

PENERAPAN PROGRAMMA INTEGER UNTUK MENENTUKAN PRODUKSI OPTIMAL: STUDI KASUS PERUSAHAAN AIR MINUM DALAM KEMASAN DI KOTA LHOKSEUMAWA

M.Rajulin¹, Muhammad Zakaria^{2*}, Syarifuddin³

^{1,2,3}) Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Kota Lhokseumawe, Indonesia

*Corresponding Author: irmuhammad@unimal.ac.id

Web Journal: <https://ojs.unimal.ac.id/miej>

DOI: <https://doi.org/10.53912/iej.v10i2.xxx>

Abstrak - Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan produksi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) di PT Ima Montaz Sejahtera dengan menggunakan metode Integer Programming. Permasalahan utama yang dihadapi perusahaan adalah belum optimalnya pemanfaatan kapasitas mesin dan waktu produksi, sehingga menimbulkan ketidakseimbangan antara kapasitas produksi dan permintaan pasar. Kondisi tersebut menyebabkan adanya waktu menganggur (idle time), inefisiensi penggunaan mesin, serta potensi kerugian akibat biaya produksi yang hilang (production lost cost). Model matematis disusun dengan fungsi objektif untuk memaksimalkan keuntungan dari lima jenis produk, yaitu kemasan 220 ml, 300 ml, 600 ml, 1500 ml, dan galon. Variabel keputusan berupa jumlah unit setiap jenis produk, sedangkan kendala mencakup kapasitas mesin, waktu kerja, ketersediaan bahan baku, serta permintaan minimum pasar. Data penelitian diperoleh dari observasi lapangan dan wawancara, serta data produksi aktual perusahaan. Penyelesaian model dilakukan dengan perangkat lunak TORA melalui pendekatan branch and bound. Hasil simulasi menunjukkan solusi optimal berupa kombinasi produksi 10.528 unit per minggu, meningkat dibandingkan produksi aktual sebelumnya sebesar 8.900 unit. Peningkatan output tersebut berdampak pada kenaikan keuntungan mingguan dari Rp13.736.000 menjadi Rp17.132.000. Temuan ini membuktikan bahwa penerapan Integer Programming efektif dalam meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi pemborosan, serta membantu perusahaan dalam merumuskan strategi perencanaan produksi yang lebih rasional. Dengan demikian, metode ini dapat dijadikan alat bantu pengambilan keputusan yang sistematis dan strategis bagi perusahaan di tengah persaingan pasar AMDK yang semakin ketat.

Kata kunci: *Integer Programming*, perencanaan produksi, optimasi, keuntungan, efisiensi mesin

Abstract - *This study aims to optimize the production of Bottled Drinking Water (AMDK) at PT Ima Montaz Sejahtera using the Integer Programming method. The main problem faced by the company is the suboptimal utilization of machine capacity and production time, resulting in an imbalance between production capacity and market demand. This condition leads to idle time, inefficiency in machine usage, and potential losses due to production lost costs. A mathematical model was developed with the objective function of maximizing profits from five types of products: 220 ml, 300 ml, 600 ml, 1500 ml, and gallon packaging. The decision variables represent the number of units for each product type, while the constraints include machine capacity, working hours, raw material availability, and minimum market demand. Research data were obtained through field observations, interviews, and the company's actual production data. The model was solved using TORA software with the branch and bound approach. The simulation results show an optimal production combination of 10,528 units per week, an increase compared to the previous actual production of 8,900 units. This increase in output led to a rise in weekly profits from IDR 13,736,000 to IDR 17,132,000. These findings demonstrate that the application of Integer Programming is effective in improving production efficiency, reducing waste, and assisting the company in formulating a more rational production planning strategy. Therefore, this method can serve as a systematic and strategic decision-making tool for companies in the increasingly competitive bottled water market.*

Keywords: *Integer Programming, production planning, optimization, profit, machine efficiency*

1. PENDAHULUAN

Industri air minum dalam kemasan (AMDK) di Indonesia telah mengalami pertumbuhan pesat dalam satu dekade terakhir dan menjadi salah satu sektor paling kompetitif di industri minuman. Berdasarkan data statistik konsumsi nasional, permintaan AMDK meningkat lebih dari 10% setiap tahunnya [1]. Peningkatan ini didorong oleh kesadaran masyarakat yang semakin tinggi terhadap kesehatan, sanitasi, dan kenyamanan dalam mengonsumsi air minum [2]. Kondisi ini menuntut perusahaan untuk mampu menyediakan produk secara konsisten dalam berbagai ukuran kemasan, mulai dari porsi kecil hingga ukuran galon, guna memenuhi beragam preferensi konsumen[3]. Perusahaan Air Minum Dalam Kemasan di Kota Lhokseumawe merupakan salah satu produsen yang memproduksi 5 jenis produk, yaitu kemasan cup 220 ml, kemasan cup 300 ml, kemasan botol 600 ml, kemasan botol 1500 ml, dan kemasan galon, dengan total produksi mingguan sebesar 8.900 unit. Perusahaan memiliki kapasitas waktu kerja produksi sebesar 96 jam per minggu. Namun, dalam praktiknya masih terdapat waktu menganggur (idle time) yang menunjukkan bahwa pemanfaatan kapasitas mesin belum optimal. Kondisi ini berdampak pada tidak tercapainya puncak produksi, serta menurunnya efisiensi dan keuntungan perusahaan [4].

