

OPTIMASI PERENCANAAN PRODUKSI AGREGAT PRODUK TUNGGAL DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KAPASITAS PRODUKSI

Denny Suci Prastiya*, Rossi Septy Wahyuni

Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma
Jl. Margonda Raya No. 100, Depok, Jawa Barat, Indonesia 16424

Abstrak

Pertumbuhan pada industri air minum dalam kemasan mengalami peningkatan secara signifikan. Peningkatan pada industri air minum dalam kemasan dipengaruhi oleh tingginya permintaan akan produk air minum bersih. PT X pada studi kasus ini mengalami fluktuasi permintaan yang diakibatkan tingginya persaingan antara industri sejenis. Oleh karena itu PT X pada studi kasus ini menjalin kerja sama subkontrak dalam memenuhi permintaan. Permasalahan yang dialami oleh PT X adalah meningkatnya harga per unit saat melakukan subkontrak. Tingginya harga unit subkontrak dapat mengakibatkan tingginya biaya perencanaan produksi. Penelitian ini dilakukan untuk meminimasi jumlah unit subkontrak dengan mengoptimalkan produksi internal. Model optimasi dibangun dengan fungsi tujuan linear dan fungsi pembatas non linear sebagai usulan optimasi perencanaan produksi agregat. Di samping itu, berkurangnya jumlah unit subkontrak dapat mengakibatkan tingginya produksi internal perusahaan, sehingga model usulan perlu mempertimbangkan kapasitas produksi. Usulan evaluasi kapasitas dilakukan menggunakan pendekatan rough-cut capacity planning. Berdasarkan hasil optimasi model usulan dapat menghemat biaya perencanaan produksi agregat sebesar 5% dibandingkan dengan kondisi nyata.

Kata kunci: integer nonlinear programming; kapasitas produksi; perencanaan produksi agregat

[Optimization of Single Product Aggregate Production Planning Considering Production Capacity] Bottled drinking water industry growth has increased significantly. The increase in the bottled drinking water industry is influenced by the high demand for clean drinking water products. PT X in this case study experienced fluctuations in demand due to high competition between similar industries. Therefore, PT X established sub-contract cooperation to fulfill demand in this case study. The problem experienced by PT X was when carrying out sub-contract cooperation. The high price per unit of sub-contracted products can result in high production planning cost. The research is conducted to minimize the number of sub-contract units while optimizing internal production. The optimization model was built with a linear objective function and a nonlinear constraint function as an optimization proposal for aggregate production planning. Besides that, the reduced number of sub-contract units can result in high internal production for the company, therefore it is necessary to consider production capacity. The proposed capacity evaluation is conducted using a rough-cut capacity planning approach. Based on the results of the optimization of the proposed model, it can save 5% of aggregate production planning costs compared to actual conditions.

Keywords: integer nonlinear programming; production capacity; aggregate production planning

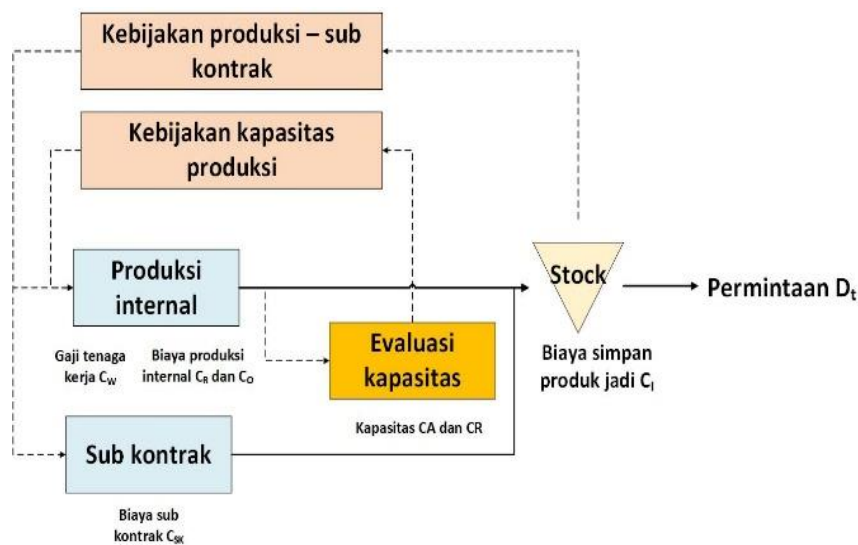
1. Pendahuluan

Industri air minum dalam kemasan (AMDK) telah mengalami perkembangan yang sangat signifikan beberapa tahun terakhir. Perkembangan ini dipengaruhi oleh kebutuhan konsumen terhadap air minum bersih. Pada tahun 2020 terdapat 1.032 perusahaan AMDK dengan 7.780 produk (*brand*) yang berada di Indonesia. Seluruh produk AMDK yang tersebar di Indonesia 99,5% merupakan produk dalam negeri (Data Reportal,

