



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 STUDI 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 STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2023**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

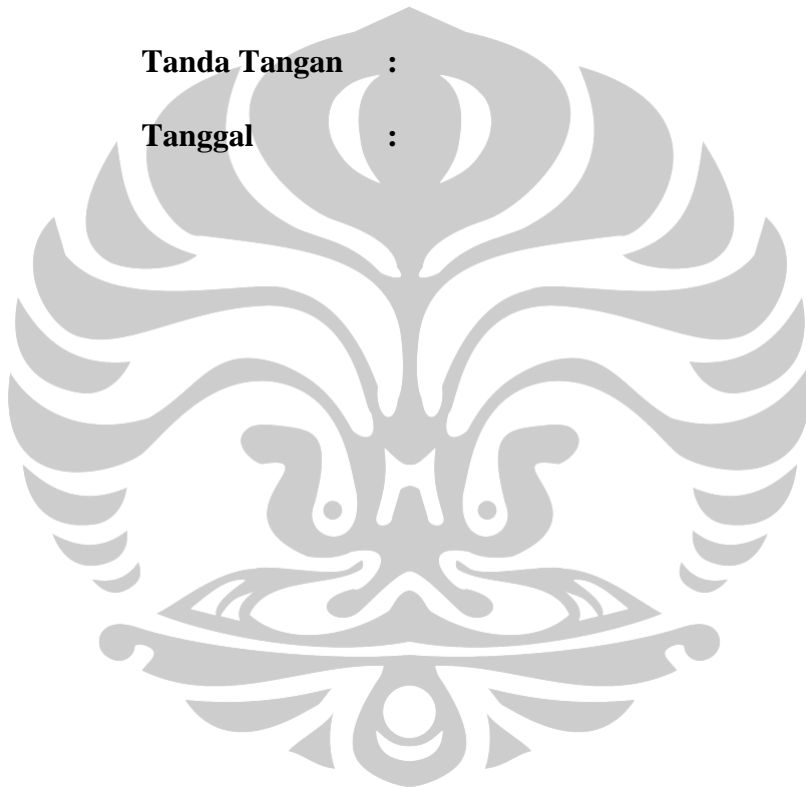
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

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, karena 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 Pak 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 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, Fransiscus, Wahyu, dan teman bimbingan yang sama-sama berjuang menyelesaikan skripsi dan membantu penulis dengan semangat.
6. Sobat Amongusxstatdas yang sangat baik membuat kehidupan perkuliahan 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)

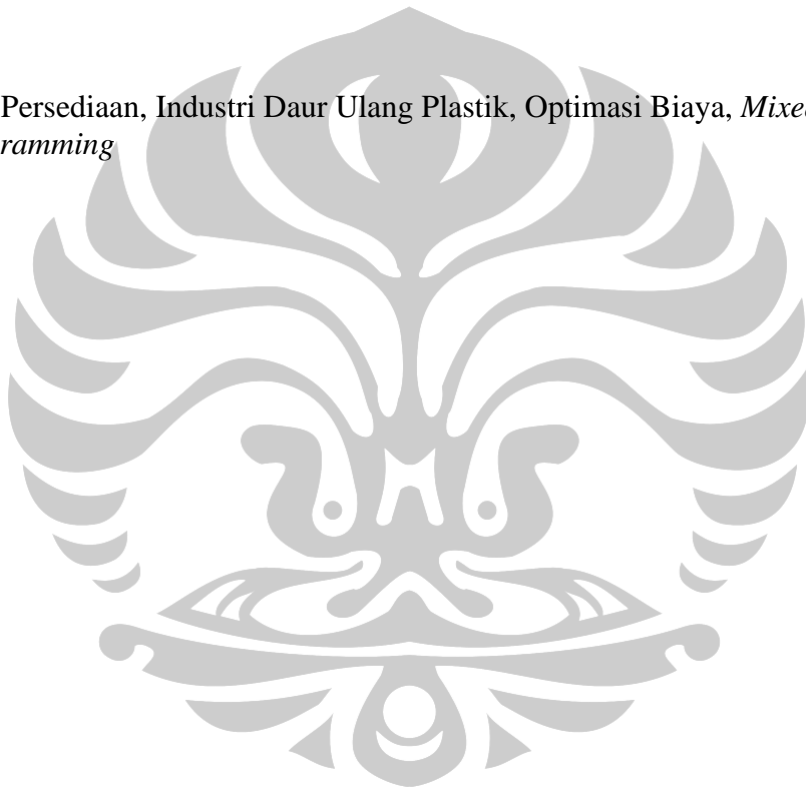
ABSTRAK

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 (max. 500 words)