Persaingan pasar yang ketat menuntut pengelolaan sumber daya produksi secara optimal [5]. Namun, perusahaan masih mengandalkan pendekatan kualitatif berbasis pengalaman tanpa perhitungan sistematis [6]. Akibatnya, terjadi production lost cost, waktu menganggur tinggi, dan kapasitas mesin tidak termanfaatkan optimal. Ketidakseimbangan antara kapasitas produksi dan permintaan pasar juga memicu risiko overproduksi dan kekurangan pasokan, sementara biaya operasional meningkat karena penjadwalan dan distribusi yang kurang efektif [7]. Diperlukan metode optimasi yang tepat untuk menentukan jumlah produksi sesuai kapasitas, permintaan, dan ketersediaan sumber daya [8]. Integer Programming (IP) menjadi solusi yang relevan karena dapat memberikan hasil keputusan dalam bilangan bulat tanpa menghilangkan optimalitas [9]. Penerapan IP diharapkan mampu memaksimalkan produksi, menekan biaya, meningkatkan efisiensi, serta memperkuat daya saing Perusahaan Air Minum Dalam Kemasan di Kota Lhokseumawe [10]. Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini berfokus pada perancangan model matematika dengan pendekatan Integer Programming sebagai alat bantu pengambilan keputusan dalam perencanaan produksi, model yang dikembangkan bertujuan untuk mengoptimalkan jumlah produksi air minum dalam berbagai jenis kemasan dengan memperhatikan variabel dan kendala utama, yaitu kapasitas mesin, tenaga kerja, bahan baku, dan permintaan pasar [11]. Selanjutnya, model ini diselesaikan dengan menggunakan perangkat lunak khusus guna memperoleh kombinasi produksi yang paling optimal. Hasil yang diharapkan dari penerapan model ini adalah tercapainya produksi yang mampu memaksimalkan keuntungan atau meminimalkan biaya, sehingga perusahaan dapat meningkatkan daya saingnya melalui perencanaan produksi yang lebih terukur dan efisien[12].

2. METODE

Optimalisasi adalah sebagai upaya, proses, cara dan perbuatan untuk menggunakan sumber-sumber yang dimiliki dalam rangka mencapai kondisi yang terbaik, paling menguntungkan dan paling diinginkan dalam batas-batas tertentu dan kriteria tertentu [13]. Produksi mencakup segala kegiatan, termasuk prosesnya, yang dapat menciptakan hasil, penghasilan dan pembuatan. Perencanaan produksi adalah proses untuk memastikan produk yang dihasilkan sesuai dengan yang telah ditetapkan, termasuk menentukan jumlah produksi yang diperlukan [14]. Memaksimalkan nilai atau keuntungan yang dihasilkan dari proses produksi atau untuk meminimumkan biaya yang dikeluarkan dalam proses produksi dengan memperhatikan kendala-kendala yang berada diluar jangkauan pelaku kegiatan, merupakan tujuan yang dilakukannya optimalisasi [15]. Program linier adalah suatu metode dalam ilmu manajemen untuk mengelola sumber daya yang terbatas dalam mencapai tujuan yang diinginkan[16]. Terdapat tiga jenis Integer Programming yaitu sebagai berikut [17]:

a. *Integer Programming Murni (Pure Integer Programming)*, yaitu program linier yang menghendaki semua variabel keputusan harus merupakan bilangan bulat non-negatif. Model umum *Integer Programming Murni (Pure Integer Programming)* sebagai berikut:

Fungsi Objektif: Max atau Min $Z=c_1X_1+c_2X_2+\dots+c_nX_n$

Fungsi Kendala: $a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq, =, \geq b_1$
 $a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq, =, \geq b_2$
 $a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq, =, \geq b_m$

Syarat integer:

$X_1, X_2, \dots, X_n \in Z^+$ (bilangan bulat positif)

Keterangan:

Z : fungsi tujuan (yang akan dimaksimumkan atau diminimumkan)

C_i : koefisien keuntungan atau biaya dari variabel X_i

X_i : variabel keputusan, seluruhnya dalam bentuk bilangan bulat

a_{ij} : koefisien dari variabel dalam setiap kendala

b_j : batas nilai pada sisi kanan kendala ke-j

Z^+ : bilangan bulat positif

Misalnya: Max $Z = 40X_1 + 30X_2$

Kendala: $4X_1 + 3X_2 \leq 100$; $X_1, X_2 \in Z^+$

b. Integer Programming Campuran (*Mixed Integer Programming*), yaitu program linier yang menghendakibeberapa, tetapi tidak semua variabel keputusan harus merupakan bilangan bulat non-negatif.

