet, peralatan kantor, serta biaya pengiriman seperti tenaga kerja pengiriman dan bahan bakar truk. Kedua hal ini merupakan komponen utama yang berkontribusi paling besar dalam penyusunan total biaya persediaan yang dikeluarkan pergudangan dalam masalah penyimpanan bahan baku secara umum maupun dalam konteks penelitian ini. 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) / Satu Kali
1	Pengiriman truk	100.000
2	Administrasi kantor	24.000
	Total	124.000

Sumber: Data Historis Perusahaan Tahun 2022

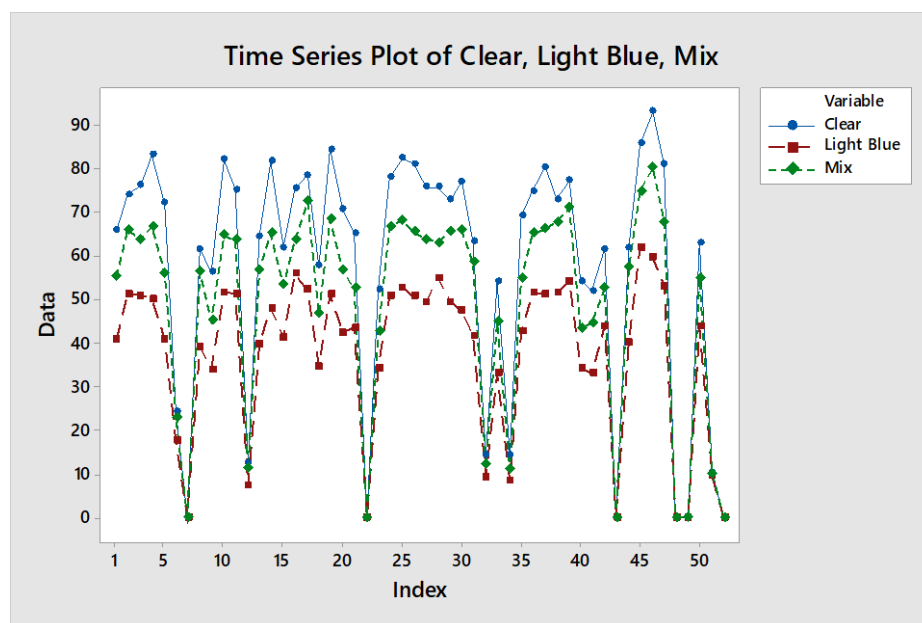
3.2. Pengolahan Data

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 akhirnya, model yang telah dikembangkan 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*), *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 seperti *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 *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 error 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 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 rumus 3.1 oleh Waters (2003) sebagai berikut:

$$Safety\ Stock = Z \times \sigma_{demand} \times \sqrt{Lead\ Time} \quad (3.1)$$

Z adalah angka standar deviasi dari rata-rata yang berhubungan dengan *service level* tertentu, σ_{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 digunakan oleh penelitian Mohammadi & Shekarian (2017) yang juga 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 3 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 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:

3.2.3.1. 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 material berasal dari pemasok-pemasok yang berbeda sehingga pemesanan terpisah

3.2.3.2. Indeks

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

3.2.3.3. 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

3.2.3.4. 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

3.2.3.5. Fungsi Tujuan

Meminimalkan total biaya persediaan bahan baku

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^T o_i Y_{it} + \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^T h_i X_{it} \quad (3.2)$$

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

3.2.3.6. Fungsi Kendala

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

$$X_{it} = X_{i(t-1)} + Q_{i(t-1)} - D_{i(t-1)} \quad \forall i; \forall t \quad (3.4)$$

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

$$X_{it} \geq SS_{it} \quad \forall i; \forall t \quad (3.5)$$

- 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

$$Q_{it} \leq M Y_{it} \quad \forall i; \forall t \quad (3.6)$$

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

$$X_{it} \leq C_i \quad \forall i; \forall t \quad (3.7)$$

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

$$Y_{it} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad \forall i; \forall t \quad (3.8)$$