Kata Kunci:

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



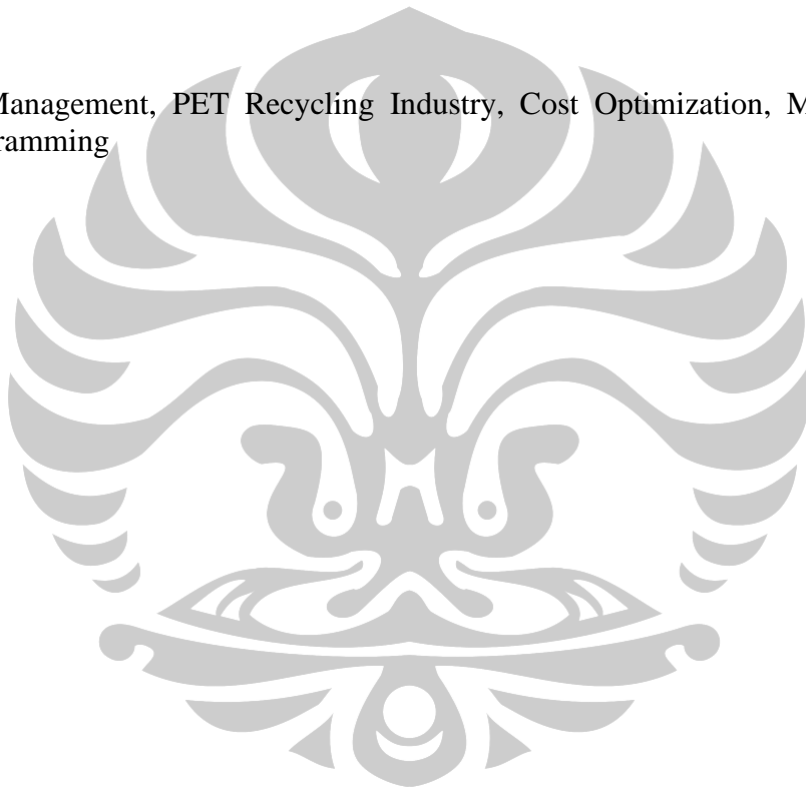
ABSTRACT

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 xx (max. 500 words)

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	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
1. BAB 1 PENDAHULUAN	13
1.1. Latar Belakang	13
1.2. Rumusan Permasalahan	17
1.3. Diagram Keterkaitan Masalah.....	17
1.4. Tujuan Penelitian	17
1.5. Batasan Penelitian	18
1.6. Metodologi Penelitian	19
1.7. Sistematika Penulisan.....	21
2. BAB 2 LANDASAN TEORI	13
2.1. Manajemen Persediaan Gudang	13
2.1.1. Definisi Persediaan	13
2.1.2. Fungsi Persediaan	14
2.1.3. Proses Pengadaan Persediaan	14
2.1.4. <i>Inventory Turnover</i>	15
2.1.5. Persediaan Pengaman (<i>Safety Stock</i>)	16
2.1.6. Metode Peramalan Permintaan (<i>Demand Forecasting</i>)	17
2.2. Program Linier	18
2.2.1. Definisi Program Linier.....	18
2.2.2. Mixed-Integer Linear Programming (MILP).....	18
2.3. <i>Python</i> dan <i>Gurobi Optimizer</i>	19
2.3.1. <i>Python</i>	19
2.3.2. <i>Gurobi Optimizer</i>	19
2.4. Verifikasi dan Validasi Model	20
2.4.1. Verifikasi Model.....	20
2.4.2. Validasi Model	21
3. BAB 3 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	30
3.1. Pengumpulan Data	13
3.1.1. Data Permintaan Bahan Baku.....	13
3.1.2. Data Harga Bahan Baku	13
3.1.3. Lead Time Bahan Baku	13
3.1.4. Biaya Pesan dan Biaya Simpan Bahan Baku.....	13
3.2. Pengolahan Data.....	13
3.2.1. Perhitungan Nilai <i>Safety Stock</i>	13
3.2.2. Data Permintaan Material	13

