

Pengembangan Model Untuk Meminimasi Biaya Persediaan Bahan Baku Pada Industri Makanan dengan Menggunakan Metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP)

Inaki Maulida Hakim¹, Christie Joanna Nathania², Ahmad Nauval Ariq Ms³

¹Departemen Teknik Industri, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia inakimhakim@eng.ui.ac.id

²Departemen Teknik Industri, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia christie.simanjuntak@gmail.com

³Departemen Teknik Industri, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia ahmad.nauval@ui.ac.id

Abstrak—Pertumbuhan konsumsi industri makanan semakin tahun semakin meningkat diiringi dengan jumlah pertumbuhan penduduk di Indonesia setiap tahunnya. Penelitian ini membahas permasalahan pada proses penyediaan bahan baku di industri makanan dengan objek penelitian mi instan. Produk mie instan menjadi salah satu kontributor pada sektor industri makanan dan minuman. Masyarakat di Indonesia sangat gemar makan mie dan dijadikan menu utama dalam kehidupan sehari-hari. Permasalahan yang terjadi pada produk mie instan yaitu peningkatan total biaya persediaan bahan baku dengan beberapa faktor penyebab diantaranya berupa peningkatan harga bahan baku, kenaikan biaya pemesanan, dan ketidakefektifan dalam membuat perkiraan jumlah produksi. Hal ini menyebabkan kenaikan dari harga produk, sedangkan konsumen menginginkan untuk dapat membeli dengan harga yang murah dan peningkatan kualitas baik dari segi produk dan varian rasa yang diminati oleh konsumen. Oleh karena itu, dibutuhkan manajemen persediaan yang baik dengan menentukan jumlah dan waktu pemesanan yang sesuai dengan jumlah permintaan berdasarkan permintaan dari konsumen. Metode penelitian ini untuk pengembangan model dengan menggunakan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) untuk mendapatkan total biaya persediaan yang minimal. Pada tahapan pertama untuk mendapatkan data permintaan yang akurat, pada penelitian ini menggunakan metode peramalan *Winter's Method*. Selanjutnya setelah mendapatkan data permintaan berdasarkan hasil peramalan baru dilakukan penghitungan total biaya bahan baku dengan pengembangan model matematika pada penelitian ini. Hasil penelitian diperoleh penghitungan dari masing-masing total persediaan bahan baku untuk pembuatan mie instan. Pada penghitungan biaya persediaan mempertimbangkan biaya pesan dan biaya pesan sehingga bisa diperoleh secara rinci untuk penghitungan biaya persediaan dan tercapai untuk meminimasi total biaya persediaan.

Kata Kunci—Industri Makanan, *Mixed Integer Linear Programming* (MILP), Minimasi Biaya Persediaan, Peramalan

I. PENDAHULUAN

Industri makanan dan minuman menjadi salah satu sub sektor prioritas menuju industri 4.0. Berdasarkan nilai pertumbuhan yang cukup signifikan sejak awal tahun 2000, industri mi instan menjadi salah satu industri makanan dan minuman yang berpotensi berkembang pesat (Kementerian Perindustrian RI, 2022). Subsektor ini menjadi kontributor terbesar mencapai Rp302,28 triliun atau 34,44% dari PDB sektor industri. Pada kuartal III tahun 2022, kinerja industri tersebut mengalami pertumbuhan per kuartal positif sebesar 4,67% pada tahun 2022. Hal tersebut didukung data yang dikeluarkan oleh *World Instant Noodle Association* (WINA), dimana Indonesia dinyatakan negara dengan tingkat konsumsi mi instan terbanyak kedua di dunia. Konsumsi mi instan pada tahun 2021 meningkat 4,98% menjadi 13,27 miliar bungkus (WINA, 2022). Pemberlakuan pembatasan kegiatan masyarakat serta pemberian bantuan sosial menjadi beberapa faktor yang membuat produk tersebut sebagai alternatif stok makanan di rumah. Nilai penjualan mi instan pada tahun yang sama meningkat 15% sebesar US\$ 3,03 miliar.

Perhatian masyarakat pada tahun 2022 adalah kenaikan harga mi instan sebesar hampir 25%. Faktor utama yang mempengaruhi kejadian tersebut meliputi kenaikan harga bahan baku seperti tepung terigu, minyak goreng, dan bahan-bahan lain yang digunakan dalam proses produksi (Bank Indonesia, 2022). Kementerian Perdagangan juga menyatakan kenaikan harga mi instan dipengaruhi oleh kenaikan biaya produksi dan peningkatan permintaan masyarakat. Variabel biaya yang dapat mempengaruhi diantaranya adalah biaya tenaga kerja dan biaya transportasi. Aktivitas produksi yang bertambah dikarenakan permintaan yang tinggi dari masyarakat juga mempengaruhi harga jual produk (Sari, 2022).

Kenaikan harga produk dapat mempengaruhi keinginan konsumen untuk membeli. Penelitian membuktikan harga sebagai faktor utama pembelian dibandingkan faktor lainnya seperti kualitas atau merek. Jumlah permintaan produk akan berkurang karena konsumen akan memilih alternatif produk lain dengan harga jual lebih rendah atau membatasi jumlah pembelian produk. Oleh karena itu, menekan total biaya selama proses produksi dapat dilakukan sebagai salah satu upaya untuk menghindari hal tersebut. Tindakan seperti perbaikan proses dan menggunakan teknologi yang efisien dapat membantu perusahaan meningkatkan profitabilitas dan tingkat kompetitif (Harvard Business Review, 2014). Studi lain juga menunjukkan bahwa perusahaan yang menerapkan strategi pengendalian biaya secara teratur dan berkesinambungan dapat meningkatkan keuntungan sebesar 10-15% (McKinsey & Company, 2018).

Penelitian ini akan berfokus pada optimasi total biaya penyediaan bahan baku dengan berfokus pada satu varian rasa. Pemilihan varian tersebut ditentukan berdasarkan varian dengan jumlah penjualan tertinggi secara keseluruhan pada periode penelitian sebesar 39.469.160 bungkus. Varian tersebut memberikan kontribusi terbesar terhadap penjualan berdasarkan jenis mi dengan rata-rata penjualan mencapai 70,18%. Dengan begitu, optimasi biaya pada varian ini akan memberikan dampak signifikan pada perusahaan.