Contoh Integer Programming Campuran (*Mixed Integer Programming*) yaitu:

Fungsi Objektif: Max atau Min $Z = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n$

Fungsi Kendala: $a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq, =, \geq b_1$

$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq, =, \geq b_2$:

$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq, =, \geq b_m$

Batasan variabel : $X_j \in Z^+$ untuk sebagian variable (integer)

$X_k \in R^+$ untuk sebagian variabel (kontinu)

Keterangan:

Z : fungsi tujuan (yang akan dimaksimumkan atau diminimumkan)

C_i : koefisien keuntungan atau biaya dari variabel X_i

X_i : variabel keputusan

Z^+ : bilangan bulat positif

R^+ : bilangan real positif (kontinu)

a_{ij} : koefisien dalam kendala

b_j : nilai batas pada sisi kanan kendala ke-j

Misalnya: Min $Z = 100X_1 + 30X_2$

Kendala: $2X_1 + X_2 \geq 60$; $X_1 \in Z^+, X_2 \in R^+$

c. Integer Programming Biner (Zero One Integer Programming), yaitu program linier yang menghendaki semua variabel keputusan harus bernilai 0 dan 1. Integer Programming Campuran merupakan Integer Programming tapi variabel keputusannya tidak semua merupakan bilangan bulat ada variabel keputusan yang bernilai pecahan. Bentuk umum dari masalah Integer Programming Biner adalah sebagai berikut:

Fungsi Objektif: Max atau Min $Z = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n$

Fungsi Kendala: $a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq, =, \geq b_1$

$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq, =, \geq b_2$

$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq, =, \geq b_m$

Batasan variabel : $X_j \in \{0,1\}$ untuk seluruh $j = 1, 2, \dots, n$

Keterangan:

Z : fungsi tujuan (yang akan dimaksimumkan atau diminimumkan)

X_j : variabel biner (0 = tidak dipilih, 1 = dipilih)

C_j : koefisien dari fungsi tujuan (misal: keuntungan, biaya, efisiensi)

a_{ij} : koefisien pada kendala ke-i

b_i : batasan nilai pada sisi kanan kendala ke-i

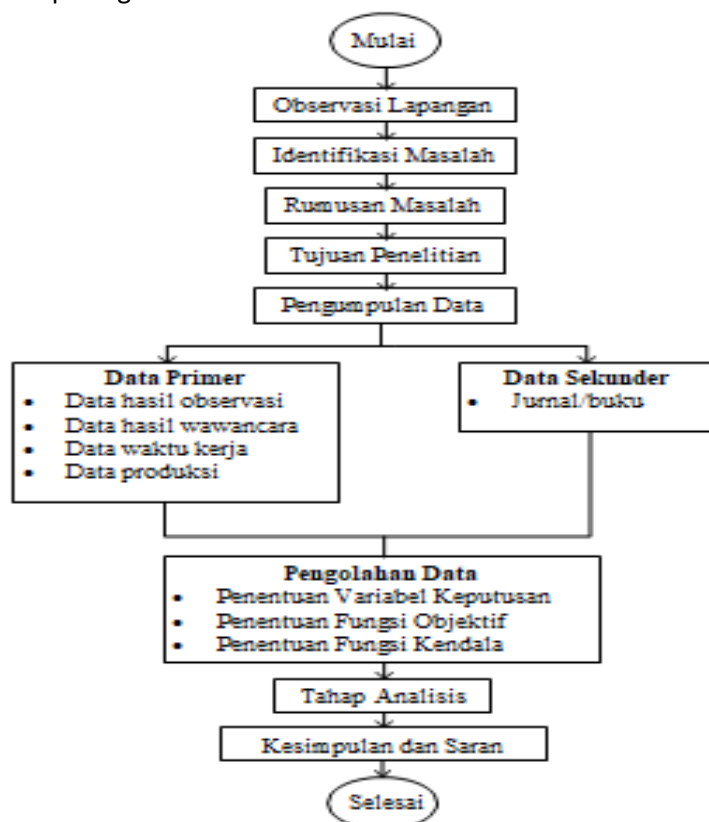
Misalnya: Max $Z = 10X_1 + 8X_2 + 6X_3$

Kendala: $X_1 + X_2 + X_3 \leq 2$; $X_1, X_2, X_3 \in \{0,1\}$

TORA (Temporary Open-source Resource for Algorithms) adalah sebuah perangkat lunak edukatif yang dirancang untuk membantu pemecahan berbagai permasalahan dalam bidang riset operasi, termasuk Integer Programming[18] . langkah-langkah umum dalam menggunakan software TORA untuk menyelesaikan persoalan ILP:

- d. Menentukan Jenis Masalah, Langkah pertama adalah membuka aplikasi TORA dan memilih menu “Integer Programming” dari daftar jenis persoalan yang tersedia. Pengguna kemudian diminta untuk memilih metode penyelesaian, misalnya “Branch and Bound”.
- e. Input Jumlah Variabel dan Kendala, Setelah memilih metode, pengguna akan diminta memasukkan jumlah variabel keputusan dan jumlah fungsi kendala yang terlibat dalam model.
- f. Mengisi Fungsi Objektif dan Kendala Pada tahap ini, pengguna mengisi nilai koefisien dari fungsi objektif (misalnya nilai keuntungan atau biaya), serta nilai koefisien dan tanda ketidaksamaan dari setiap fungsi kendala (\leq , $=$, atau \geq). Jangan lupa memilih arah optimasi (Maximization atau Minimization).
- g. Menentukan Tipe Variabel, Setiap variabel keputusan dapat ditentukan tipenya, apakah bertipe integer, binary, atau real. Untuk model ILP, semua variabel harus ditandai sebagai Integer (Y).
- h. Menjalankan Proses Optimasi, Setelah seluruh input dimasukkan, pengguna menekan tombol “Solve” untuk menjalankan proses iterasi. TORA akan menampilkan langkah- langkah iterasi secara bertahap hingga diperoleh solusi optimal.
- i. Menganalisis Output, Hasil dari TORA mencakup nilai optimal dari fungsi objektif dan nilai masing- masing variabel keputusan. Pengguna dapat melihat iterasi yang dilakukan serta solusi optimal akhir yang memenuhi semua batasan kendala dan bersifat feasible serta integer.
- j. Mencetak atau Merekam, Hasil TORA memungkinkan hasil disimpan, dicetak, atau di-screenshot sebagai dokumentasi dan bukti pengolahan data dalam penelitian.

Adapun skema yang dilakukan dalam penelitian ini pada Perusahaan Air Minum Dalam Kemasan di Kota Lhokseumawe dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah sistematis yang diambil untuk mengoptimalkan produksi air minum dalam kemasan. Setiap tahapan disajikan dari awal hingga akhir:

1. Observasi Lapangan, mengamati kondisi aktual di Perusahaan Air Minum Dalam Kemasan di Kota

Lhokseumawe, termasuk proses produksi, penggunaan mesin, dan alokasi waktu.

2. Identifikasi Masalah, mengidentifikasi inefisiensi produksi, seperti waktu idle mesin, perencanaan yang tidak sistematis, dan realisasi laba yang kurang optimal.
3. Perumusan Masalah, menyusun permasalahan yang teridentifikasi menjadi masalah matematika yang dapat diselesaikan menggunakan Pemrograman Linear Integer.
4. Tujuan Penelitian, menetapkan tujuan yang jelas untuk dicapai, seperti memaksimalkan efisiensi produksi dan laba perusahaan dengan batasan tertentu.
5. Pengumpulan Data, data primer yaitu mengumpulkan data langsung seperti hasil observasi, wawancara, waktu mesin, dan output produksi. Serta data sekunder, data pendukung yang bersumber dari literatur, jurnal, dan penelitian terkait.
6. Pengolahan Data, merumuskan model Pemrograman Integer, meliputi: Variabel keputusan, Fungsi tujuan (memaksimalkan keuntungan), Fungsi kendala (kapasitas mesin, jam kerja, air, permintaan)
7. Tahap Analisis, menyelesaikan model matematika menggunakan perangkat lunak TORA untuk menemukan strategi produksi yang optimal.
8. Kesimpulan, Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan Program Integer berhasil menentukan kombinasi produksi optimal di Perusahaan Air Minum Dalam Kemasan di Kota Lhokseumawe, dan Saran, memberikan rekomendasi untuk perbaikan perencanaan produksi.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, dilakukan pengolahan data untuk mengoptimalkan jumlah produksi lima jenis produk air minum dalam kemasan (AMDK) pada Perusahaan Air Minum Dalam Kemasan di Kota Lhokseumawe, yaitu air minum 220 ml, 300 ml, 600 ml, 1500 ml, dan galon. Mesin yang digunakan dalam produksi AMDK ini memiliki tiga komponen utama, yaitu mesin A, B dan C. Mesin A digunakan untuk memproduksi kemasan 220 ml dan 300 ml, mesin B untuk 600 ml dan 1500 ml, sedangkan mesin C dikhususkan untuk galon. yang beroperasi secara bersamaan untuk mencetak produk. Setelah seluruh komponen model seperti variabel keputusan, koefisien keuntungan, serta kendala kapasitas dan permintaan dirumuskan secara matematis, tahap selanjutnya adalah melakukan pengolahan menggunakan aplikasi TORA. Aplikasi ini digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi dengan metode *Integer Programming*, karena mampu memberikan solusi optimal dengan pembulatan bilangan bulat.

