

Model *Mixed-Integer Linear Programming* Dalam Perencanaan Produksi Di Perusahaan Manufaktur Kosmetik Untuk Meminimalkan Biaya

Yosafat Yudhisasmita¹, Nurhadi Siswanto²

^{1,2}) Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Raya ITS, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60111

Email: yosafatyudhi@gmail.com, siswanto@ie.its.ac.id

ABSTRAK

Perusahaan manufaktur kosmetik menghadapi tantangan dalam menyusun perencanaan produksi yang mampu memenuhi permintaan pelanggan dengan biaya yang efisien. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) untuk mengoptimalkan perencanaan produksi dengan meminimalkan total biaya yang meliputi biaya produksi, biaya *raw material*, biaya *packaging material*, biaya persediaan produk jadi, biaya *setup* mesin *mixing*, biaya *setup* mesin *filling*, dan biaya tenaga kerja. Model dikembangkan berdasarkan karakteristik proses produksi kosmetik yang terdiri atas proses *mixing*, *filling*, dan *packing*, dengan mempertimbangkan berbagai kendala operasional seperti kapasitas mesin, waktu produksi, *eligibility filling line*, serta ketersediaan *packaging material*. Penyelesaian model dilakukan menggunakan perangkat lunak LINGO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang dikembangkan mampu menghasilkan rencana produksi yang lebih efisien dibandingkan metode perusahaan. Total biaya produksi berhasil diturunkan dari Rp12,12 miliar menjadi Rp7,88 miliar, sehingga diperoleh penghematan sebesar Rp4,24 miliar atau 34,9%. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa biaya *raw material* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap perubahan nilai fungsi tujuan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan MILP dapat digunakan sebagai alat pendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan produksi pada industri manufaktur kosmetik untuk meningkatkan efisiensi biaya dan pemanfaatan sumber daya.

Kata kunci: Perencanaan Produksi, Industri Kosmetik, MILP, Minimisasi Biaya

ABSTRACT

Cosmetics manufacturers face the challenge of drawing up production plans that can meet customer demand in a cost-effective manner. This study aims to develop a Mixed Integer Linear Programming (MILP) model to optimize production planning by minimizing total costs, which include production costs, raw material costs, packaging material costs, finished product inventory costs, mixing machine setup costs, filling machine setup costs, and labor costs. The model was developed based on the characteristics of the cosmetics production process, which consists of mixing, filling and packing, whilst taking into account various operational constraints such as machine capacity, production time, filling line availability and the availability of packaging materials. The model was solved using LINGO software. The results of the study show that the developed model is capable of producing a more efficient production plan compared to the company's current method. Total production costs were successfully reduced from Rp12.12 billion to Rp7.88 billion, resulting in savings of Rp4.24 billion or 34.9%. Sensitivity analysis shows that raw material costs are the parameter that has the greatest influence on changes in the value of the objective function. The results of this study indicate that the MILP approach can be used as a decision-support tool in production planning within the cosmetics manufacturing industry to improve cost efficiency and resource utilization.

Keywords: Production Planning, Cosmetics Industry, Mixed Integer Linear Programming, Cost Minimization

Pendahuluan

Industri kosmetik kecantikan di Indonesia saat ini menjadi salah satu sektor industri yang cukup menjanjikan, di mana menghasilkan produk berdaya saing global yang mampu menembus pasar ekspor dan turut mendukung penguatan *blue economy*. Merujuk data BPS, nilai ekspor produk minyak atsiri, parfum dan kosmetik Indonesia ke dunia pada tahun 2023 menembus angka USD842 juta, naik USD16 juta jika dibandingkan dengan tahun 2022 yang mencapai USD826 juta. Selain itu, *market size* industri kosmetik pada tahun 2023 mencapai 467.919 produk, meningkat lebih dari 10 kali lipat selama lima tahun terakhir. Bahkan,

pertumbuhan pasar kosmetik di Indonesia juga diprediksi mencapai 4,86% per tahun dalam kurun waktu 2024-2029 [1].

Perusahaan manufaktur kosmetik yang menjadi objek penelitian merupakan perusahaan maklon yang memproduksi berbagai jenis produk kosmetik dengan karakteristik permintaan yang berfluktuasi. Tingginya permintaan pelanggan mengharuskan perusahaan menyusun rencana produksi yang mampu memenuhi seluruh permintaan dengan biaya operasional yang minimum. Dalam praktiknya, perusahaan dihadapkan pada berbagai keterbatasan sumber daya, seperti kapasitas mesin *mixing* dan *filling*, waktu produksi yang tersedia, ketersediaan *packaging material* yang bergantung pada pengiriman dari pelanggan, serta keterbatasan *filling line* yang hanya dapat memproses produk tertentu. Di sisi lain, perusahaan juga harus mempertimbangkan berbagai komponen biaya yang timbul, meliputi biaya produksi, biaya bahan baku, biaya *packaging material*, biaya persediaan produk jadi, biaya *setup* mesin, dan biaya tenaga kerja.

Kondisi tersebut menyebabkan proses penyusunan rencana produksi menjadi permasalahan optimasi, yaitu menentukan jumlah produksi setiap produk pada setiap periode yang mampu meminimalkan total biaya dengan tetap memenuhi seluruh permintaan pelanggan dan berbagai kendala operasional yang dimiliki perusahaan. Permasalahan ini melibatkan fungsi tujuan berupa minimisasi biaya serta sejumlah fungsi kendala linier yang merepresentasikan kapasitas produksi, waktu proses, ketersediaan material, dan aturan operasional perusahaan. Oleh karena itu, pendekatan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dipilih karena mampu menghasilkan solusi optimal terhadap permasalahan optimasi dengan variabel kontinu dan variabel biner yang [2] merepresentasikan keputusan *setup* mesin maupun aktivitas produksi.