Seluruh jenis bahan baku akan melalui analisis optimasi biaya penyediaan dengan metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). MILP adalah salah satu metode optimasi matematis yang digunakan untuk menyelesaikan masalah perencanaan linier yang terdiri dari beberapa variabel bilangan bulat. Metode ini dapat digunakan pada masalah optimasi biaya di industri manufaktur untuk mengidentifikasi jumlah dan waktu pemesanan bahan baku yang optimal sehingga total biaya penyediaan dapat berkurang dan perusahaan memiliki alternatif strategi untuk mempertahankan harga jual produk (Febrianto, I.,2021).

II. LITERATUR

A. Pengadaan Bahan Baku

Proses pengadaan bahan baku merupakan salah satu elemen kunci dalam manajemen rantai pasok. Proses tersebut bertujuan untuk mencapai efisiensi dalam operasional bisnis melalui pengintegrasian pergerakan dan penyimpanan bahan baku dalam perusahaan. Sistem pengadaan terdiri atas dua jenis, yaitu pengadaan rutin dan pengadaan mendesak (Basik, 2015). Bagian pengadaan memiliki beberapa tugas umum seperti menjalin hubungan yang tepat dengan pemasok, memilih pemasok, memilih dan mengimplementasikan teknologi yang sesuai, memelihara data, melakukan proses pembelian, serta mengevaluasi kinerja pemasok.

B. Peramalan

Peramalan merupakan pemikiran terhadap suatu besaran, atau dalam konteks ini berupa permintaan suatu produk pada periode yang akan datang. Tujuan peramalan dalam kegiatan produksi adalah untuk meredam ketidakpastian, sehingga diperoleh suatu perkiraan yang mendekati keadaan yang sebenarnya (Ginting, 2007). Pola permintaan produk terbagi menjadi empat jenis, yaitu pola horizontal, pola musiman, pola siklis, dan pola trend. Metode double exponential smoothing terdiri atas dua parameter, yaitu α dan β . Teknik ini tidak mempertimbangkan komponen musim (Dyna et al., 2023). Sementara itu, Winter's Method merupakan metode peramalan yang dikembangkan untuk mengatasi adanya permasalahan terkait trend dan musim (Utami & Darsyah, 2015). Metode tersebut memiliki dua jenis model: aditif dan multiplikatif. Model aditif digunakan jika plot data asli menunjukkan fluktuasi musiman yang relatif stabil, sedangkan model multiplikatif digunakan apabila plot data asli menunjukkan fluktuasi musiman yang berubah-ubah. Kedua metode peramalan tersebut dapat divalidasi dengan menggunakan sejumlah indikator seperti MAD, MSE, dan MAPE.

C. Program Linear

Program linear merupakan teknik analisis kuantitatif untuk memaksimalkan atau meminimumkan fungsi objektif dari sebuah model matematika. Pembuatan model matematika dengan metode ini tersusun atas empat komponen, yaitu variabel keputusan, fungsi tujuan, fungsi kendala, dan fungsi non negatif. Berdasarkan aturan variabel keputusan yang digunakan dalam pemodelan, ILP terbagi menjadi dua kelompok, yaitu *Pure Integer Linear Programming* dan *Mixed Integer Linear Programming* (Kamal et al., 2012). Model PILP adalah bentuk program linier yang mempertimbangkan variabel-variabel bilangan bulat atau integer dalam permasalahan optimasi. Sementara itu, metode MILP merupakan optimalisasi fungsi linier dengan mempertimbangkan kendala tertentu ketika beberapa variabel bernilai bilangan bulat, sementara variabel lainnya dapat memiliki nilai bilangan riil.

D. Verifikasi dan Validasi Model Matematika

Verifikasi model digunakan untuk menentukan bahwa model matematika yang dirancang sudah mencakup seluruh aspek yang dibutuhkan untuk mendapatkan solusi akurat. Proses ini dilakukan melalui dua jenis aktivitas, yaitu verifikasi kode dan verifikasi perhitungan. Verifikasi model pada perangkat lunak LINGO dapat dilakukan dengan memastikan model matematika yang dimasukkan pada program dapat dijalankan tanpa ada error. Disamping itu, model dapat dikatakan terverifikasi apabila program dapat menampilkan hasil pengolahan data sesuai dengan fungsi objektif yang telah ditetapkan sebelumnya (Kusuma & Hakim, 2020). Fokus utama dari validasi adalah menentukan derajat akurasi atau kesesuaian sebuah model matematika dan memastikan bahwa model konseptual sudah merepresentasikan secara akurat kondisi aktual dari sebuah permasalahan. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan solusi numerik dari hasil komputasi dengan data historis (Thacker et al., 2004). Perhitungan manual dapat dilakukan sebagai salah satu langkah validasi model (Kusuma & Hakim, 2020). Proses ini dapat dilakukan dengan memasukkan hasil variabel keputusan dari perangkat lunak LINGO pada program Microsoft Excel dan melakukan kalkulasi sesuai model matematika yang sudah dikembangkan sebelumnya.

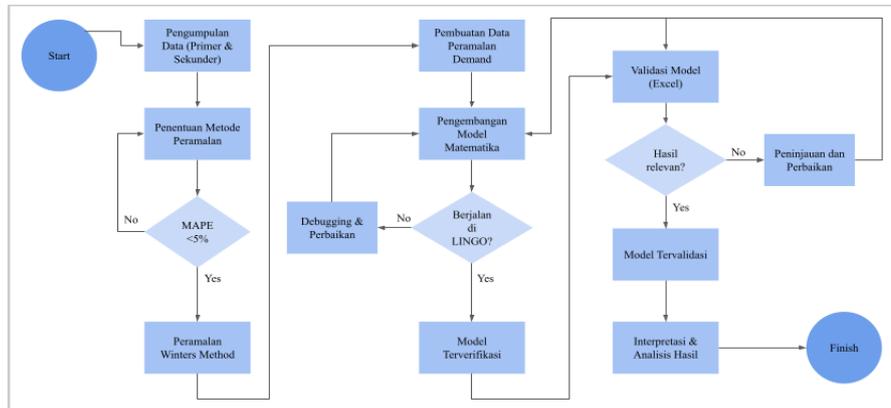
E. LINGO

LINGO dapat mempermudah pengembangan model matematika kompleks dengan menyediakan lima fitur utama: bahasa pemodelan aljabar, kenyamanan opsi data, pembuatan model secara interaktif atau melalui aplikasi turnkey, dokumentasi dan bantuan ekstensif, serta solver dan tools yang komprehensif. Dalam perangkat lunak ini, pengguna dapat merumuskan dan menyelesaikan berbagai optimasi biaya dengan variasi permasalahan seperti perencanaan produksi, pengaturan jadwal, dan alokasi sumber daya (LINGO: The Model Language and Optimizer). Keuntungan utama dalam menggunakan perangkat lunak LINGO untuk memodelkan suatu sistem adalah fleksibilitas dalam berbagai aspek, seperti memberikan kemudahan untuk