Gambar di bawah menunjukkan tampilan awal pengisian model Integer Programming pada menu Input *Grid - Integer Programming* dalam aplikasi TORA. Pada tahap ini, pengguna harus memasukkan jumlah variabel keputusan dan jumlah kendala, serta mengisi masing-masing nilai koefisien untuk fungsi objektif dan fungsi kendala sesuai dengan model yang telah dirumuskan. Dengan menetapkan bahwa seluruh variabel X1 hingga X5 bertipe integer ($(y/n) = y$), serta menetapkan batas bawah variabel sebesar 0 (karena tidak mungkin produksi bernilai negatif). Nilai Upper Bound ditetapkan "*infinity*" sebagai representasi bahwa tidak ada batas atas selain yang diatur oleh kendala kapasitas, seperti pada gambar dibawah berikut:

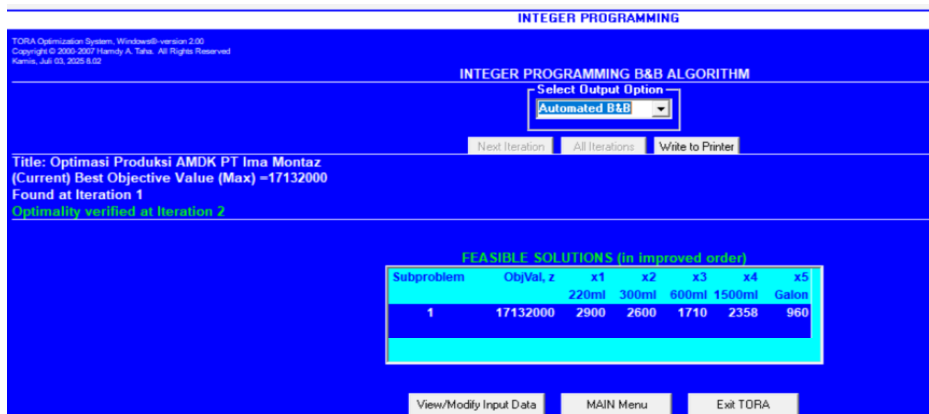
The screenshot shows the 'INPUT GRID - INTEGER PROGRAMMING' window in the TORA software. At the top, the problem title is 'Optimasi Produksi AMDK PT Ima Montaz'. Below this, the number of variables is set to 5 and the number of constraints is set to 8. The main part of the window is a table with the following structure:

Var. Name	x1	x2	x3	x4	x5	Enter <, >, or =	R.H.S.
220ml		300ml	600ml	1500ml	Galon		
Maximize	250,00	600,00	1000,00	1500,00	10000,00		
Constr 1	1,00	1,10	0,00	0,00	0,00	<=	5760,00
Constr 2	0,00	0,00	1,30	1,50	0,00	<=	5760,00
Constr 3	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	<=	2880,00
Constr 4	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	>=	2640,00
Constr 5	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	>=	2160,00
Constr 6	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	>=	1320,00
Constr 7	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	>=	2040,00
Constr 8	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	>=	740,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity		
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n		
Integer (y/n)?	y	y	y	y	y		

At the bottom of the window, there are buttons for 'SOLVE Menu', 'MAIN Menu', and 'Exit TORA'.

Gambar 2. Tampilan Input Fungsi Objektif dan Fungsi Kendala

Model ini memiliki lima kendala utama, terdiri dari tiga kendala kapasitas mesin dan dua kelompok kendala tambahan, yaitu permintaan minimum pasar serta batasan integer. Berdasarkan perhitungan berbasis efisiensi waktu mesin dan simulasi hasil seperti pada aplikasi TORA, diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 3. Tampilan Hasil Iterasi Optimal pada Aplikasi TORA

Berdasarkan hasil pemrosesan model, solusi optimal diperoleh pada Iterasi ke-2, dengan nilai fungsi objektif maksimum:

Zmaks=Rp17. 132.000

Dengan seluruh nilai unit dari masing-masing variabel:

- X1 = 2.900 unit (220 ml)
- X2= 2.600 unit (300 ml)
- X3= 1.710 unit (600 ml)
- X4= 2.358 unit (1500 ml)
- X5= 960 unit (Galon)

Nilai ini merupakan total keuntungan bersih maksimum yang dapat diperoleh perusahaan dalam satu minggu, berdasarkan kombinasi produksi optimal dan seluruh batasan kapasitas serta permintaan. Nilai Z ini telah sesuai dengan harga per unit yang digunakan dalam pengisian fungsi objektif di TORA, sehingga perhitungan pada Tabel 4.4 berikut secara langsung mencerminkan hasil TORA.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan optimasi produksi menggunakan metode Integer Linear Programming (ILP) memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi dan profitabilitas di Perusahaan Air Minum Dalam Kemasan di Kota Lhokseumawe. Adapun perbandingan produksi sebelum dan sesudah optimasi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Perbandingan Produksi sebelum dan sesudah optimasi