Metode *linear programming* telah banyak dipergunakan dalam berbagai penelitian untuk merumuskan strategi yang optimal di sektor industri terutama di manufaktur [3], [4], [5], [6], [7]. Salah satu penelitian terdahulu yang dijadikan acuan adalah dari Zanella dan Vaz [8], yang melakukan optimasi perencanaan produksi jangka pendek yang berkelanjutan. Penelitian ini mengusulkan kerangka kerja yang terdiri dari dua level berurutan. Pertama, model *mixed-integer linear programming* (MILP) untuk menentukan kuantitas produksi optimal per minggu dengan meminimalkan total biaya. Kedua, aturan penjadwalan produksi dinamis untuk menjadwalkan operasi pada mesin press hidrolik. Kedua level tersebut digabungkan dan diimplementasikan dalam excel, di mana model MILP diselesaikan menggunakan *add-in Solver*, dan level kedua menggunakan *output* kuantitas produksi optimal sebagai *input* untuk menentukan urutan produksi menggunakan aturan prioritas dinamis. Hasilnya *framework* tersebut mampu menghasilkan rencana produksi lengkap untuk *horizon* empat minggu. Kemudian, rencana optimal yang diusulkan dibandingkan dengan rencana nyata yang dijalankan oleh perusahaan dapat menghemat biaya dari total biaya yang terjadi secara nyata sambil tetap memenuhi permintaan.

Penelitian yang dilakukan oleh Zakariya [9], dengan melakukan optimasi penjadwalan *job-job* pada mesin produksi menggunakan *integer programming*. Dari pengembangan model matematis tersebut, didapatkan urutan penempatan *job* yang meminimalkan total waktu penyelesaian. Hasil penelitian ini adalah waktu penyelesaian seluruh *job* yang dihasilkan lebih baik dibandingkan metode yang digunakan perusahaan saat ini, sehingga perusahaan dapat memenuhi harapan mitra dalam memasok komponen yang dibutuhkan.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Finia Wirma [10], menggunakan *linear programming* sebagai solusi permasalahan perencanaan produksi tepung terigu. Penyelesaian model mampu menentukan penugasan mesin-mesin dan pemilihan bahan baku sesuai dengan kuantitas dan kualitas yang diharapkan. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa dengan metode optimasi, perusahaan memiliki potensi untuk menurunkan biaya produksi tepung terigu dibandingkan dengan menggunakan metode yang saat ini digunakan perusahaan.

Bala et al [11] melakukan penelitian terkait perencanaan biaya produksi yang optimal. Formulasi matematis dilakukan dengan teknik *linear programming* dan masalah diselesaikan menggunakan TORA (*Temporary-Ordered Routing Algorithm*). Jadwal produksi dibuat untuk dua bulan ke depan dengan total biaya lebih minimum. Adapun penelitian oleh Adrio et al [12], dengan melakukan penyusunan rencana produksi jangka menengah agar memaksimalkan keuntungan dari penjualan produk, dengan tetap mempertimbangkan biaya bahan baku, energi, dan layanan lainnya, serta memenuhi berbagai batasan nyata di perusahaan. Dari sisi produksi, hasil menunjukkan bahwa komposisi produksi ethylene oxide memenuhi batas proporsi yang ditetapkan. Model juga cenderung memilih pure ethylene oxide karena memberikan profit lebih tinggi melalui penjualan langsung.

Lopes et al [13] melakukan penelitian mengenai pengurangan biaya melalui operasi penyimpanan dan pengambilan. Memaparkan dua model pemrograman campuran bulat yang bertujuan untuk meminimalkan biaya operasi pengambilan dan penyimpanan barang melalui perencanaan dan pengorganisasian yang lebih baik terhadap lokasi penyimpanan produk di gudang. Dibandingkan dengan skenario awal, penghematan biaya operator logistik dapat dicapai. Hasil model baru dalam model 2, memiliki persentase penghematan yang lebih rendah bagi perusahaan.

Penelitian oleh A. Khan et al [14], dengan tujuan mengoptimalkan penjadwalan produksi dan alokasi sumber daya agar biaya total produksi dapat diminimalkan dengan tetap memenuhi berbagai kendala seperti kapasitas mesin, ketersediaan tenaga kerja, batas anggaran, kompatibilitas mesin, dan permintaan produk. Model

MILP selalu menghasilkan biaya total yang lebih rendah dibanding *greedy heuristic*. Pada kasus kecil (2 produk), MILP menghasilkan biaya lebih rendah dari *heuristic*, sehingga terdapat perbaikan dan saat ukuran masalah membesar, selisih ini makin terlihat dan terjadi penghematan biaya dengan MILP.

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu, sebagian besar model *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) digunakan untuk mengoptimalkan perencanaan produksi atau penjadwalan [15] dengan mempertimbangkan sebagian komponen biaya, seperti biaya produksi, biaya bahan baku, biaya energi, atau biaya penyimpanan. Selain itu, penelitian-penelitian tersebut umumnya dikembangkan pada industri manufaktur umum, industri kimia, maupun pergudangan, sehingga belum secara spesifik merepresentasikan karakteristik operasional industri manufaktur kosmetik. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan model MILP yang mengintegrasikan berbagai komponen biaya, antara lain biaya produksi, biaya *raw material*, biaya *packaging material*, biaya persediaan produk jadi, biaya *setup* mesin *mixing*, biaya *setup* mesin *filling*, serta biaya tenaga kerja ke dalam satu fungsi tujuan minimisasi biaya. Model juga mengakomodasi kendala operasional yang sesuai dengan kondisi nyata perusahaan, meliputi kapasitas mesin, waktu produksi, *eligibility filling line*, dan ketersediaan *packaging material*. Selanjutnya, kinerja model dibandingkan secara langsung dengan metode perencanaan produksi yang digunakan perusahaan untuk mengevaluasi potensi penghematan biaya dan peningkatan efisiensi operasional. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi metodologis melalui pengembangan model MILP yang lebih komprehensif, tetapi juga memberikan kontribusi praktis sebagai alat pendukung pengambilan keputusan pada industri manufaktur kosmetik.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode optimasi, yaitu *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dengan bantuan *software* LINGO [16] untuk meminimalkan biaya. Biaya-biaya yang dimaksud terdiri dari biaya produksi, biaya *raw material*, biaya *packaging material*, biaya persediaan produk jadi, biaya *setup* mesin *mixing* dan *filling*, dan biaya tenaga kerja.