3.2.3. Data Permintaan Material	13
3.2.4. Data Permintaan Material	13
3.3. Verifikasi dan Validasi Model	13
3.3.1. Verifikasi Model.....	13
3.3.2. Validasi Model	13
3.4. Hasil Pengolahan Data	13
4. BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	x
5. BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	x
DAFTAR PUSTAKA	x
LAMPIRAN.....	x



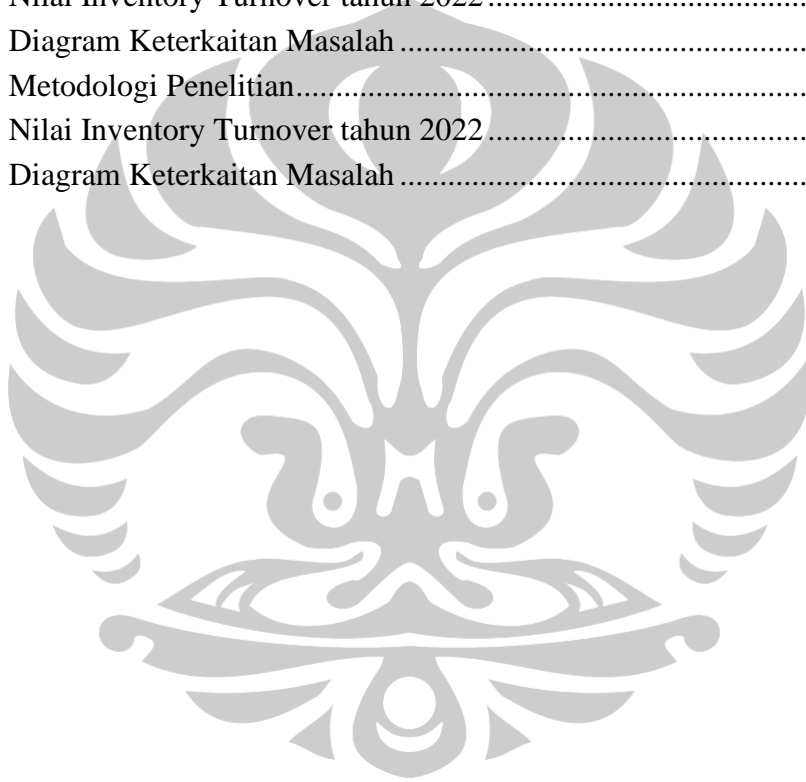
DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Safety Factor Berdasarkan Service Level.....	1
Tabel 2.2 Lead Time Material	1
Tabel 2.3 Holding Cost Material	1



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 Inventory Turnover 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.....	4
Gambar 3.1. Bahan Baku Utama Daur Ulang Plastik	4
Gambar 3.2. Nilai Inventory Turnover tahun 2022	5
Gambar 3.3. Diagram Keterkaitan Masalah	7
Gambar 3.4. Metodologi Penelitian.....	9
Gambar 3.5. Nilai Inventory Turnover tahun 2022	5
Gambar 3.6. Diagram Keterkaitan Masalah	7



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. xxx.....	57
Lampiran 2. xxx.....	62
Lampiran 3. xxx.....	67