6) Mendefinisikan variabel keputusan adalah non-negatif

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

$$Y_{it} \geq 0 \quad \forall i; \forall t \quad (3.10)$$

$$X_{it} \geq 0 \quad \forall i; \forall t \quad (3.11)$$

3.3. Verifikasi dan Validasi Model

3.3.1. Verifikasi Model

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

1) Meminimalkan total biaya persediaan bahan baku

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^T o_i Y_{it} + \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^T h_i X_{it} \quad (3.2)$$

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

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})

$$X_{it} = X_{i(t-1)} + Q_{i(t-1)} - D_{i(t-1)} \quad \forall i; \forall t \quad (3.4)$$

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

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

$$X_{it} \geq SS_{it} \quad \forall i; \forall t \quad (3.5)$$

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

- 4) 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

$$Q_{it} \leq MY_{it} \quad \forall i; \forall t \quad (3.6)$$

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

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

$$X_{it} \leq C_i \quad \forall i; \forall t \quad (3.7)$$

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*

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

$$Y_{it} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad \forall i; \forall t \quad (3.8)$$

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

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

$$Y_{it} \geq 0 \quad \forall i; \forall t \quad (3.10)$$

$$X_{it} \geq 0 \quad \forall i; \forall t \quad (3.11)$$

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 ditranslasikan, 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: 2.05448e+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 hasil atau 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 dengan fungsi batasan 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 pemesanan sebanyak x kali 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}) dari hasil pengolahan model. 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.x.

```
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 *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) yang dapat dilihat pada tabel 3.9 dan tabel 3.10.

Tabel 3.9 Data *Dummy* 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

Tabel 3.10 Data *Dummy* 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

Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
 Best objective 7.600000000000e+01, best bound 7.600000000000e+01, gap 0.0000%

Gambar 3.11 Nilai Objektif Hasil Model *Python*Tabel 3.11 Data *Demand* Bahan Baku

<i>Part</i>	Periode (Minggu Ke-)	<i>Demand</i>	Kuantitas Pemesanan (Q)	Periode Pesanan (Minggu Ke-)	<i>Inventory</i> Awal (Unit)	Total Biaya
5	1	0			0	\$76
	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	
Total		134	134	10	66	76

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 dengan perbedaan hanya pada data yang digunakan. Hasil yang didapatkan dari perhitungan secara manual pada tabel 3.11 sama dengan hasil model *Python*, yaitu sebesar \$148 yang terdiri dari biaya