Aspek	Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi
Total Unit Produksi	Perusahaan hanya merencanakan produksi sebanyak 8.900 unit/minggu, sesuai target minimum pasar.	Dengan optimasi, total produksi meningkat menjadi 10.528 unit/minggu, berdasarkan alokasi kapasitas mesin yang efisien.
Fokus Produksi	Fokus utama adalah memenuhi permintaan minimum pasar, tanpa mempertimbangkan keuntungan maksimal.	Fokus diarahkan untuk memenuhi permintaan sekaligus memaksimalkan total keuntungan perusahaan.
Pertimbangan Mesin	Kapasitas mesin belum diperhitungkan secara matematis, hanya diasumsikan mencukupi.	Kapasitas tiap mesin dihitung detail (dalam menit per minggu) dan dijadikan batasan utama dalam model optimasi.

Aspek	Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi
Keuntungan Mingguan	Keuntungan mingguan belum dihitung secara sistematis. Berdasarkan data awal, total keuntungan dari target 8.900 unit adalah Rp13.736.000.	Diperoleh keuntungan maksimum sebesar Rp17.132.000/minggu sebagai hasil dari kombinasi produksi optimal, meningkat Rp3.396.000 dibandingkan sebelum optimasi.
Efisiensi Waktu Produksi	Pemanfaatan waktu mesin tidak dianalisis, sehingga berpotensi tidak efisien.	Kapasitas mesin digunakan secara optimal, tanpa waktu menganggur dan sesuai batas waktu kerja.
Peran Fungsi Objektif	Fungsi tujuan tidak dirumuskan jelas, sehingga arah produksi tidak terukur.	Fungsi objektif jelas dan terukur, yaitu memaksimalkan keuntungan, serta dihitung melalui metode Integer Linear Programming.

Sebelum optimasi, produksi dirancang berdasarkan intuisi dan permintaan, tanpa mempertimbangkan keterbatasan kapasitas dan potensi keuntungan secara sistematis. Namun setelah dilakukan optimasi dengan metode Integer Linear Programming (ILP) dan software TORA, perusahaan dapat menghasilkan strategi produksi yang jauh lebih efisien dan menguntungkan, tanpa melanggar batas kapasitas mesin atau permintaan pasar minimum.

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perubahan parameter dalam model *Integer Programming* memengaruhi solusi optimal yang diperoleh. Dalam penelitian ini, sensitivitas dianalisis terhadap dua parameter utama, yaitu keuntungan per unit produk (fungsi tujuan) dan kapasitas waktu mesin per minggu (fungsi kendala). Adapun analisis sensitivitas terhadap keuntungan produk dan analisis sensitivitas terhadap perubahan kapasitas mesin dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2. Analisis Sensitivitas Terhadap Perubahan Kapasitas Mesin

Mesin	Kapasitas Awal (menit)	Perubahan (%)	Kapasitas Baru (menit)	Perubahan Produksi	Total Keuntungan
Mesin A (220 & 300 ml)	5.760	-10%	5.184	X1 turun jadi 2.600, X2 jadi 2.300	Rp16.398.000
Mesin A (220 & 300 ml)	5.760	10%	6.336	X1 naik jadi 3.300, X2 jadi 2.800	Rp17.695.000
Mesin B (600 & 1500 ml)	5.760	-10%	5.184	X3 turun jadi 1.500, X4 jadi 2.100	Rp16.727.000
Mesin B (600 & 1500 ml)	5.760	10%	6.336	X3 naik jadi 1.900, X4 jadi 2.500	Rp17.856.000
Mesin C (Galon)	2.880	-10%	2.592	X5 turun jadi 850	Rp17.047.000
Mesin C (Galon)	2.880	10%	3.168	X5 naik jadi 1.050	Rp17.313.000

Tabel 3. Analisis Sensitivitas Terhadap Perubahan Keuntungan Produk

Produk	Keuntungan Asli (Rp)	Perubahan (%)	Keuntungan Baru (Rp)	Produksi Optimal (unit)	Total Keuntungan
220 ml (X1)	250	-10%	225	2.800	Rp16.857.000
220 ml (X1)	250	10%	275	3.100	Rp17.395.000
300 ml (X2)	600	-10%	540	2.400	Rp16.816.000
300 ml (X2)	600	10%	660	2.700	Rp17.391.000
Galon (X5)	10.000	-10%	9.000	880	Rp16.292.000

Produk	Keuntungan Asli (Rp)	Perubahan (%)	Keuntungan Baru (Rp)	Produksi Optimal (unit)	Total Keuntungan
Galon (X5)	10.000	10%	11.000	1.050	Rp17.693.000