mengubah ukuran setiap himpunan tanpa batas jumlah kolom. Selain itu, LINGO juga memiliki kemampuan untuk merepresentasikan himpunan yang jarang sehingga memungkinkan pengguna untuk mengatasi masalah dengan data yang tidak lengkap atau tidak terstruktur dengan lebih efisien. Keuntungan lainnya adalah pengguna dapat dengan mudah melihat rumus dalam model LINGO secara lengkap dan komprehensif.

III. METODE PENELITIAN

Secara keseluruhan, pada penelitian ini ada 5 tahapan utama. Pertama dimulai dari pengumpulan data historis, Kedua yaitu penentuan model peramalan yang tepat dan akurat yang digunakan, Ketiga penentuan komponen model matematika menentukan fungsi tujuan, parameter dan variabel keputusan, Keempat pengembangan model matematis, Kelima yaitu melakukan verifikasi dan validasi pada model matematis. Langkah dari tahapan penelitian pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Tahapan Metode Penelitian

A. Pengumpulan Data

Data yang perlu dikumpulkan terbagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer mencakup informasi terkait proses pengadaan dan sistem penyimpanan yang diperoleh melalui wawancara dengan pegawai divisi terkait. Data tersebut membantu peneliti untuk memahami kondisi perusahaan sehingga analisis penelitian dapat lebih tepat sasaran. Data sekunder merupakan kumpulan data historis yang diberikan oleh pihak perusahaan dengan periode waktu yang sudah disepakati. Data tersebut terdiri dari harga bahan baku, permintaan bahan baku, *lead time*, biaya pesan, serta biaya simpan. Data sekunder mencakup periode waktu dari Juli 2022 hingga Desember 2022.

B. Penentuan Metode Peramalan

Pada proses pengolahan data terdiri atas beberapa tahapan, dimulai dari penentuan metode peramalan, pengembangan model matematika, serta verifikasi dan validasi model. Peramalan data permintaan setiap bahan baku diperlukan sebagai langkah awal dalam mencapai pengoptimalan biaya yang efisien dengan menggunakan metode MILP. Metode peramalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Winter's Method*. Hal ini berdasarkan pada hasil pengolahan data, dimana *Winter's Method* memiliki persentase MAPE lebih kecil dari metode peramalan *Double Exponential Smoothing* yaitu $< 5\%$ untuk setiap bahan baku. Hal ini juga sesuai dengan parameter yang dimiliki oleh perusahaan, dimana nilai MAPE dengan rentang 0-5% masuk kedalam kategori *excellent*. Dengan menggunakan metode terpilih, tahapan berikutnya adalah membuat data peramalan permintaan untuk lima minggu setelah periode pengambilan data historis. Hasil peramalan tersebut kemudian akan ditambahkan ke dalam data permintaan dan ikut digunakan pada tahap pengolahan data pada perangkat lunak.

C. Model Matematika

Setelah penggabungan data dilakukan, tahap berikutnya adalah pengembangan model matematika. Model tersebut dikembangkan sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu untuk mendapatkan kuantitas (Q_{itt}) beserta waktu pemesanan (Y_{itt}) sesuai dengan permintaan pelanggan. Model matematika penelitian dibuat berdasarkan jurnal referensi Mohammadi & Tap (2012) dikarenakan penelitian tersebut berhasil menurunkan biaya persediaan dengan permasalahan serupa. Model tersebut kemudian disesuaikan dengan kondisi aktual perusahaan agar hasil yang diperoleh lebih akurat. Berikut adalah model matematika yang digunakan dalam penelitian ini:

a. Batasan

- Satuan periode selama penelitian diketahui 1 periode = 1 bulan
- Biaya pada seluruh periode dianggap tetap dan tidak bergantung pada jumlah pemesanan
- Seluruh permintaan harus terpenuhi dan perusahaan tidak mengalami *shortage*
- Setiap bahan baku berasal dari pemasok yang berbeda sehingga pemesanan dilakukan terpisah

b. Indeks

- i = jenis bahan baku ($i = 1, \dots, 7$)
- t = periode waktu ($t = 1, \dots, 8$)
- t' = periode waktu pemesanan ($t' = 1, \dots, 8$)

c. Parameter

- a_i = biaya pesan bahan baku i
- h_i = biaya simpan bahan baku i
- l_i = lead time bahan baku i
- d_{it} = permintaan bahan baku i pada periode t
- g_i = harga bahan baku i

d. Variabel Keputusan

- $Y_{itt} \in \{0, 1\}, \forall i; \forall t$
 1 = melakukan pemesanan i untuk periode t
 0 = tidak melakukan pemesanan i untuk periode t
- $Q_{itt'}$ = jumlah bahan baku i yang dipesan pada t' dan datang pada t

$$Q_{itt'} \geq 0, \quad \forall i, \forall t, \forall t'$$

$$\sum_{t=1}^8 \sum_{t'=1}^t Q_{itt'} = \sum_{t=1}^8 d_{it}, \quad \forall i$$

- X_{it} = jumlah persediaan awal bahan baku i pada periode t

$$X_{it} = X_{i(t-1)} + \sum_{t'=1}^{t-l_i} Q_{itt'} - d_{it}, \quad \forall i, \forall t$$

$$X_{it} \geq 0, \quad Q_{itt'} \geq 0, \quad \forall i, \forall t, \forall t'$$

D. Pengembangan Fungsi Tujuan

Meminimasi total biaya persediaan industri mi instan yang terdiri dari dua komponen biaya utama, yaitu biaya pesan (ordering cost) dan biaya simpan (holding cost).