2020). Namun demikian, tumbuhnya industri AMDK juga dapat berdampak pada tumbuhnya persaingan yang kompetitif serta menimbulkan fluktuasi permintaan produk selama horizon waktu. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan perencanaan produksi sebagai faktor penting untuk mengatasi perubahan permintaan dalam menghadapi persaingan bisnis yang kompetitif. Perencanaan dan pengendalian produksi merupakan bagian penting pada manajemen kapasitas dan permintaan dalam mengatur proses produksi dan utilitas dari sumber daya produksi untuk memenuhi penjualan produk akhir (Sabah et al., 2019). Perencanaan produksi melibatkan keputusan jangka

*Penulis Korespondensi.

E-mail: dennysuci8@gmail.com



Gambar 1. Perilaku Kerja Sama Subkontrak

panjang (*long-term planning*) seperti; *resource planning*, *sales (demand)* pada perencanaan agregat dan model keputusan persediaan, sedangkan pada pengendalian produksi melibatkan keputusan jangka menengah dan pendek (*medium and short term planning*) yaitu *capacity requirement* dan *input and output control* pada rantai produksi (Oluyisola et al., 2020). Fungsi tujuan perencanaan agregat (S&OP) adalah untuk meminimasi biaya produksi dengan melibatkan faktor seperti: jumlah penyimpanan produk akhir (FG), jumlah produksi, tenaga kerja, lembur, subkontrak dan bahan baku (Firmansyah et al., 2022).

Penelitian terdahulu dilakukan oleh (Gómez-Rocha & Hernández-Gress, 2022) menggunakan 2 model perencanaan bersifat deterministik dan stokastik. Perencanaan produksi agregat pada model 1 bersifat deterministik dengan menggunakan *service level* berdistribusi normal. Sedangkan pada model 2 perencanaan produksi agregat melibatkan skenario bersifat stokastik dengan *service level* berdistribusi normal diskrit dengan teknik *gaussian quadrature*. Studi kasus penelitian ini pada perusahaan mebel (*furniture*), di mana fungsi tujuan untuk 2 model adalah meminimasi total biaya perencanaan produksi agregat pada masing-masing model usulan.

Penelitian lainnya tentang perencanaan produksi agregat dilakukan oleh (Yu et al., 2022) pada kasus *multi product* dan *single plant* serta proyeksi permintaan berdasarkan rata-rata produksi, tenaga kerja, level persediaan, dan kolaborasi pemasok. Fungsi tujuan dalam penelitian ini adalah untuk memaksimalkan pendapatan penjualan, meminimasi biaya total produksi dan meminimasi biaya perbaikan. Studi kasus penelitian ini adalah pada industri yang memproduksi *wireless LAN* dan *Ethernet Switch*. Pada penelitian ini faktor harga produk per unit (*sales revenue*), biaya perbaikan dan waktu mesin pada saat produksi dipertimbangkan sebagai parameter.

Studi kasus penelitian ini adalah perusahaan air minum dalam kemasan yang berlokasi di Kabupaten Bogor. Pada kondisi nyata perusahaan melakukan kerja

sama subkontrak untuk memenuhi permintaan pelanggan. Kerja sama subkontrak dilakukan hanya pada proses produksi, sehingga perusahaan perlu mengirimkan bahan baku kemasan kepada perusahaan subkontrak (Rivera-Gómez et al., 2022). Berdasarkan hasil wawancara pada pihak manajer produksi dan pra penelitian terdapat permasalahan yang dialami oleh perusahaan air minum dalam kemasan. Permasalahan yang dialami berupa tingginya biaya produksi eksternal per unit diakibatkan kerja sama subkontrak dalam memenuhi permintaan produk. Perusahaan melakukan pembelian produk pada kerja sama subkontrak sebesar 7%-20% dari total permintaan pelanggan. Di samping itu, kerja sama subkontrak yang dilakukan dalam jangka panjang (*long term*) dapat mengakibatkan tumbuhnya pesaing pada industri sejenis. **Gambar 1** menunjukkan perilaku perencanaan produksi internal dan subkontrak pada perusahaan air minum dalam kemasan.