1. Definisi indeks

Tabel 1. Definisi indeks

Notasi	Definisi
$i \in I = \{1, 2, \dots, I\}$	Indeks produk (pcs)
$j \in J = \{1, 2, \dots, J\}$	Indeks periode (bulan)
$m \in M = \{1, 2, \dots, M\}$	Indeks mesin <i>mixing</i>
$l \in L = \{1, 2, \dots, L\}$	Indeks <i>filling line</i>
$k \in K = \{1, 2, \dots, K\}$	Indeks jenis <i>packaging material</i>

2. Definisi parameter

Tabel 2. Definisi parameter

Parameter	Definisi	Satuan
D_{ij}	Jumlah <i>demand</i> untuk produk i pada periode j	Pcs
PC_i	Biaya proses produksi per satuan produk i	Rp/pcs
$RM C_i$	Biaya terkait <i>raw material</i> per satuan produk i	Rp/pcs
$PM C_i$	Biaya terkait <i>packaging material</i> per satuan produk i	Rp/pcs
IC_i	Biaya persediaan <i>finished goods</i> per satuan produk i	Rp/pcs
MT_{im}	Waktu proses <i>mixing</i> per satuan produk i pada mesin m	Menit
FT_{il}	Waktu proses <i>filling</i> per satuan produk i pada mesin m	Menit
PT_i	Waktu <i>packing</i> per satuan produk i	Menit
STM_m	Waktu <i>setup</i> mesin <i>mixing</i> m	Menit/setup
STF_l	Waktu <i>setup</i> <i>filling line</i> l	Menit/setup
SCM_m	<i>Setup cost</i> <i>mixing</i> mesin m	Rp/setup
SCF_l	<i>Setup cost</i> <i>filling line</i> l	Rp/setup
AT_m^{mix}	Available time proses <i>mixing</i> pada mesin m	Menit
AT_l^{fill}	Available time proses <i>filling</i> pada line l	Menit
AT^{pack}	Available time proses <i>packing</i>	Menit
PMA_{ijk}	Ketersediaan <i>packaging material</i> jenis k dari produk i pada periode j	Pcs
a_{ik}	Kebutuhan <i>packaging</i> k untuk memproduksi satu pcs produk i	Pcs
E_{il}	<i>Eligibility</i> parameter (1 jika produk i boleh diproses di line l)	-
LC_j	Biaya tenaga kerja operator harian pada periode j	Rp/periode

3. Definisi variabel keputusan

Tabel 3. Definisi variabel keputusan

Variabel	Definisi	Satuan
X_{ij}	Jumlah produksi produk i pada periode j	Pcs
IV_{ij}	Jumlah persediaan <i>finished goods</i> produk i pada periode j	Pcs
MIX_{imj}	Jumlah produk i yang diproses <i>mixing</i> pada mesin m periode j	Pcs
FIL_{ilj}	Jumlah produk i yang diproses <i>filling</i> pada line l periode j	Pcs
U_{imj}	Variabel biner <i>setup</i> mesin <i>mixing</i> untuk produk i pada mesin m periode j	-
V_{ilj}	Variabel biner <i>setup</i> <i>filling</i> untuk produk i pada line l periode j	-
Y_j	Variabel biner untuk aktivitas produksi pada periode j	-

4. Fungsi tujuan (Z) adalah meminimasi total biaya.

$$\min Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} PC_i X_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} RMC_i X_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} PMC_i X_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} IC_i IV_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} SCM_m U_{imj} + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} SCF_l V_{ilj} + \sum_{j \in J} LC_j Y_j \quad (1)$$

Terms dalam fungsi tujuan tersebut terdiri dari biaya produksi masing-masing produk (PC_i), biaya *raw material* masing-masing produk (RMC_i) dan biaya *packaging material* masing-masing produk (PMC_i) yang berkaitan dengan jumlah hasil produksi dari masing-masing produk pada tiap periode (X_{ij}). Selanjutnya, biaya persediaan barang jadi dari masing-masing produk (IC_i) yang berkaitan dengan jumlah persediaan barang jadi per satuan produk dari masing-masing produk pada tiap periode (IV_{ij}). Kemudian, terdapat biaya *setup* mesin *mixing* (SCM_m) dan mesin *filling* (SCF_l) yang berkaitan dengan variabel biner U_{imj} dan V_{ilj} , di mana variabel biner tersebut menentukan adanya aktivitas *setup* mesin atau tidak untuk masing-masing produk pada mesin *mixing* atau *line filling* di tiap periode. Terakhir, biaya pekerja pada masing-masing periode (LC_j) yang berkaitan dengan variabel biner Y_j , di mana variabel biner tersebut menentukan adanya aktivitas produksi atau tidak pada periode tersebut.

5. Fungsi kendala, merupakan persamaan atau pertidaksamaan yang membatasi nilai variabel keputusan sehingga solusi yang diperoleh tetap memenuhi seluruh batasan sistem yang ada.