Berdasarkan Tabel 2 dan 3, terlihat bahwa kenaikan atau penurunan parameter input sebesar $\pm 10\%$ untuk keuntungan dan $\pm 10\%$ untuk kapasitas mesin berdampak nyata pada hasil optimal. Jumlah produksi galon dan cup mengalami penyesuaian secara proporsional, yang berdampak langsung pada nilai total keuntungan mingguan. Interpretasi Hasil Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas yang dilakukan dalam penelitian ini pada Perusahaan Air Minum Dalam Kemasan di Kota Lhokseumawe di Kota Lhokseumawe mencakup dua aspek utama, yaitu aspek Perubahan keuntungan per unit produk (fungsi objektif) dan Perubahan kapasitas waktu mesin (fungsi kendala). Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengevaluasi sejauh mana model Integer Programming bersifat responsif terhadap perubahan kondisi operasional, baik dari sisi pendapatan maupun ketersediaan sumber daya produksi.

1. Sensitivitas terhadap Perubahan Keuntungan Produk

Hasil menunjukkan bahwa perubahan nilai keuntungan per unit memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap jumlah produksi optimal dan nilai total keuntungan (Z). Produk 220 ml dan 300 ml menunjukkan respons yang paling tinggi terhadap perubahan nilai keuntungan. Hal ini disebabkan karena keduanya memiliki waktu produksi per unit yang singkat, sehingga ketika nilai keuntungannya meningkat, alokasi produksinya turut meningkat secara signifikan demi memaksimalkan total keuntungan. Sebaliknya, jika nilai keuntungannya turun, maka model mengurangi jumlah produksi produk tersebut untuk memberikan ruang pada produk lain yang lebih efisien secara rasio waktu terhadap keuntungan. Produk galon, meskipun memiliki keuntungan per unit tertinggi, tidak selalu diutamakan. Waktu produksinya yang relatif lama (3 menit/unit) menyebabkan model hanya meningkatkan jumlah produksinya secara terbatas saat keuntungannya naik, dan segera menyesuaikan (mengurangi) produksinya saat keuntungannya turun, demi menjaga efisiensi kapasitas waktu mesin.

2. Sensitivitas terhadap Perubahan Kapasitas Mesin.

Analisis ini menunjukkan bahwa kapasitas mesin sangat menentukan batas atas dari jumlah produksi yang dapat dicapai dan, secara langsung, memengaruhi nilai keuntungan maksimum yang mungkin diraih. Mesin A, yang memproses produk 220 ml dan 300 ml, adalah mesin paling sensitif terhadap perubahan kapasitas. Penambahan kapasitas sebesar 10% langsung mendorong kenaikan produksi dan menghasilkan keuntungan tertinggi. Hal ini karena produk yang diproses memiliki waktu produksi pendek dan kontribusi besar terhadap total Z. Mesin B juga menunjukkan dampak positif saat kapasitasnya meningkat, terutama karena produk 600 ml dan 1500 ml memiliki nilai keuntungan menengah dan digunakan dalam volume besar. Mesin C memiliki dampak sensitivitas paling kecil terhadap perubahan kapasitas. Meskipun galon memiliki nilai jual tinggi, waktu produksinya yang panjang membatasi kontribusinya terhadap total keuntungan, bahkan saat kapasitas mesin ditambah.

Secara keseluruhan, model optimasi Integer Programming yang digunakan dalam penelitian ini pada Perusahaan Air Minum Dalam Kemasan di Kota Lhokseumawe bersifat adaptif namun selektif dalam merespons perubahan parameter. Nilai keuntungan total yang dihasilkan tetap berada dalam kisaran yang stabil dan optimal selama batasan mesin dan parameter harga tetap berada dalam rentang rasional. Manajemen perusahaan dapat menggunakan hasil ini sebagai dasar untuk: Menyesuaikan strategi penetapan harga, terutama untuk produk 220 ml dan 300 ml yang memiliki sensitivitas tinggi. Menentukan prioritas investasi mesin, terutama dalam hal perawatan atau ekspansi kapasitas Mesin A, yang terbukti paling berpengaruh terhadap peningkatan profit. Menilai risiko dan peluang perubahan pasar secara lebih kuantitatif, melalui simulasi-simulasi berbasis model seperti ini.