$$\text{Min } Z = \left(\sum_{i=1}^7 \sum_{t=l_i+1}^8 \sum_{t'=1}^t a_i Y_{itt'} \right) + \left(\sum_{i=1}^7 \sum_{t=l_i+1}^8 h_i X_{it} + \sum_{i=1}^7 \sum_{t=l_i+1}^8 \sum_{t'=1}^{t-l_i} \frac{h_i}{2} Q_{itt'} \right)$$

$$\text{Min } Z = \text{Ordering Cost} + \text{Holding Cost}$$

Fungsi Kendala :

1. Memastikan total pemesanan bahan baku i pada minggu sebelumnya memenuhi permintaan. Mendefinisikan nilai persediaan awal (X_{it})

$$X_{it} = X_{i(t-1)} + \sum_{t'=l_i+1}^{t-l_i} Q_{itt'} - d_{it} \quad \forall i; \forall t > l_i$$

2. Mendefinisikan variabel keputusan $Y_{itt'}$ bergantung pada $Q_{itt'}$. Artinya untuk memenuhi hubungan antara $Y_{itt'}$ dan $Q_{itt'}$, diperlukan angka positif (M) yang sangat besar, dimana M merupakan nilai

maksimum dari permintaan bahan baku.

$$Q_{it} \leq MY_{itt'} \quad \forall_i; \forall_t$$

3. Mendefinisikan keputusan biner Y_{it} . Angka 1 menunjukkan untuk melakukan pemesanan bahan baku, sedangkan angka 0 melambangkan tidak perlu untuk melakukan pemesanan bahan baku.

$$Y_{itt'} = \{1, 0\} \quad \forall_i; \forall_t$$

4. Mendefinisikan variabel keputusan adalah non negatif.

$$Q_{itt'} \in Z^+, Y_{itt'} \in Z^+, X_{it} \in Z^+ \quad \forall_i; \forall_t$$

E. Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi model matematika pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak LINGO. Agar dapat diimplementasikan, translasi model ke dalam bahasa pemrograman LINGO perlu dilakukan. Setelah melakukan translasi terhadap seluruh fungsi model matematika, langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah menjalankan model tersebut pada LINGO. Apabila model berhasil dijalankan tanpa adanya error atau debugging, maka model dapat dikatakan sudah terverifikasi. Dengan melakukan pengolahan menggunakan data historis perusahaan, didapatkan bahwa model optimasi berupa Mixed Integer Linear Programming (MILP). Hasil tersebut menyatakan adanya kesesuaian antara model optimasi yang diusulkan peneliti dengan LINGO. Selain itu, hasil pengolahan menunjukkan status Global Optimal, dimana istilah tersebut mendefinisikan bahwa hasil dari fungsi tujuan yang didapatkan sudah optimal. Dari kedua pernyataan tersebut, maka dapat dikatakan model optimasi yang dikembangkan sudah terverifikasi.

Model matematika yang sudah terverifikasi kemudian akan melalui tahapan validasi model. Tahap validasi dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan sudah sesuai dengan kondisi aktual perusahaan. Berdasarkan studi literatur yang sudah dibahas pada bab sebelumnya, validasi dimulai dengan melakukan peninjauan hasil model terhadap seluruh fungsi batasan. Hasil peninjauan menunjukkan seluruh fungsi batasan sudah terpenuhi. Tahap validasi berikutnya adalah dengan melakukan peninjauan hasil pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak LINGO terhadap perhitungan manual. Perhitungan secara manual pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak Excel. Apabila dibandingkan, hasil objektif pengolahan model LINGO berupa total biaya persediaan dengan perhitungan manual menunjukkan jumlah yang sama. Melalui kedua peninjauan yang telah dilakukan, maka dapat dikatakan model sudah tervalidasi dan dapat menggambarkan kondisi aktual perusahaan.

IV. ANALISIS DAN HASIL PENELITIAN

A. Analisis Hasil

Pada penelitian ini setelah dilakukan pengembangan model matematika dengan menggunakan metode MILP untuk mendapatkan minimasi total biaya persediaan sehingga didapatkan hasil pengolahan data berupa jumlah pemesanan ($Q_{itt'}$) dan waktu pemesanan ($Y_{itt'}$) yang paling optimal. Hasil pengolahan data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Akhir Jumlah Pemesanan Dan Total Biaya Persediaan

No.	Nama Bahan Baku	Satuan	Permintaan	Kuantitas Pemesanan	Total Biaya Persediaan (Rp)
1	RM A	Pcs	30.717.743	30.717.743	70.422.583,82
2	RM B	Pcs	31.098.764	31.098.764	112.654.031,07
3	RM C	Pcs	32.835.348	32.835.348	22.509.693,76
4	RM D	Pcs	31.684.443	31.684.443	13.023.581,01
5	RM E	Kg	25.362	25.362	99.022,13
6	RM F	Kg	6.079	6.079	6.331,13
7	RM G	Kg	12.277	12.277	21.395,42

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa jumlah pemesanan yang dihasilkan model sama dengan jumlah permintaan perusahaan. Dengan didapatkan hasil tersebut, proses pengolahan data pada penelitian ini sudah selesai dan dilanjutkan dengan tahap analisis hasil.

a. Analisis Data Persediaan

No.	Nama Bahan Baku	Satuan	Harga Bahan (Rp)	Lead Time	Kuantitas Permintaan	Biaya Pemesanan (Rp)	Biaya Penyimpanan (Rp)
1	RM A	Pcs	427,93	3 minggu	159.384.177	475,48	4,58
2	RM B	Pcs	676,17	3 minggu	158.332.029	751,30	7,24

No.	Nama Bahan Baku	Satuan	Harga Bahan (Rp)	Lead Time	Kuantitas Permintaan	Biaya Pemesanan (Rp)	Biaya Penyimpanan (Rp)
3	RM C	Pcs	127,96	3 minggu	159.524.705	142,18	1,37
4	RM D	Pcs	76,73	3 minggu	160.838.009	85,25	0,82
5	RM E	Kg	700,18	3 minggu	127.197	777,98	7,50
6	RM F	Kg	166,08	3 minggu	30.335	183,53	1,78
7	RM G	Kg	299,97	3 minggu	58.335	333,30	3,21

b. Analisis Jumlah Pemesanan (Q_{itt})

Hasil pengolahan data terkait jumlah pemesanan memiliki jumlah yang sama dengan banyaknya permintaan pada periode tersebut. Peristiwa tersebut mengindikasikan bahwa tidak terdapat pembelian bahan baku yang lebih besar dari kebutuhan pemakaian mingguan bahan baku. Hal tersebut dapat menekan jumlah bahan baku yang disimpan di gudang penyimpanan sehingga biaya penyimpanan yang perlu dikeluarkan perusahaan akan menurun.