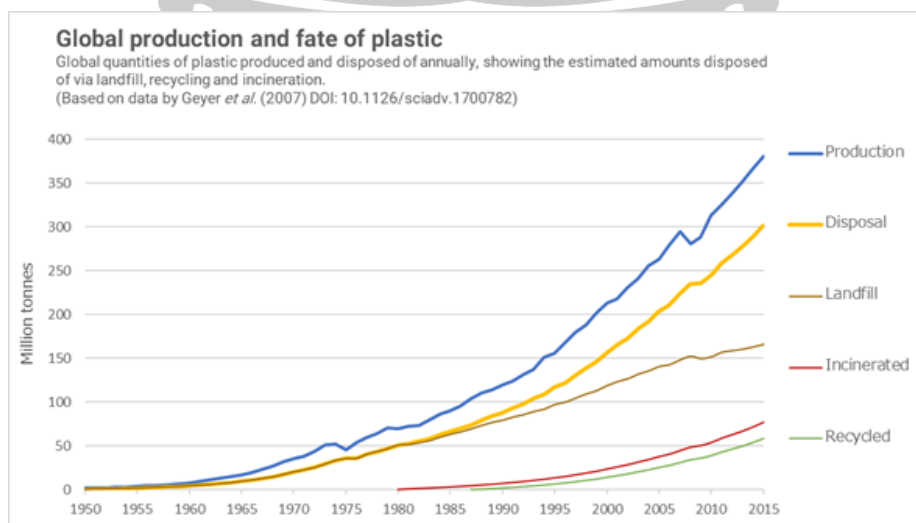
BAB 1 PENDAHULUAN

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 baik di darat maupun di laut 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 dapat terjadi karena produksi plastik yang tinggi. 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)

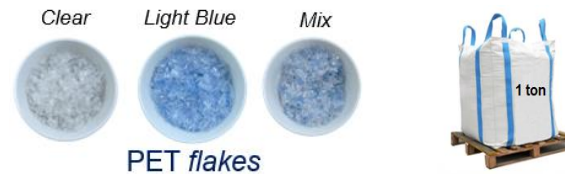
Sampai saat ini, kapasitas pengelolaan limbah Indonesia belum mampu menangani besarnya jumlah limbah plastik yang dihasilkan. Oleh karena itu, dibutuhkan peningkatan kapasitas pada perusahaan daur ulang sampah plastik di Indonesia. Pemerintah telah mencanangkan program Indonesia Bersih Sampah 2025 yang 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 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.