Subject to:

$$IV_{ij} = IV_{ij-1} + X_{ij} - D_{ij} \quad \forall i, j \quad (2)$$

$$IV_{ij-1} + X_{ij} \geq D_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{m \in M} MIX_{imj} = X_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{l \in L} FIL_{ilj} = X_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} MT_{im} MIX_{imj} + \sum_{i \in I} STM_m U_{imj} \leq AT_{mj}^{mix} \quad \forall m \in M, j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} FT_{il} FIL_{ilj} + \sum_{i \in I} STF_l V_{ilj} \leq AT_{lj}^{fill} \quad \forall l \in L, j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} T_i X_{ij} \leq AT_j^{pack} \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$MIX_{imj} \leq M_{ij}^{prod} U_{imj} \quad \forall i \in I, m \in M, j \in J \quad (9)$$

$$FIL_{ilj} \leq M_{ij}^{prod} V_{ilj} \quad \forall i \in I, l \in L, j \in J \quad (10)$$

$$FIL_{ilj} \leq M_{ij}^{prod} E_{il} \quad \forall i \in I, l \in L, j \in J \quad (11)$$

$$a_{ik} X_{ij} \leq PMA_{ijk} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \leq M_j^{prod} \cdot Y_j \quad \forall j \in J \quad (13)$$

$$X_{ij}, IV_{ij}, MIX_{imj}, FIL_{ilj} \geq 0 \quad (14)$$

$$U_{imj}, V_{ilj}, Y_j \in \{0,1\} \quad (15)$$

Seluruh kendala atau *constraint* tersebut mempresentasikan keterbatasan, kapasitas, maupun aturan operasional. Persamaan 2 adalah *constraint* keseimbangan permintaan yang memastikan bahwa persediaan akhir suatu periode berasal dari persediaan periode sebelumnya ditambah produksi dan dikurangi permintaan. Persamaan 3 adalah *constraint* pemenuhan permintaan, di mana jumlah produksi produk yang dihasilkan harus lebih besar atau sama dengan permintaan yang ada. Persamaan 4 adalah *constraint* hubungan produksi total dengan alokasi ke mesin *mixing*, untuk memastikan produksi yang selesai sama dengan alokasi pada proses *mixing*. Persamaan 5 adalah *constraint* hubungan produksi total dengan alokasi ke *filling line*, untuk memastikan total produksi yang masuk proses *filling* sama dengan jumlah yang diproduksi. Persamaan 6 adalah *constraint* kapasitas waktu proses *mixing*, yang menyatakan bahwa total waktu proses *mixing* ditambah waktu *setup* tidak boleh melebihi *available time* mesin *mixing*. Persamaan 7 adalah *constraint* kapasitas waktu proses *filling*, yang menyatakan bahwa total waktu proses *filling* ditambah waktu *setup* tidak boleh melebihi *available time* setiap *line filling*. Persamaan 8 adalah *constraint* kapasitas waktu proses *packing*, untuk memastikan total waktu *packing* seluruh produk pada periode *j* tidak melampaui kapasitas *packing* yang tersedia. Persamaan 9 adalah *constraint* aktivasi *setup* mesin *mixing*, untuk menghubungkan keputusan produksi dengan keputusan *setup* agar model tidak mengizinkan produk diproses tanpa mesin yang dilakukan *setup* terlebih dahulu. Persamaan 10 adalah *constraint* aktivasi *setup filling line*, untuk menghubungkan keputusan produksi dengan keputusan *setup* agar model tidak mengizinkan produk diproses apabila *filling line* belum dilakukan *setup* terlebih dahulu. Persamaan 11 adalah *constraint eligibility filling line* sebagai batasan produk yang hanya dapat dijalankan pada *line filling* tertentu. Persamaan 12 adalah *constraint* terkait ketersediaan *packaging material*. Persamaan 13 adalah *constraint* aktivasi tenaga kerja terhadap keputusan produksi.

Hasil Dan Pembahasan

Berikut ini merupakan data yang dikumpulkan berupa data *purchase order* (PO) periode bulan Januari 2024 – Juni 2025, data kapasitas produksi dan ketersediaan waktu produksi, data waktu dalam menghasilkan satu produk di setiap mesin, data waktu dan biaya *setup* mesin, data biaya persediaan *raw material* dan *packaging material*, data biaya produksi, data biaya persediaan produk jadi, data biaya tenaga kerja, dan data ketersediaan *packaging material*.

1. Data purchase order

Data selama periode bulan Januari 2024 – Juni 2025 akan diambil 3 periode (Februari 2024, Agustus 2024, dan Mei 2025). Di mana pada 3 periode tersebut diambil karena terdapat order secara bersamaan untuk 4 produk kosmetik yang akan diteliti.

Tabel 4. Data purchase order setiap produk

Periode	Produk 1	Produk 2	Produk 3	Produk 4
Januari 2024	-	-	-	150000
Februari 2024	200000	50000	50000	150000
Maret 2024	-	-	250000	50000
April 2024	100000	-	-	150000
Mei 2024	-	100000	175000	75000
Juni 2024	-	80000	400000	75000
Juli 2024	80000	-	400000	150000
Agustus 2024	40000	80000	900000	400000
September 2024	100000	-	-	-
Oktober 2024	70000	150000	500000	-
November 2024	-	100000	-	-
Desember 2024	70000	-	-	70000
Januari 2025	90000	-	600000	80000
Februari 2025	120000	87919	-	-
Maret 2025	-	-	-	-
April 2024	-	70000	200000	70000
Mei 2025	100000	100000	300000	150000
Juni 2025	-	-	200000	-

2. Data kapasitas produksi dan ketersediaan waktu produksi

Pada proses *mixing* terdapat dua jenis mesin *mixing* dengan kapasitas yang berbeda, yaitu 1 ton dan 3 ton. Sedangkan pada proses *filling* terdapat 7 line yang digunakan, di mana terdapat dua jenis mesin *filling* dengan kapasitas yang berbeda. Line 4, 5, 6, dan 7 memiliki kapasitas 3500 pcs/shift sedangkan line 2 dan 3 memiliki kapasitas 10000 pcs/shift, di mana dalam satu shift adalah 7 jam kerja. Kemudian, diketahui juga data ketersediaan total waktu proses produksi setiap hari kerjanya (menit) pada setiap periode. Pada periode 1 sampai dengan periode 3 diketahui total hari kerjanya, yang dapat dilihat semua pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Data kapasitas produksi dan ketersediaan waktu produksi