Terdapat perbedaan signifikan antara jumlah pemesanan RM A, RM B, RM C, dan RM D dengan RM E, RM F, dan RM G. Hal tersebut terjadi dikarenakan adanya perbedaan satuan bahan baku yaitu Pcs dan Kg. Secara keseluruhan, RM C menjadi bahan baku dengan jumlah pemesanan tertinggi sebesar 32.835.348 Pcs. Sementara itu, bahan baku dengan jumlah pemesanan terkecil adalah RM F dengan jumlah pemesanan sebesar 6.079 Kg.

Hasil pengolahan model diketahui berasal dari data peramalan yang dihitung dengan menggunakan metode Winter's Method. Disamping sudah dilakukan proses peramalan, dalam kondisi aktual jumlah pemesanan tersebut dapat berubah berdasarkan faktor eksternal.

c. Analisis Periode Pemesanan (Y_{itt})

Pada model matematika, variabel keputusan Y_{itt} atau periode pemesanan harus memiliki hubungan dengan jumlah pemesanan (Q_{itt}) agar pemesanan dilakukan sesuai dengan permintaan bahan baku setiap minggunya. Hasil pengolahan model dengan menggunakan perangkat lunak LINGO menyatakan frekuensi pemesanan dilakukan secara mingguan untuk ketujuh bahan baku dengan jumlah pemesanan sebanyak 5 kali. Apabila dijumlahkan, total frekuensi pemesanan untuk seluruh bahan baku adalah sebanyak 35 kali. Frekuensi pemesanan tersebut sudah mempertimbangkan *lead time* dan jumlah permintaan dari setiap bahan baku sehingga perusahaan tidak akan mengalami *shortage*.

d. Analisis Total Biaya Persediaan

Penurunan total biaya persediaan menjadi fungsi tujuan dari pengembangan model matematika penelitian. Dengan menganalisis fungsi tersebut, perusahaan dapat memahami dan mengidentifikasi aspek yang berdampak besar terhadap pengeluaran perusahaan. RM B menjadi bahan baku dengan total biaya persediaan tertinggi sebesar Rp112.654.031,07. RM B merupakan bahan baku pembuatan mi instan dengan harga beli tertinggi kedua setelah RM D. Sementara itu, selaras dengan harga beli, RM F menjadi bahan baku dengan total biaya persediaan terkecil sebesar Rp6.331,13.

Fungsi tujuan dari model matematika yang dikembangkan terdiri dari dua komponen biaya, yaitu biaya pesan dan biaya simpan. Penjabaran hasil pengolahan kedua komponen tersebut adalah biaya pesan sebesar Rp13.750,10 dan biaya simpan sebesar Rp218.722.888,24. Perbedaan signifikan terlihat antara biaya pesan dan biaya simpan. Biaya pesan mengacu pada biaya terkait dengan proses pemesanan barang atau bahan baku dari pemasok. Dalam era teknologi yang pesat, biaya pesan cenderung tidak memerlukan banyak biaya karena perusahaan mengadopsi sistem pemesanan dan pendataan secara digital. Teknologi memungkinkan perusahaan untuk melakukan pemesanan dengan efisien dan akurat. Pada penelitian ini, biaya pesan mencakup biaya administrasi pembelian, pengangkutan, dan inspeksi. Dikarenakan frekuensi pemesanan bahan baku sama, yaitu 5 kali selama periode penelitian, maka akumulasi biaya pesan tertinggi selaras dengan biaya pesan bahan baku termahal.

Tingginya biaya simpan disebabkan karena biaya bergantung pada harga beli. Perusahaan tidak memerlukan biaya tambahan karena memiliki tempat penyimpanan pribadi. RM B menjadi bahan baku yang memiliki kontribusi terbesar terhadap akumulasi biaya simpan. Dari total biaya simpan keseluruhan sebesar Rp218.722.888,24, RM B memiliki persentase kontribusi 51,50% atau Rp112.650.274,57. Faktor utama dari rendahnya biaya pesan bahan baku adalah RM F memiliki jumlah pemesanan terkecil dibandingkan bahan baku lain, yaitu 6.079 kg. RM E dan RM G yang memiliki satuan serupa memiliki jumlah pemesanan lebih banyak 4,17 kali dan 2,01 kali secara berurutan.