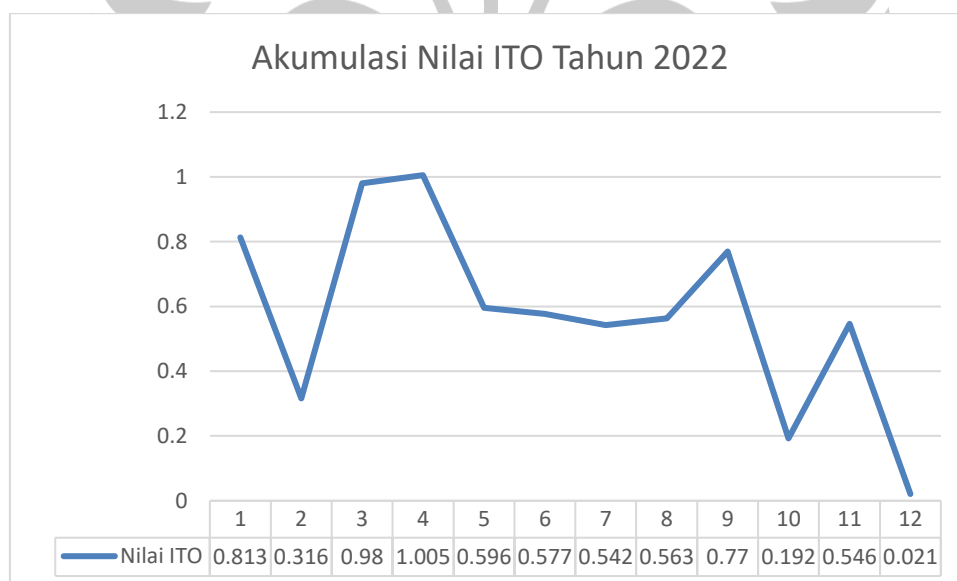


Gambar 1.3. Bahan Baku Utama Daur Ulang Plastik

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*

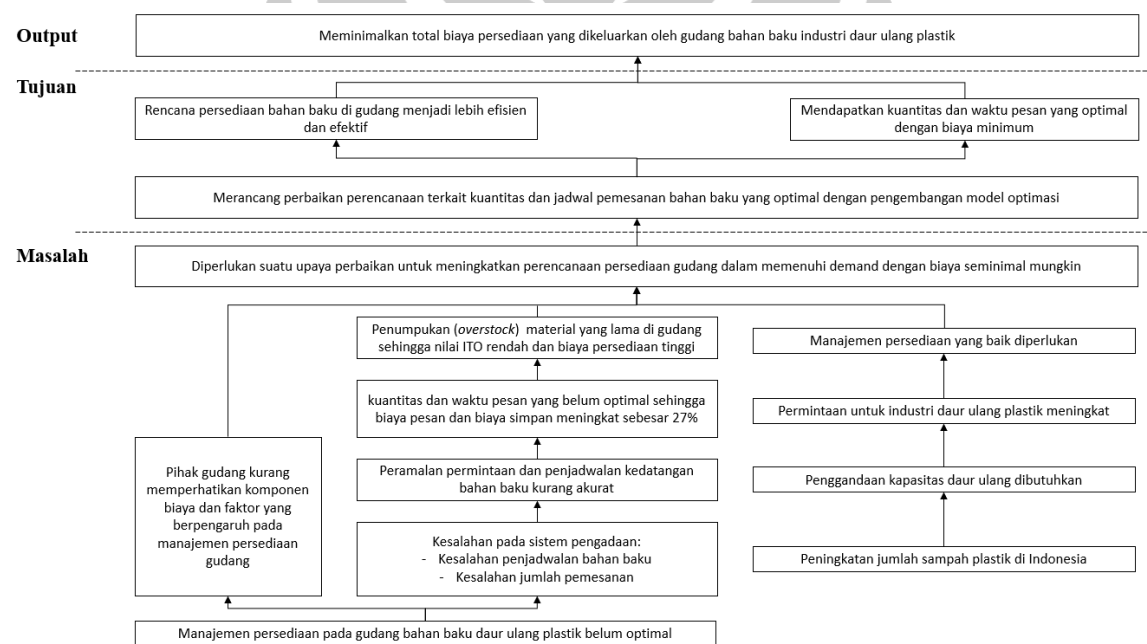
untuk penentuan kuantitas pesan dan waktu pesan yang menghasilkan biaya total persediaan yang minimum sesuai kondisi dalam sebuah gudang bahan baku daur ulang plastik.

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 apa yang dibutuhkan untuk menyelesaikan masalah tersebut, dibuatlah diagram keterkaitan masalah sebagai berikut:



Gambar 1.5. Diagram Keterkaitan Masalah

Sumber: Hasil wawancara pihak gudang, 2023

1.4. Tujuan Penelitian

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

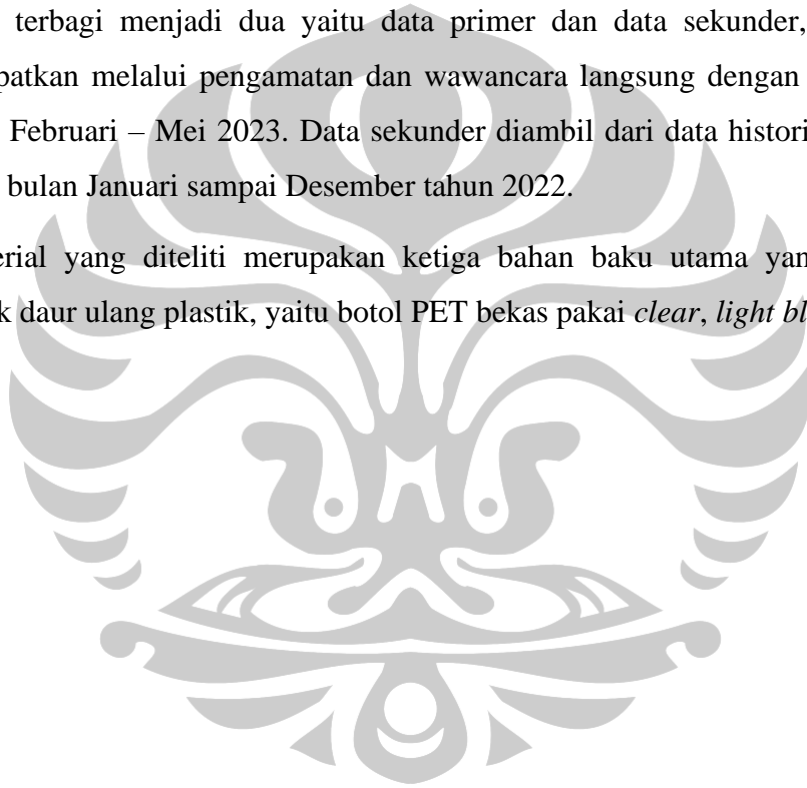
1. Mendapatkan model matematis untuk meminimalkan biaya bahan baku pada industri daur ulang plastik.