Kode Mesin	Tipe Mesin	Kapasitas	Available time per hari (menit)	Total Hari Kerja Periode 1	Total Hari Kerja Periode 2	Total Hari Kerja Periode 3
M1	Mesin <i>Mixing</i> 1 Ton	1 Ton/shift	1260	25	27	26
M2	Mesin <i>Mixing</i> 3 Ton	3 Ton/shift	1260	25	27	26
L1	Mesin <i>Filling Gear Pump</i>	3,500 pcs/shift	1260	25	27	26
L2	Mesin <i>Filling Auto Tube</i>	10,000 pcs/shift	1260	25	27	26
L3	Mesin <i>Filling Auto Tube</i>	10,000 pcs/shift	1260	25	27	26
L4	Mesin <i>Filling Gear Pump</i>	3,500 pcs/shift	1260	25	27	26
L5	Mesin <i>Filling Gear Pump</i>	3,500 pcs/shift	1260	25	27	26
L6	Mesin <i>Filling Gear Pump</i>	3,500 pcs/shift	1260	25	27	26
L7	Mesin <i>Filling Gear Pump</i>	3,500 pcs/shift	1260	25	27	26

3. Data waktu dalam menghasilkan satu produk di setiap mesin

Terdapat batasan proses produksi pada proses *filling* untuk setiap varian produk. Produk 1 dapat diproses pada line 1, 4, 5, 6, dan 7. Produk 2 maupun produk 3 hanya dapat dijalankan pada line 2 dan 3. Produk 4 hanya dapat dijalankan pada line 4, 5, dan 6. Pada Tabel 6 ini merupakan rincian data waktu dalam menghasilkan satuan dari setiap produk kosmetik.

Tabel 6. Data waktu dalam menghasilkan satu produk

Kode Mesin	Produk	Time per pcs (menit)
M1	Produk 1	0,042
M1	Produk 2	0,066
M1	Produk 3	0,064
M1	Produk 4	0,058
M2	Produk 1	0,014
M2	Produk 2	0,022
M2	Produk 3	0,021
M2	Produk 4	0,019
L1/L4/L5/L6/L7	Produk 1	0,125
L2/L3	Produk 2	0,048
L2/L3	Produk 3	0,043
L4/L5/L6	Produk 4	0,158
Packing	Produk 1	0,125
Packing	Produk 2	0,048
Packing	Produk 3	0,043
Packing	Produk 4	0,158

4. Data waktu dan biaya *setup* mesin

Setup mesin dilakukan untuk setiap pergantian produk kosmetik yang berbeda. Dalam proses *setup* mesin akan membutuhkan waktu maupun biaya, di mana nantinya juga akan mempengaruhi dalam proses perencanaan produksi. Biaya *setup* mesin yang dikumpulkan termasuk dengan biaya *consumable* dan biaya *downtime*. Biaya *consumable* adalah biaya bahan habis pakai yang digunakan khusus saat melakukan *setup* mesin dan bukan merupakan bagian dari produk. Biaya *downtime* adalah kerugian biaya akibat mesin tidak digunakan produksi selama proses *setup*.

Tabel 7. Data waktu dan biaya *setup* mesin

Kode Mesin	Waktu <i>Setup</i> (Menit)	Biaya <i>Setup</i> (Rp per <i>Setup</i>)
M1	120	250000
M2	180	375000
L1	90	120000
L2	120	220000

L3	120	220000
L4	90	120000
L5	90	120000
L6	90	120000
L7	90	120000

5. Data biaya persediaan *raw material* dan *packaging material*

Data biaya persediaan *raw material* maupun *packaging material* pada Tabel 8 ini sudah mencakup biaya penyimpanan dan diambil berdasarkan satuan produk pada setiap varian produknya.

Tabel 8. Data biaya persediaan *raw material* dan *packaging material*

Produk	Biaya Raw Material (Rp/pcs)	Biaya Packaging Material (Rp/pcs)
Produk 1	1410	564
Produk 2	1620	648
Produk 3	1665	666
Produk 4	1650	662

6. Data biaya produksi

Data terkait biaya produksi juga diambil berdasarkan satuan produk yang dihasilkan pada setiap variannya.

Tabel 9. Data biaya produksi

Produk	Mixing (Rp/pcs)	Filling (Rp/pcs)	Packing (Rp/pcs)	Total Biaya Produksi (Rp/pcs)
Produk 1	213	127	86	426
Produk 2	297	214	148	659
Produk 3	318	209	141	668
Produk 4	304	223	137	664

7. Data biaya persediaan produk jadi

Produk jadi yang dihasilkan akan memerlukan biaya untuk penyimpanan produk jadi sebelum dilakukan pengiriman. Biaya ini di luar dari biaya *raw material*, biaya *packaging material* maupun biaya produksi. Biaya ini juga berdasarkan satuan produk yang dihasilkan pada setiap variannya.

Tabel 10. Data biaya persediaan produk jadi

Produk	Biaya Persediaan FG (Rp/pcs)
Produk 1	44
Produk 2	51
Produk 3	52
Produk 4	48

8. Data biaya tenaga kerja

Diperlukan tenaga kerja yang akan melakukan proses pengerjaan produk dari proses pengadukan sampai dengan pengepakan. Tenaga kerja (operator) yang dipekerjakan berstatus harian karena industri maklon bersifat fluktuatif, di mana gaji per harinya sebesar Rp150.000. Pada Tabel 11 ini merupakan rincian data total biaya tenaga kerja yang telah dikeluarkan pada periode 1 sampai dengan periode 3.

Tabel 11. Data biaya tenaga kerja

Periode	Labor Cost
1	Rp180.000.000
2	Rp194.400.000
3	Rp187.200.000

9. Data ketersediaan *packaging material*

Terdapat kendala yang sering terjadi di lapangan (aktual) saat pemrosesan produksi akan dilakukan, di mana kendala tersebut adalah ketersediaan *packaging material* yang bergantung pada pendistribusian dari *customer*. Oleh karena itu, sebelum melakukan proses produksi, perlu memperhatikan ketersediaan *packaging material* dari setiap varian produk.