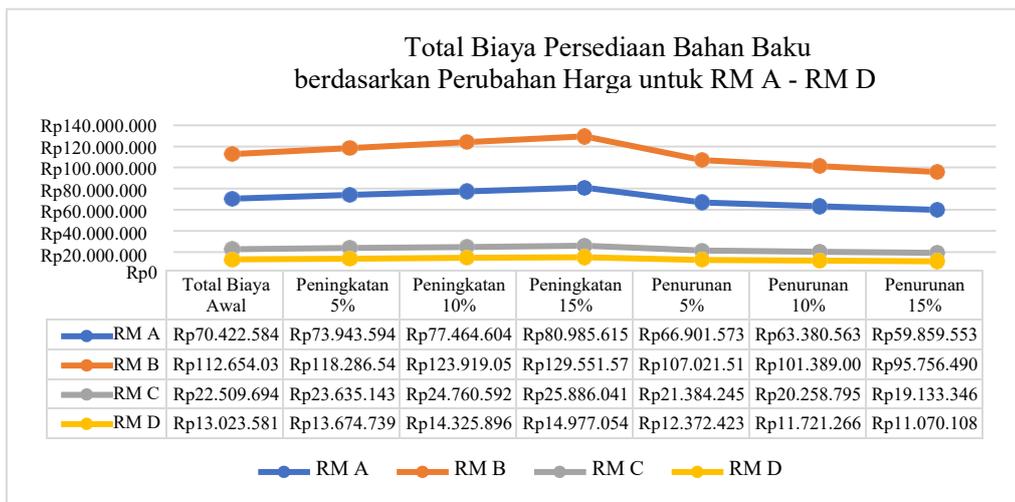
B. Analisis Sensitivitas

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis sensitivitas terhadap beberapa parameter pada setiap bahan baku untuk mengetahui pengaruhnya terhadap total biaya persediaan secara keseluruhan. Terdapat dua parameter yang dianalisis, yaitu harga beli dan jumlah permintaan. Analisis sensitivitas pada penelitian ini akan terdiri dari enam skenario mengenai peningkatan dan penurunan parameter sebesar 5%, 10%, dan 15%. Pemilihan angka tersebut didasarkan pada *confidence level* dan tingkat

risiko yang dapat diterima perusahaan.

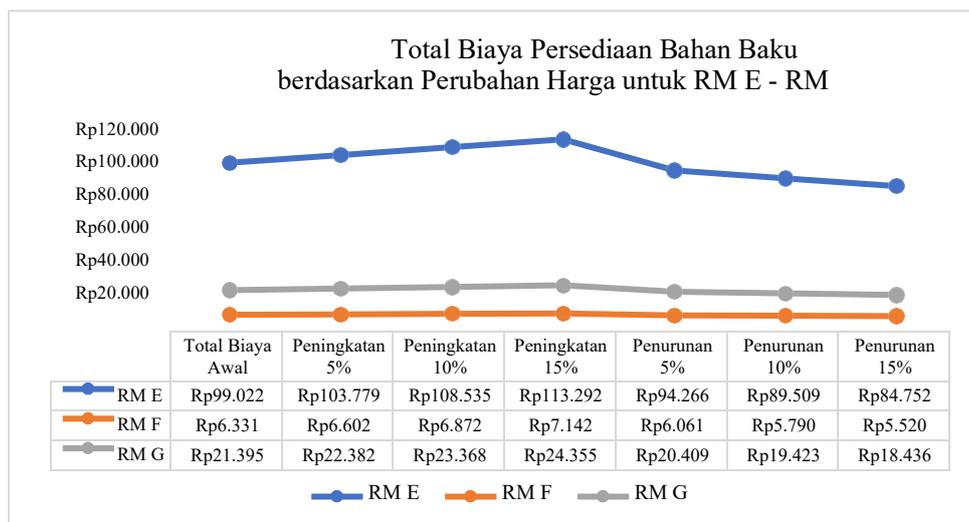
a. Perubahan Parameter Harga Beli

Parameter harga beli merupakan salah satu faktor eksternal dari model matematika karena nilainya tidak dapat ditentukan perusahaan dan bergantung pada pemasok. Dikarenakan biaya simpan pada penelitian ini ditentukan berdasar pada harga beli, parameter tersebut menjadi faktor kunci yang dapat secara signifikan memengaruhi total biaya persediaan. Perubahan harga beli dapat berdampak langsung terhadap biaya persediaan terutama jika perusahaan memiliki jumlah persediaan yang besar atau menggunakan bahan baku lebih rendah daripada pemesanan minggunya. Dengan melakukan analisis sensitivitas terhadap parameter ini, perusahaan dapat mengevaluasi skenario perubahan harga dan merencanakan langkah-langkah untuk mengurangi dampaknya. Dengan menggunakan data perubahan harga beli setiap bahan baku, dilakukan perhitungan terhadap nilai total biaya persediaan. Proses ini dilakukan dengan mengubah data harga pada perangkat lunak LINGO dan memastikan model running pada keenam skenario. Berdasarkan hasil analisis, seluruh jenis bahan baku memiliki pola yang serupa. Pola tersebut berbanding lurus dengan peningkatan atau penurunan parameter harga bahan baku. Hal ini sesuai dengan model matematika yang telah dikembangkan, di mana harga beli bahan baku mempengaruhi biaya simpan secara signifikan.



Gambar 2. Total Biaya Persediaan Bahan Baku berdasarkan Perubahan Harga untuk RM A - RM D

Gambar 2 menunjukkan secara visual perbandingan total biaya persediaan yang dihasilkan dari perubahan parameter harga beli untuk RM A, RM B, RM C, dan RM D. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, maka didapatkan perubahan harga RM A – RM D memberikan dampak berupa pergerakan linear terhadap total biaya persediaan.



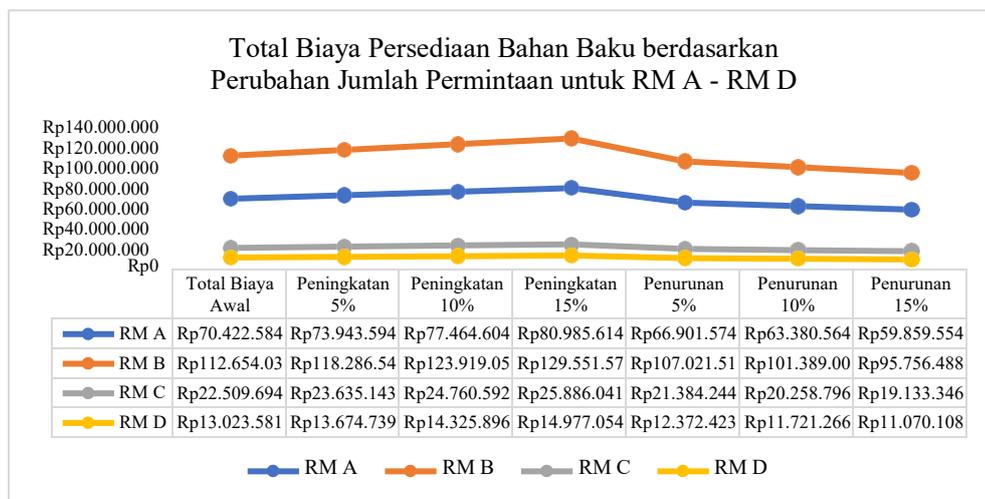
Gambar 3. Total Biaya Persediaan Bahan Baku berdasarkan Perubahan Harga untuk RM E - RM G

Gambar 3 menunjukkan secara visual perbandingan total biaya persediaan yang dihasilkan dari perubahan parameter harga beli untuk RM E, RM F, dan RM G. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, maka didapatkan perubahan harga RM E – RM G memberikan dampak berupa pergerakan linear terhadap total biaya persediaan. Dengan adanya temuan ini, perusahaan dapat lebih memerhatikan parameter harga beli dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan persediaan. Upaya negosiasi harga dengan pemasok atau mencari alternatif

pemasok dengan harga yang lebih kompetitif dapat menjadi strategi yang efektif untuk mengoptimalkan total biaya persediaan.