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

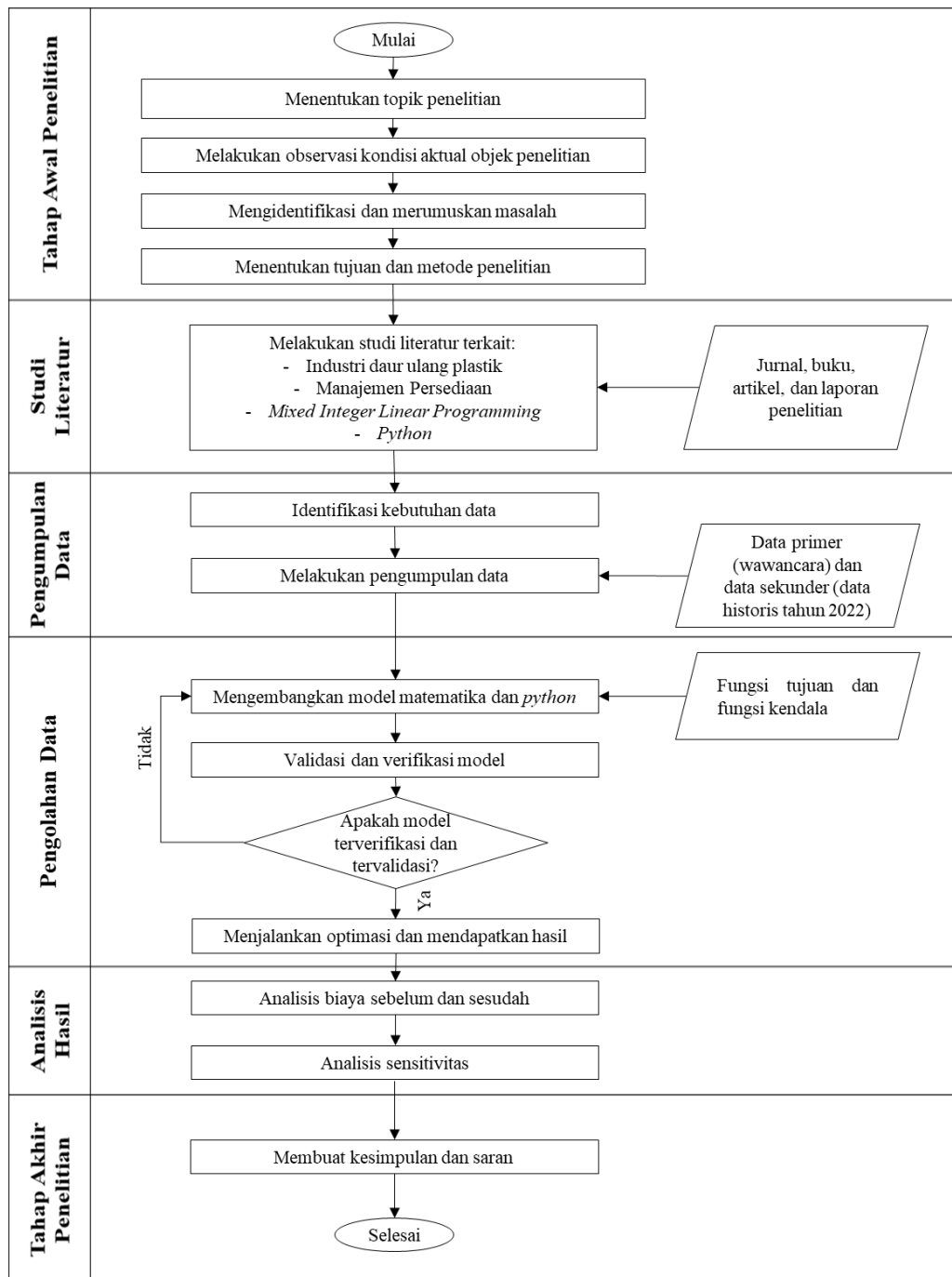
1.5. Batasan Penelitian

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 mengidentifikasi indeks, sets, parameter, variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala yang sesuai dengan permasalahan. Model matematika tersebut lalu diterjemahkan ke dalam bahasa pemrograman *Python* lalu dilakukan verifikasi dan validasi model yang telah terbentuk sebelum model dijalankan dan hasil pengolahan data dapat dikumpulkan.

5. Analisis Hasil

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

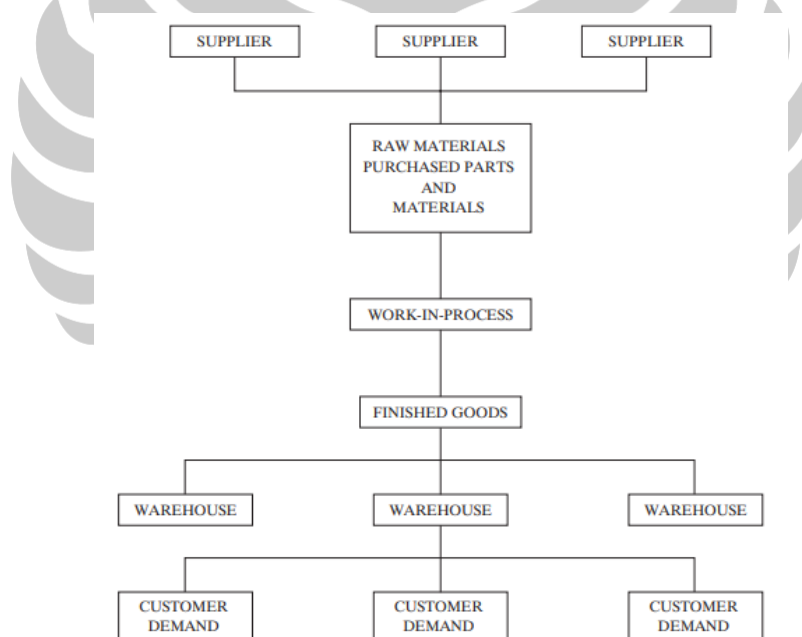
2.1.1. Definisi Persediaan

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

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)

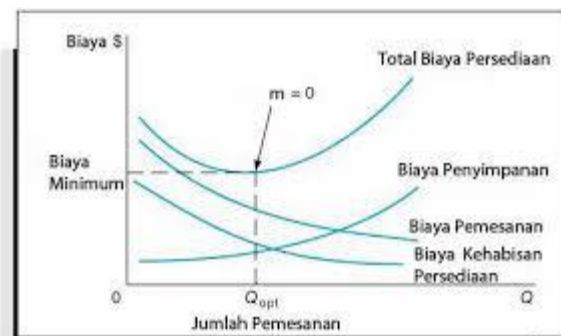
2.1.2. Fungsi Persediaan

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). Terdapat beberapa 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.