Tabel 12. Data ketersediaan *packaging material*

Prod uk	Packagi ng Materia l	Periode 1				Periode 2				Periode 3			
		Wee k 1 (pcs)	Wee k 2 (pcs)	Wee k 3 (pcs)	Wee k 4 (pcs)	Wee k 1 (pcs)	Wee k 2 (pcs)	Wee k 3 (pcs)	Wee k 4 (pcs)	Wee k 1 (pcs)	Wee k 2 (pcs)	Wee k 3 (pcs)	Wee k 4 (pcs)
Prod uk 1	Botol	4940 1	5119 9	4980 0	4960 0	9881	1023 9	9960	9920	2470 1	2559 9	2490 0	2480 0
	Cap	4900 0	5180 0	4940 0	4980 0	9800	1036 0	9880	9960	2450 0	2590 0	2470 0	2490 0
	Stiker	5020	4999	4960	5020	1004	9997	9920	1004	2510	2499	2480	2510
	Shield	3	7	0	0	3			0	3	7	0	0
	Shrink wrap	4940 2	5099 8	5040 0	4920 0	9882	1019 8	1008 0	9840	2470 2	2549 8	2520 0	2460 0
	Tube	1235 1	1279 9	1245 0	1240 0	1974 0	2058 5	1986 5	1981 0	2493 0	2552 0	2478 0	2477 0
Prod uk 2	Cap	1225 0	1295 0	1235 0	1245 0	1950 0	2065 0	1965 0	2020 0	2450 0	2565 0	2460 0	2525 0
	Stiker	1255	1249	1240	1255	1985	2000	1980	2035	2530	2499	2440	2530
	Shield	3	7	0	0	0	0	0	0	3	7	0	0
	Shrink wrap	1235 2	1274 8	1260 0	1230 0	1991 0	2009 5	1968 5	2031 0	2427 1	2518 3	2622 0	2432 6
	Tube	1251 5	1269 9	1255 8	1222 8	2214 81	2273 50	2249 15	2262 54	7395 0	7642 0	7488 5	7474 5
	Cap	1209 3	1259 4	1255 8	1275 5	2202 52	2262 86	2261 64	2272 98	7321 1	7522 3	7660 0	7496 6
Prod uk 3	Stiker	1228	1245	1243	1282	2198	2258	2258	2284	7298	7517	7488	7695
	Shield	9	1	2	8	44	91	37	28	3	7	2	8
	Shrink wrap	1210 3	1225 6	1245 2	1318 9	2204 23	2254 73	2230 84	2310 20	7385 6	7418 0	7463 3	7733 1
	Tube	3705 1	3839 9	3735 0	3720 0	9880 1	1023 99	9960 0	9920 0	3705 1	3839 9	3735 0	3720 0
	Cap	3675 0	3885 0	3705 0	3735 0	9800 0	1036 00	9880 0	9960 0	3675 0	3885 0	3705 0	3735 0
	Stiker	3765	3749	3720	3765	1004	9999	9920	1004	3765	3749	3720	3765
Prod uk 4	Shield	3	7	0	0	03	7	0	00	3	7	0	0
	Shrink wrap	3754 6	3725 4	3820 0	3700 0	9880 2	1017 98	1008 00	9860 0	3754 6	3725 4	3820 0	3700 0

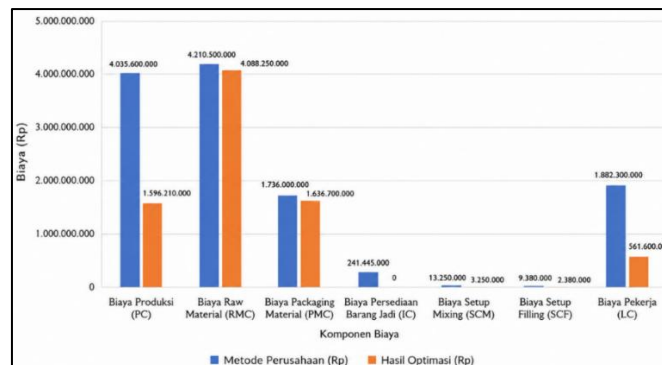
Hasil perbandingan metode perusahaan dengan metode hasil optimasi

Perencanaan produksi dengan penyelesaian metode optimasi menggunakan *software* LINGO diperoleh nilai fungsi tujuan sebesar Rp7,88 miliar. Sedangkan, nilai total biaya dengan metode perusahaan adalah sebesar Rp12,12 miliar. Selisih biaya total antara kedua metode tersebut adalah sebesar Rp4,24 miliar atau dipresentasikan mengalami penurunan sebesar 34,9%. Selain mengalami penurunan atau menghasilkan penghematan biaya, model mampu mengoptimalkan pemanfaatan kapasitas mesin pada proses *mixing*, *filling*, dan *packing* melalui alokasi produksi yang sesuai dengan kapasitas tersedia, waktu proses, serta batasan *eligibility* setiap *filling line*. Dengan demikian, penggunaan sumber daya produksi menjadi lebih optimal, frekuensi *setup* yang tidak diperlukan dapat dikurangi, dan potensi waktu menganggur mesin dapat diminimalkan. Model ini juga membantu perusahaan menyusun rencana produksi yang tetap memenuhi seluruh permintaan pelanggan dengan mempertimbangkan keterbatasan yang ada, sehingga dapat meningkatkan efisiensi operasional serta mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih objektif dan berbasis optimasi. Pada Tabel 13 dan Gambar 2 berikut ini merupakan rincian terkait perbandingan komponen biaya metode yang telah dilakukan selama ini oleh perusahaan dengan metode hasil optimasi.