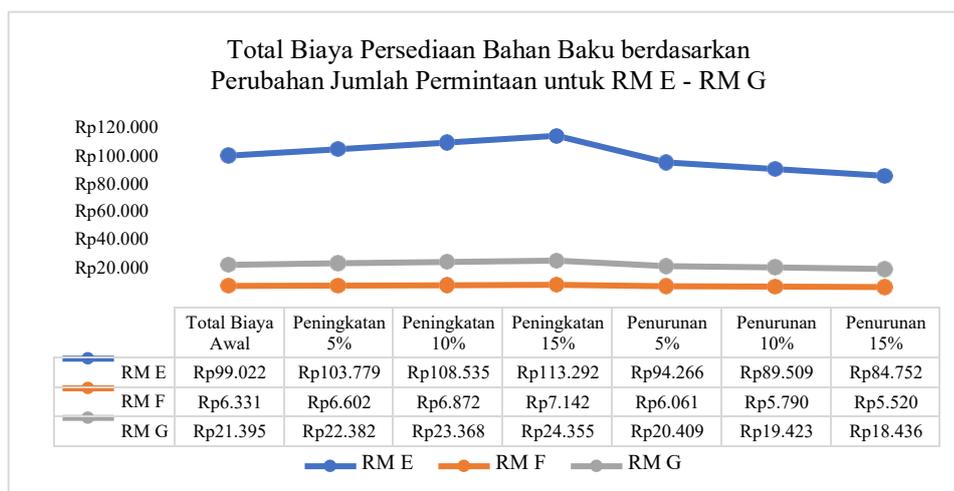
b. Perubahan Parameter Permintaan

Jumlah permintaan juga menjadi parameter penting yang berpengaruh pada total biaya persediaan. Jika jumlah permintaan meningkat, perusahaan perlu meningkatkan persediaan bahan baku untuk memenuhi permintaan tersebut, sehingga biaya penyimpanan dapat mengalami peningkatan dan berlaku sebaliknya. Dengan melakukan analisis sensitivitas terhadap parameter tersebut, perusahaan dapat mengidentifikasi tingkat perubahan yang signifikan dalam jumlah permintaan yang berdampak pada biaya persediaan. Sama seperti parameter harga beli, perubahan jumlah permintaan pada keenam skenario dimasukkan sebagai data yang akan diolah pada perangkat lunak LINGO sehingga didapatkan total biaya persediaan. Berdasarkan hasil analisis total biaya persediaan pada keenam skenario yang telah dilakukan, ditemukan pola yang konsisten pada seluruh jenis bahan baku. Pola tersebut menunjukkan adanya hubungan berbanding lurus antara parameter jumlah permintaan bahan baku dengan total biaya persediaan. Hasil ini sesuai dengan model matematika yang telah dikembangkan, di mana jumlah permintaan menentukan jumlah pemesanan yang perlu dilakukan perusahaan dan berpengaruh terhadap komponen biaya simpan.



Gambar 4. Total Biaya Persediaan berdasarkan Perubahan Jumlah Permintaan untuk RM A - RM D

Gambar 4 menggambarkan secara visual perbandingan total biaya persediaan yang dihasilkan dari perubahan parameter harga beli untuk RM A, RM B, RM C, dan RM D. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, maka didapatkan perubahan harga RM A – RM D memberikan dampak berupa pergerakan linear terhadap total biaya persediaan.



Gambar 5. Total Biaya Persediaan berdasarkan Perubahan Jumlah Permintaan untuk RM E - RM G

Gambar 5 menggambarkan secara visual perbandingan total biaya persediaan yang dihasilkan dari perubahan parameter harga beli untuk RM E, RM F, dan RM G. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, maka didapatkan perubahan harga RM E – RM G memberikan dampak berupa pergerakan linear terhadap total biaya persediaan. Dengan adanya keterkaitan tersebut, perusahaan dapat membuat rencana dalam mengelola persediaan bahan baku, seperti mengoptimalkan akurasi

tingkat permintaan dan melakukan perencanaan produksi yang lebih efisien dengan tetap menyesuaikan kebijakan persediaan perusahaan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dimulai dari pengumpulan data, pengolahan data historis perusahaan, serta analisis hasil, dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode MILP dapat meminimasi total biaya persediaan di perusahaan industri mi instan. Secara khusus, kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Model optimasi total biaya persediaan dengan menggunakan MILP berhasil dikembangkan dan menghasilkan total biaya persediaan sebesar Rp 218.736.638. Pengolahan data hasil peramalan dengan Winter's Method divalidasi dapat meningkatkan akurasi jumlah permintaan sehingga total biaya persediaan menurun.
- Hasil jumlah pemesanan (Q_{itt}) yang dihasilkan pada ketujuh bahan baku menunjukkan nilai yang sama dengan jumlah permintaan sehingga tidak terjadi pemesanan berlebih. Selama periode penelitian, dilakukan pemesanan pada RM A sebesar 30.717.743 pcs, RM B sebesar 31.098.764 pcs, RM C sebesar 32.835.348 pcs, RM D sebesar 31.684.443 pcs, RM E sebesar 25.362 kg, RM F sebesar 6.079 kg, dan RM G sebesar 12.277 kg.
- Hasil waktu pemesanan (Y_{itt}) dengan mempertimbangkan lead time pada seluruh bahan baku dilakukan secara mingguan atau sejumlah 5 kali pemesanan selama periode penelitian. Apabila dijumlahkan, total waktu pemesanan untuk seluruh bahan baku adalah sebanyak 35 kali pemesanan.