Berdasarkan kesesuaian metode-metode peramalan yang tersedia terutama pada industri daur ulang plastik, penelitian ini menentukan metode terbaik dengan membandingkan akurasi *Mean Absolute Percent Error* (MAPE). MAPE 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)

Metode penyelesaian masalah penelitian operasi dimana pemrograman sebuah model dibuat memberikan sebagian output variabel bernilai integer dan sebagian lain bukan bernilai integer (Taha, 2007) 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 perhitungan nilai safety stock, 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

Biaya simpan (*holding cost*) merupakan semua biaya yang timbul dari aktivitas penyimpanan bahan baku. Biaya simpan dalam penelitian ini terdiri dari 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*. 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 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. Komponen pada biaya simpan dan biaya pesan ditemukan dengan melakukan identifikasi biaya terhadap proses-proses yang terlibat dalam aktivitas penyimpanan dan pemesanan 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	Satuan	Biaya Simpan (Rp) / kg
1	<i>Clear</i>	Kg	12,58
2	<i>Light Blue</i>	Kg	11,75
3	<i>Mix</i>	Kg	12

Sumber: Data Historis Perusahaan Tahun 2022

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.	Nama Proses Pemesanan	Biaya Pesan (Rp) / Satu Kali
1		
2		
3		
	Total	

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*)

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).

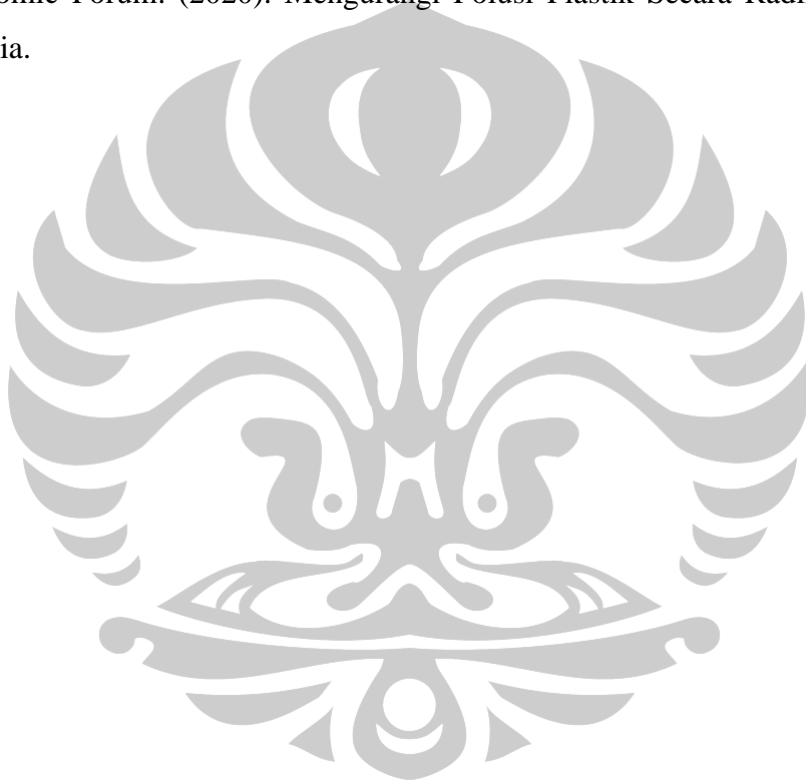
DAFTAR PUSTAKA

- 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 Pollution. 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 (Issue May 2014). <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 Multidisciplinary Research Conference.
- Pinedo, L. (2005). *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. Springer Series in Operations Research. 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		
		Clear	Light Blue	Mix
Januari	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
Februari	6			
	7			
	8			
	9			
Maret	10			
	11			
	12			
	13			
April	14			
	15			
	16			
	17			
Mei	18			
	19			
	20			
	21			
	22			
Juni	23			
	24			
	25			
	26			
Juli	27			
	28			

	29			
	30			
Agustus	31			
	32			
	33			
	34			
	35			
September	36			
	37			
	38			
	39			
Oktober	40			
	41			
	42			
	43			
November	44			
	45			
	46			
	47			
	48			
Desember	49			
	50			
	51			
	52			