pesan sebesar \$10 dan biaya simpan sebesar \$66. 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 bahan baku yang paling optimal dimana menghasilkan biaya minimum sehingga tujuan penelitian untuk meminimalkan total biaya persediaan gudang bahan baku dapat tercapai. Hasil dari total biaya persediaan dari setiap bahan baku dan rencana pemesanan (kuantitas dan waktu) yang optimal dapat dilihat pada tabel 3.11.

Tabel 3.12 Hasil Akhir Kuantitas Pesan dan Biaya Persediaan Periode Historis

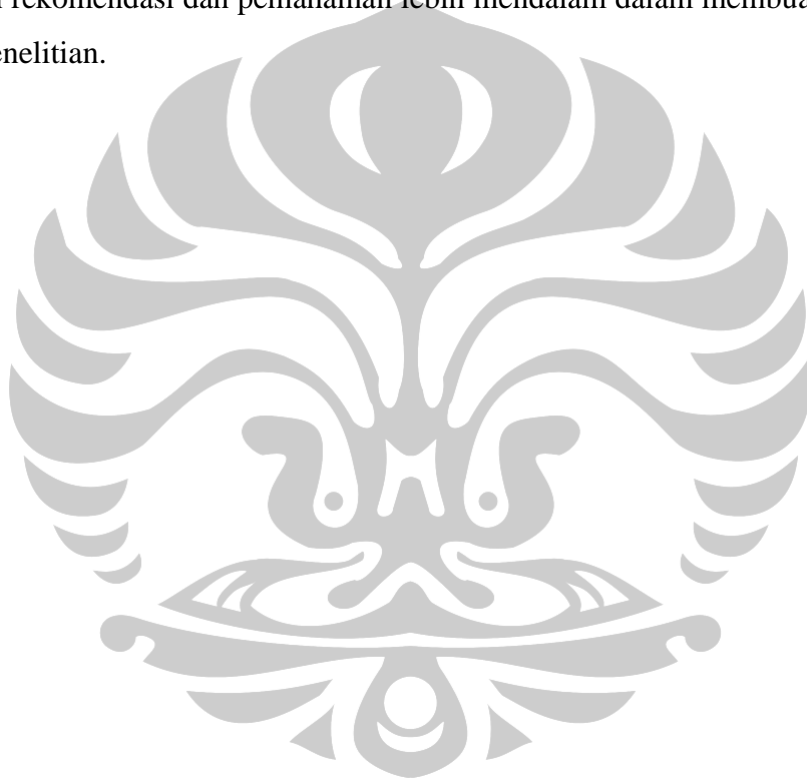
No.	Nama Bahan Baku	Satuan	Permintaan	Kuantitas Pemesanan	Total Biaya Persediaan (Rp)
1	<i>Clear</i>	kg	2.999.572	2.999.572	205.448.440
2	<i>Light Blue</i>	kg	1.953.108	1.953.108	117.718.350
3	<i>Mix</i>	kg	2.542.053	2.542.053	163.432.109
Total			7.494.733	7.494.733	486.598.899

Berdasarkan hasil model tersebut, dapat diketahui bahwa semua permintaan bahan baku terpenuhi dengan biaya yang minimal. Kemudian setelah mendapatkan hasil model pada data historis, model juga dijalankan pada data *forecasted demand* untuk 12 periode ke depan yang telah diramalkan sebelumnya. Hasil model pada *forecasted demand* dapat dilihat pada tabel 3.12.

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	45.593.964
2	<i>Light Blue</i>	kg	654.554	654.554	28.329.150
3	<i>Mix</i>	kg	773.940	773.940	38.323.029
Total			2.313.327	2.313.327	112.246.143

Berdasarkan tabel di atas, maka total biaya persediaan untuk periode peramalan dapat diketahui dan selanjutnya digunakan sebagai acuan atau rekomendasi perencanaan bahan baku bagi gudang perusahaan. Penggunaan model ini dapat menjadi salah satu alat perencanaan dan penjadwalan bahan baku dimana hasilnya berhubungan dengan *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 untuk memberikan rekomendasi dan pemahaman lebih mendalam dalam membuat kesimpulan dan saran penelitian.



BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Hasil

4.1.1. Analisis Kuantitas Pemesanan (Q)

4.1.2. Analisis Periode Pemesanan

4.1.3. Analisis Total Biaya Persediaan

4.2. Analisis Perbandingan Sebelum dan Sesudah

4.2.1. Perbandingan Biaya

4.2.2. Perbandingan Nilai ITO

4.3. Analisis Sensitivitas

4.3.1. Perubahan Parameter Harga Beli Material

4.3.2. Perubahan Parameter Permintaan

4.4. Analisis Hubungan

4.4.1. Hubungan Pola Permintaan dan Total Biaya Persediaan

4.4.2. Hubungan x dan y

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

5.2. Saran



DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, J. R., Chapman, S. N., & Clive, L. M. (2012). *Introduction to Materials Management 7th ed.* Pearson Prentice Hall
- Badan Pengawasan Obat dan Makanan Republik Indonesia. (2019). Pedoman dan Kriteria Plastik Berbahan *Polyethylene Terephtalate* (PET) Daur Ulang yang Aman untuk Kemasan Pangan 2019. Jakarta: Direktorat Standardisasi Pangan Olahan Badan Pengawasan Obat dan Makanan RI
- Chopra, S. and Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation, 6th edition.* Prentice-Hall, New Jersey.
- European Federation of Bottled Waters. (2015). *The Facts about PET.*
- Fiorroto et al. (2016). *An analysis of formulations for the capacitated lot sizing problem with setup crossover.* Computers & Industrial Engineering 106, 338
- Geyer, R., Jambeck, J., Law, K. (2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made.* Science Advances. Vol 3, Issue 7. DOI: 10.1126/sciadv.1700782
- Gurobi Optimization, LLC. (2021). *Gurobi Optimization Reference Manual.*
- Hamdy A. Taha. *Operations Research: An Introduction 8th Edition.* Prentice-Hall, Inc, 2007
- Heizer, J. & Barry, R. (2014). *Operations management: sustainability and supply chain management.* Pearson Education