4. KESIMPULAN

Model Integer Linear Programming (ILP) berhasil dirumuskan untuk mengoptimalkan produksi air minum dalam kemasan di Perusahaan Air Minum Dalam Kemasan di Kota Lhokseumawe, dengan mempertimbangkan kapasitas mesin, waktu produksi, permintaan minimum pasar, dan keuntungan per unit

produk. Penyelesaian menggunakan TORA menghasilkan solusi optimal yang efisien dan memenuhi semua batasan. Variabel keputusan berupa jumlah unit produksi lima jenis produk (220 ml, 300 ml, 600 ml, 1500 ml, dan galon), sedangkan kendala meliputi kapasitas waktu mesin, batas permintaan minimum, serta syarat integer dan non-negatif. Kendala ini membatasi ruang solusi dan sangat memengaruhi hasil optimasi. Hasil optimasi meningkatkan total produksi dari 8.900 menjadi 10.528 unit/minggu, dan keuntungan dari Rp13.736.000 menjadi Rp17.132.000/minggu. Model ILP terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi, memaksimalkan pemanfaatan mesin, dan mengarahkan keputusan produksi berdasarkan rasio keuntungan terhadap waktu secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Lestari, "Konsumsi Air Kemasan Indonesia," *J. Litbang Sukowati Media Penelit. dan Pengemb.*, vol. 4, no. 2, pp. 110–119, 2021, doi: 10.32630/sukowati.v4i2.210.
- [2] irham fahmi, *Pengantar Manajemen Sumber Daya Manusia Konsep dan Kinerja*, Edisi PErt. Jakarta: Mitra Wacana Media., 2016.
- [3] N. M. A. G. R. Astiti, A. A. P. Eryani, N. M. Yudiastari, and A. A. M. Semaryani, *Pentingnya Kemasan dalam Pemasaran Produk*, no. Mi. 2023.
- [4] H. Kusuma, "Manajemen produksi: perencanaan dan pengendalian produksi," *Yogyakarta Andi*, 2009.
- [5] A. H. Nasution and Y. Prasetyawan, "Perencanaan dan pengendalian produksi," *Yogyakarta Graha Ilmu*, 2008.
- [6] RICKY W. GRIFFIN, *Manajemen*. Jakarta: Erlangga, 2004.
- [7] D. K. Sofyan, "Perencanaan dan pengendalian Produksi," *Yogyakarta Graha Ilmu*, 2013.
- [8] S. Pangestu, M. Asri, and T. H. Handoko, *DASAR-DASAR OPERATIONS RESEARCH*, Edisi 2. Yogyakarta: BPFE Yogyakarta, 2013.
- [9] S. D. Purba and F. Ahyaningsih, "Integer Programming dengan Metode Branch and Bound dalam," *Karismatika*, vol. 6, no. 3, pp. 20–29, 2020.
- [10] E. Junianti and J. E. FoEh, "Optimalisasi Produktivitas Dan Penjualan Menggunakan Metode Integer Programming," *J. Kaji. Ilm.*, vol. 22, no. 3, pp. 231–242, 2022, doi: 10.31599/jki.v22i3.1233.
- [11] H. Sitorus, R. I. Rosihan, and M. Fizai, "Optimasi Kapasitas Produksi Dengan Integer Linear Programming (ILP) Dalam Perencanaan Jadwal Induk Produksi Di PT Indonesia Epon Industry," *J. Ilm. Vastuwidya*, vol. 5, no. 1, pp. 10–21, 2022, doi: 10.47532/jiv.v5i1.404.
- [12] W. Hartono, A. Dilian Yanuar Agus Putri, and Sugiyarto, "Integer Programming Dengan Pendekatan Metode Branch and Bound Untuk Optimasi Sisa Material Besi (Waste) Pada Plat Lantai (Studi Kasus : Pasar Elpabes Banjarsari Surakarta)," *e-Jurnal Matriks Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, pp. 86–92, 2014.
- [13] D. B. A. Soediro, J. Dawud, and N. Nurliawati, "Optimalisasi Strategi Implementasi Kebijakan Percepatan Kepemilikan Akta Kelahiran," *Din. J. Ilm. ...*, vol. Vol.8, no. No.1, p. pp 1-16, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.unigal.ac.id/index.php/dinamika/article/view/4553>
- [14] L. Setyowati and U. Lasiyono, "Optimalisasi Perencanaan dan Penjadwalan Produksi : Kunci Meningkatkan Efisiensi Operasional," *J. Inov. Manajemen, Kewirausahaan, Bisnis dan Digit.*, vol. 1, no. 4, pp. 50–56, 2024.
- [15] S. Salbiah, "MENGELOLA FAKTOR PRODUKSI SECARA EFISIEN," no. 14, pp. 108–119, 2011.
- [16] K. Kambu and P. Linear, "Jurnal Matematika , Komputasi dan Statistika PENERAPAN PROGRAM LINEAR BILANGAN BULAT MENGGUNAKAN Program Studi Matematika , Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam , Universitas Halu Oleo , Indonesia Email : irta2401@gmail.com Pro," vol. 4, no. April, pp. 603–614, 2024.
- [17] B. Sengupta, *An operator geometric solution for a buffer occupancy problem*, vol. 2, no. 2. 1986. doi: 10.1080/15326348608807035.
- [18] T. Sriwidadi and E. Agustina, "Analisis Optimalisasi Produksi dengan Linear Programming Melalui Metode Simpleks," *Binus Bus. Rev.*, vol. 4, no. 2, pp. 725–741, 2013, doi: 10.21512/bbr.v4i2.1386.