B. Saran

Berikut saran untuk penelitian berikutnya dapat mempertimbangkan dan menambahkan beberapa hal yang bisa dilakukan untuk pengembangan penelitian yaitu:

- Dalam memperoleh data peramalan jumlah permintaan yang lebih akurat dapat dilakukan perbandingan akurasi dengan metode peramalan lainnya yang lebih sesuai dengan karakteristik data dan metode lainnya.
- Melakukan peramalan dengan menggunakan data historis yang memiliki rentang waktu yang lebih lama. Dengan begitu, dapat dilakukan analisis terkait tren jangka panjang, pola musiman, serta fluktuasi yang mungkin terjadi dari data peramalan.
- Melakukan pengembangan model matematika dengan menggunakan perhitungan asumsi parameter biaya simpan yang lebih sesuai dengan periode pengolahan data.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami tim peneliti mengucapkan terima kasih Departemen Teknik Industri, Universitas Indonesia untuk bantuan dana mengikuti Seminar Nasional Teknik Industri UGM 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahad. (2022, July 3). Kemenperin: Revolusi Industri 4.0 Optimalkan Potensi Indonesia di Sektor Manufaktur. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. Retrieved February 2, 2023, from <https://kemenperin.go.id/artikel/23388/Kemenperin:-Revolusi-Industri-4.0-Optimalkan-Potensi--Indonesia-di-Sektor-Manufaktur#:~:text=Dalam%20Making%20Indonesia%204.0%2C%20Kemenperin,tekstil%2C%20elektronika%20dan%20alat%20kesehatan>
- [2] Badan Pusat Statistik. (2022, October 8). Makanan dan Minuman Jadi Kontributor Terbesar PDB Sektor Industri Kuartal II-2022. Katadata. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/08/10/makanan-dan-minuman-jadi-kontributor-terbesar-pdb-sektor-industri-kuartal-ii-2022#:~:text=Berdasarkan%20data%20Badan%20Pusat%20Statistik,triliun%20pada%20kuartal%20II%2D2022.>
- [3] Febrianto, I. (2021). Evaluasi Lokasi dan Jumlah Gudang Penyangga pada Sistem Distribusi Pupuk Petrokimia Gresik di Jawa Barat dan Jawa Tengah dengan Pemodelan Mixed Integer Linear Programming (MILP) (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh November).
- [4] InstantNoodles. (2022, July 6). Konsumsi Mi Instan Indonesia Tumbuh 4,98% pada 2021. Katadata. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/06/07/konsumsi-mi-instan-indonesia-tumbuh-498-pada-2021>
- [5] Haksever, C., & Moussourakis, J. (2005). A model for optimizing multi-product inventory systems with multiple constraints. *International Journal of Production Economics*, 97(1), 18–30. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.05.004>
- [6] Juan José Montaña, Palmer, A., Sesé, A., & Cajal, B. (2013, November). Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *ResearchGate; Colegio Oficial de Psicólogos del Principado de Asturias*. https://www.researchgate.net/publication/257812432_Using_the_R-MAPE_index_as_a_resistant_measure_of_forecast_accuracy

- [7] Kantar. (2022, June 22). Brand Footprint Indonesia 2022. Katadata. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/06/22/inilah-merek-fmcg-yang-paling-banyak-diburu-konsumen-indonesia>
- [8] Kementerian Perdagangan. (2022, November 15). Harga Terigu Naik Nyusul BBM, Ini Kata Bos Indofood. CNBC Indonesia. Retrieved February 15, 2023, from <https://www.cnbcindonesia.com/news/20221115160807-4-388205/harga-terigu-naik-nyusul-bbm-ini-kata-bos-indofood>
- [9] 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>
- [10] Lamrisma, L., & Lilianti, E. (2019). Analisis Penerapan Metode Activity Based Costing (ABC) Dalam Menentukan Tarif Jasa Rawat Inap Di RSUD Kota Prabumulih. *Jurnal Media Akuntansi*, 1(1), 28. <https://doi.org/10.31851/jmediasi.v1i1.2365>
- [11] Lazonick, W. (2021, February 12). Profits Without Prosperity. *Harvard Business Review*.
- [12] Retrieved February 2, 2023, from <https://hbr.org/2014/09/profits-without-prosperity>
- [13] Markides, C. N., & Shah, N. (2015). Bringing Non-energy Systems into a Bioenergy Value Chain Optimization Framework. *Computer-Aided Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63576-1.50086-8>
- [14] Mohammadi, M., & Md. Tap, M. (n.d.). A Mixed Integer Programming Model Formulation for Solving the Lot-Sizing Problem. *International Journal of Computer Science Issues*.
- [15] Pusat Informasi Harga Pangan Strategis Nasional (PIHPS). (2022, December 15). Harga Minyak Goreng Stabil di Rp19.150/Kg. *Data Indonesia.Id*. Retrieved February 15, 2023, from <https://dataindonesia.id/bursa-keuangan/detail/harga-minyak-goreng-stabil-di-rp19150kg-15-desember-2022>
- [16] Wahyuni, T. (2016). Penggunaan Analisis ABC untuk Pengendalian Persediaan Barang Habis Pakai: Studi Kasus di Program Vokasi UI. *Jurnal Vokasi Indonesia: Journal of Vocational Program University of Indonesia*. <https://doi.org/10.7454/jvi.v3i2.30>
- [17] Wang, J. (2014). *Encyclopedia of Business Analytics and Optimization*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-5202-6>
- [18] Wheat Prices. (n.d.). International Grains Council. <https://www.igc.int/en/markets/marketinfo-prices.aspx>
- [19] Wibowo. (n.d.). The Comparison of Mixed Integer Linear Programming and Linear Programming for Cost Optimization. *Journal of Operations Management*. <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-operations-management/vol/20/issue/6>
- [20] World Instant Noodle Association & Euromonitor. (2022, July 14). Penjualan Mi Instan Terus Meningkatkan dalam 5 Tahun Terakhir. Katadata. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/07/14/penjualan-mi-instan-terus-meningkat-dalam-5-tahun-terakhir>