Tabel 23. Perbandingan komponen biaya metode perusahaan dan hasil optimasi

Komponen	Metode Perusahaan (Rp)	Hasil Optimasi	Penurunan Biaya
Biaya Produksi (PC)	4.035.600.000	1.596.210.000	2.439.390.000
Biaya Raw Material (RMC)	4.210.500.000	4.088.250.000	122.250.000
Biaya Packaging Material (PMC)	1.736.000.000	1.636.700.000	99.300.000
Biaya Persediaan Barang Jadi (IC)	241.445.000	0	241.445.000

Biaya Setup Mixing (SCM)	13.250.000	3.250.000	10.000.000
Biaya Setup Filling (SCF)	9.380.000	2.380.000	7.000.000
Biaya Pekerja (LC)	1.882.300.000	561.600.000	1.320.700.000
Total	12.128.475.000	7.888.390.000	4.240.085.000

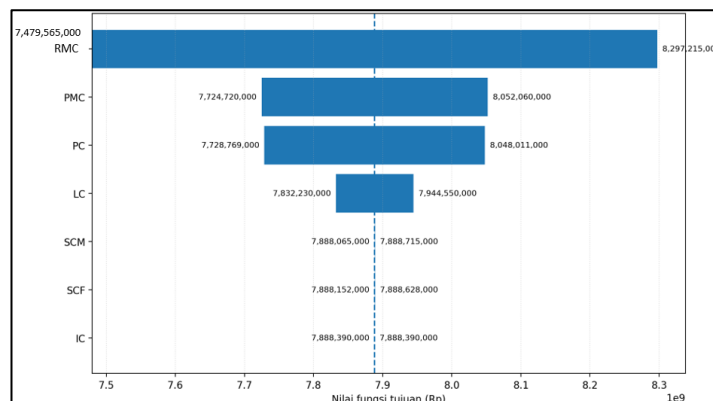


Gambar 2. Diagram batang perbandingan komponen biaya metode perusahaan dan hasil optimasi

Dari hasil tersebut sejalan dengan penelitian [8] yang menunjukkan bahwa pendekatan MILP mampu menghasilkan rencana produksi yang lebih efisien dibandingkan metode perencanaan perusahaan dengan tetap memenuhi seluruh permintaan pelanggan. Perbedaannya, penelitian ini mengembangkan model yang lebih komprehensif karena tidak hanya mempertimbangkan biaya produksi, tetapi juga mengintegrasikan biaya *raw material*, *packaging material*, biaya persediaan produk jadi, biaya *setup* mesin *mixing* dan *filling*, serta biaya tenaga kerja dalam satu fungsi tujuan.

Sensitivity analysis

Analisis sensitivitas yang pertama dilakukan untuk mengidentifikasi parameter biaya yang paling berpengaruh terhadap perubahan nilai fungsi tujuan. Pengujian dilakukan dengan mengubah setiap parameter biaya sebesar $\pm 10\%$, sementara parameter lainnya dianggap konstan.



Gambar 3. Analisis Sensitivitas Parameter Terhadap Nilai Fungsi Tujuan dengan *Tornado Chart*

Pada Gambar 3 tersebut menunjukkan bahwa parameter biaya *raw material* (RMC) merupakan parameter yang paling sensitif terhadap nilai fungsi tujuan. Perubahan sebesar $\pm 10\%$ pada RMC menghasilkan perubahan nilai *objective* yang paling besar dibandingkan parameter lainnya. Hal ini disebabkan karena komponen *raw material* memiliki kontribusi biaya terbesar dalam struktur total biaya produksi. Dengan demikian, fluktuasi harga bahan baku akan secara langsung dan signifikan memengaruhi total biaya yang harus dikeluarkan perusahaan.

Parameter biaya *packaging material* (PMC) memiliki tingkat sensitivitas kedua terbesar. Hal ini menunjukkan bahwa material kemasan juga merupakan komponen biaya yang dominan setelah *raw material*. Biaya proses produksi (PC) menempati urutan ketiga dalam tingkat sensitivitas. Meskipun kontribusinya lebih kecil dibandingkan biaya material, parameter ini tetap memiliki pengaruh yang cukup besar karena berkaitan langsung dengan aktivitas produksi setiap menghasilkan satuan produk.

Biaya tenaga kerja (LC) menunjukkan tingkat sensitivitas yang moderat. Hal ini dikarenakan biaya tenaga kerja bersifat periodik dan tidak secara langsung proporsional terhadap jumlah produksi, sehingga dampaknya terhadap perubahan nilai fungsi tujuan lebih kecil dibandingkan biaya material dan produksi. Biaya *setup* mesin *mixing* (SCM) dan *filling* (SCF) memiliki pengaruh yang relatif kecil terhadap nilai fungsi tujuan. Hal ini disebabkan oleh frekuensi *setup* yang terbatas serta kontribusi biaya yang kecil dibandingkan komponen biaya lainnya.

Biaya persediaan *finished goods* (IC) tidak memengaruhi nilai fungsi tujuan karena model menghasilkan solusi dengan persediaan akhir sebesar nol pada seluruh periode. Kondisi ini merupakan konsekuensi dari fungsi tujuan yang meminimalkan biaya penyimpanan serta tidak adanya kendala *safety stock* dalam model. Karena dalam praktik nyatanya juga telah dilakukan pengiriman produk jadi langsung ke *warehouse* milik *customer* ketika sudah siap kirim.

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa biaya *raw material* merupakan parameter yang paling memengaruhi perubahan nilai fungsi tujuan. Temuan ini mengindikasikan bahwa perusahaan perlu memfokuskan strategi pengendalian biaya pada pengadaan bahan baku. Beberapa strategi yang dapat diterapkan antara lain melakukan kontrak pembelian jangka menengah atau jangka panjang dengan pemasok utama untuk memperoleh harga yang lebih stabil, melakukan evaluasi dan diversifikasi pemasok guna mengurangi ketergantungan terhadap satu sumber bahan baku, serta meningkatkan akurasi perencanaan kebutuhan material agar pembelian dapat dilakukan pada kondisi harga yang lebih kompetitif. Selain itu, perusahaan dapat melakukan pemantauan tren harga bahan baku secara berkala sebagai dasar penentuan waktu pembelian yang optimal. Dengan strategi tersebut, risiko fluktuasi harga bahan baku dapat diminimalkan sehingga efisiensi biaya yang dihasilkan oleh model MILP dapat dipertahankan dalam implementasi operasional perusahaan.