- Hopewell et al (2009). *Plastics recycling: challenges and opportunities.* Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2115- 2126
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2021). *Marine Plastic Polution. Issue Brief.* <https://www.iucn.org/resources/issues-brief/marine-plastic-pollution>
- Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2014). *Operations and Supply Chain Management 14th edition.* McGraw-Hill Education

- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K. 2015. *Plastic waste inputs from land into the ocean. Science*. 347. 6223. <https://science.sciencemag.org/content/347/6223/768>
- Johns, D. T., dan H. A. Harding. 2001. *Operations Management*, alih bahasa Kresnohadi Ariyoto. Salemba Empat: Jakarta.
- Jünger, M., Naddef, D., Pulleyblank, W. R., Rinaldi, G., Liebling, T. M., Nemhauser, G. L., Reinelt, G., & Wolsey, L. A. (2010). *50 years of integer programming 1958- 2008: From the early years to the state-of-the-art. In 50 Years of Integer Programming 1958-2008: From the Early Years to the State-of-the-Art*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68279-0>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN): Grafik Komposisi Sampah. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- 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*. <https://doi.org/10.3390/pr7100760>
- Letcher, T. M. (2020). *Introduction to plastic waste and recycling. In Plastic Waste and Recycling*. Elsevier Inc
- Majumdar, et al. (2020). *Circular fashion: Properties of fabrics made from mechanically recycled poly-ethylene terephthalate (PET) bottles. Resources, Conservation & Recycling*
- McKinney, W. (2013). *Python for Data Analysis*. O'Reilly Media, Inc.
- Miller, S. A. (2020). *Five Misperceptions Surrounding the Environmental Impacts of Single-Use Plastic. Environmental Science & Technology*, 14143-14151

- 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>
- 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. (2015). *An Introduction to PET*
- Phakdeewongthep. (2021). *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*.
- Pinedo, L. (2005). *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. *Springer Series in Operations Research*. New York.
- Pochet, Y. & Laurence A. Wolsey. (2006). *Production Planning by Mixed Integer Programming*. *Springer Series in Operations Research and Financial Engineering*. New York
- Sameh Samir Ali, T. E.-S. (20221). *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*
- Taha. H. A. (2007). *Operations Research: An Introduction*. 8th Edition. Prentice-Hall, Inc
- Tap, M., & Mohammadi, M. (2012). *A Mixed Integer Programming Model Formulation for Solving the Lot-Sizing Problem*. *International Journal of Computer Science Issues*, 9(2), 28-36. DOI: 10.48550/arXiv.1205.6179
- The World Bank. (2021). *Pembuangan Limbah Plastik dari Sungai dan Garis Pantai di Indonesia*.

Waters, D. (2003) *Inventory Control and Management*, John Wiley & Sons, New York

World Economic Forum. (2020). Mengurangi Polusi Plastik Secara Radikal di Indonesia.



LAMPIRAN

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

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

	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 2 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 3 Hasil Pengolahan Model dengan *Python*

Lampiran 4 Bahasa Pemrograman *Python* dalam Pengembangan Model