Keterbatasan dan saran penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil penelitian. Model *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dikembangkan berdasarkan data observasi selama tiga periode perencanaan dengan empat varian produk kosmetik sehingga ruang lingkup penelitian masih terbatas pada kondisi operasional perusahaan yang menjadi objek penelitian. Oleh karena itu, hasil penelitian ini belum sepenuhnya dapat digeneralisasikan untuk perusahaan dengan jumlah produk yang lebih banyak, horizon perencanaan yang lebih panjang, maupun kondisi operasional yang memiliki tingkat ketidakpastian yang lebih tinggi.

Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model dengan memperluas jumlah produk dan periode perencanaan agar mampu merepresentasikan kondisi produksi yang lebih kompleks. Selain itu, model dapat diintegrasikan dengan aspek kualitas produk, *lead time* pengadaan bahan baku dan *packaging material*, ketidakpastian permintaan maupun pasokan, serta gangguan operasional seperti *machine breakdown*. Pengembangan tersebut diharapkan dapat menghasilkan model optimasi yang lebih adaptif terhadap kondisi nyata industri manufaktur kosmetik dan meningkatkan kualitas pengambilan keputusan dalam perencanaan produksi.

Simpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan model *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) untuk perencanaan produksi pada perusahaan manufaktur kosmetik dengan tujuan meminimalkan total biaya yang ada. Model yang dikembangkan mampu merepresentasikan kondisi operasional perusahaan melalui integrasi berbagai kendala, meliputi kapasitas proses *mixing*, *filling*, dan *packing*, kapasitas mesin, waktu produksi, *eligibility filling line*, ketersediaan *packaging material*, biaya *setup* mesin, biaya tenaga kerja, biaya *raw material*, biaya *packaging material*, biaya produksi, serta biaya persediaan produk jadi. Hasil optimasi menunjukkan bahwa model MILP menghasilkan rencana produksi yang lebih efisien dibandingkan metode perusahaan. Hasil tersebut membuktikan bahwa pendekatan MILP mampu meningkatkan efisiensi perencanaan produksi dengan tetap memenuhi berbagai kendala operasional perusahaan.

Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa biaya *raw material* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap perubahan nilai fungsi tujuan, diikuti oleh biaya *packaging material*, biaya produksi, biaya tenaga kerja, biaya *setup* mesin, dan biaya persediaan produk jadi. Temuan ini menunjukkan bahwa pengendalian biaya bahan baku menjadi faktor utama dalam upaya meningkatkan efisiensi biaya produksi pada industri manufaktur kosmetik.

Daftar Pustaka

- [1] Kemenperin, "Industri Kosmetik Kian Tumbuh dan Berdaya Saing Global," Komdigi. [Online].

- Available: <https://www.komdigi.go.id/berita/artikel-gpr/detail/kemenperin-industri-kosmetik-kian-tumbuh-dan-berdaya-saing-global>
- [2] S. I. Gass, "Linear Programming Methods and Applications," Dover Publication, Inc. [Online]. Available: https://archive.org/details/linearprogrammin0000gass_5edi/page/n1/mode/2up
 - [3] H. A. Taha, "Operations Research: An Introduction," Pearson. [Online]. Available: <https://zalamsyah.staff.unja.ac.id/wp-content/uploads/sites/286/2019/11/9-Operations-Research-An-Introduction-10th-Ed.-Hamdy-A-Taha.pdf>
 - [4] R. Ginting, "Penjadwalan Mesin," *Graha Ilmu*, p. 271, 2009.
 - [5] T. T. Dymyati, "Operations Research : Model-Model Pengambilan Keputusan," Sinar Baru Algensindo. [Online]. Available: <https://inlislite.ipdn.ac.id/opac/detail-opac?id=18279>
 - [6] W. L. Winston, *Operations Research Applications and Algorithms*. 2004.
 - [7] F. S. Hillier, G. J. Lieberman, and F. S. Hillier, *Operations*.
 - [8] F. Zanella and C. B. Vaz, "Sustainable Short-Term Production Planning Optimization," *SN Comput. Sci.*, vol. 4, no. 6, 2023, doi: 10.1007/s42979-023-02261-7.
 - [9] A. Z. Zakariya, "Optimasi Penjadwalan Job-Job Pada Mesin Produksi Menggunakan Metode Integer Programming," 2017.
 - [10] F. Wirma, "Optimasi Perencanaan Produksi Tepung Terigu Di PT Y Dengan Model Linear Programming," 2018.
 - [11] S. K. Bala, N. R. Bala, H. R. Biswas, and S. K. Mondal, "Application of Linear Programming Approach for Determining Optimum Production Cost," *Asian Bus. Rev.*, vol. 10, no. 2, pp. 87–90, 2020, doi: 10.18034/abr.v10i2.466.
 - [12] G. Adrio, A. García-Villoria, M. Juanpera, and R. Pastor, "MILP model for the mid-term production planning in a chemical company with non-constant consumption of raw materials. An industrial application," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 177, no. October 2022, p. 108361, 2023, doi: 10.1016/j.compchemeng.2023.108361.
 - [13] C. Lopes and A. Oliveira, "Minimization of Costs with Picking and Storage Operations †," *Systems*, vol. 12, no. 5, pp. 1–10, 2024, doi: 10.3390/systems12050158.
 - [14] A. U. Khan and B. Tiwari, "Communications on Applied Nonlinear Analysis Mixed-Integer Linear Programming Optimization Framework for Industrial Manufacturing Processes .," vol. 31, no. 1, pp. 229–238, 2024.
 - [15] K. R. Baker, *Principles of Sequencing and Scheduling: 2nd Edition*. Wiley, 2019.
 - [16] L. E. Schrage, *Optimization Modeling with LINGO: Fifth Edition*. 2003.