Pada kondisi nyata perusahaan melakukan kerja sama subkontrak selama jangka waktu 6 hingga 12 bulan. Akan tetapi beban biaya unit subkontrak mengalami peningkatan sehingga perusahaan perlu melakukan evaluasi perencanaan produksi internal. Selain itu, adanya permintaan yang berfluktuasi pada periode tertentu juga dapat berdampak pada tingginya beban kapasitas produksi yang melibatkan tenaga kerja. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan evaluasi ulang perencanaan produksi pada jangka waktu menengah (taktis) dalam menghadapi tingginya biaya unit subkontrak dan terbatasnya kapasitas produksi. Penelitian ini mempertimbangkan faktor perencanaan produksi agregat dalam mengevaluasi beban biaya produksi subkontrak selama periode perencanaan (Rivera-Gómez et al., 2022). Selain itu, penelitian ini juga melakukan evaluasi waktu proses tenaga kerja pada kapasitas produksi internal sebagai usulan untuk mengurangi beban unit subkontrak. Penelitian-penelitian yang telah dikaji sebelumnya hanya terbatas pada salah satu faktor seperti perencanaan biaya atau kapasitas produksi. Namun demikian, penelitian

mengenai integrasi perencanaan biaya agregat dan penjadwalan produksi telah dilakukan oleh (Bhosale & Pawar, 2020). Akan tetapi, pada penelitian ini model perencanaan hanya terbatas pada faktor proses produksi internal tanpa melibatkan faktor subkontrak dan tenaga kerja. Di sisi lain, model perencanaan produksi agregat menggunakan tenaga kerja telah dilakukan oleh (Krajčovič et al., 2021). Pada penelitian ini, perencanaan hanya terbatas pada utilitas tenaga kerja dengan fokus pada aktivitas kerja operasional reguler dan irreguler. Lebih lanjut, penelitian mengenai perencanaan agregat dengan multi-level produksi telah dilakukan oleh (Hahn & Brandenburg, 2018). Model ini dikembangkan pada industri kimia dan terbatas pada rute proses produksi di *plant* internal tanpa melibatkan faktor subkontrak (beban produksi eksternal).

Berdasarkan penelitian terdahulu dan kondisi permasalahan pada perusahaan air minum dalam kemasan, maka terdapat *gap* antara faktor perencanaan biaya dan kapasitas produksi yang melibatkan strategi tenaga kerja langsung, subkontrak (eksternal) dan evaluasi waktu proses produksi secara serentak. Oleh karena itu, pada penelitian ini dapat dikembangkan model usulan optimasi perencanaan biaya produksi agregat dengan pertimbangan evaluasi kapasitas produksi berdasarkan kendala usulan variabel tersebut. Adapun, pemilihan pendekatan perencanaan biaya agregat didasari oleh pertimbangan faktor kendala strategi tenaga kerja dan faktor beban biaya subkontrak. Di samping itu, penelitian ini juga melakukan evaluasi proses produksi menyeluruh berdasarkan *rough-cut capacity planning* (RCCP) dengan pendekatan *bill of labor* (tenaga kerja) di industri *make to stock* (MTS). Pendekatan *bill of labor* pada RCCP dapat digunakan untuk menentukan waktu produksi per unit tenaga kerja serta dapat terhubung langsung dengan faktor perencanaan biaya agregat. Penelitian ini dikembangkan dengan menggabungkan model penelitian terdahulu oleh (Gómez-Rocha & Hernández-Gress, 2022; Yu et al., 2022). Tujuan penelitian ini adalah untuk meminimasi biaya perencanaan produksi agregat dengan pertimbangan evaluasi kapasitas produksi pada ruang lingkup perencanaan taktis.

2. Metode Penelitian

Identifikasi awal penelitian ini dilakukan dengan memahami kondisi dan permasalahan yang terjadi pada perusahaan air minum dalam kemasan. Tahapan pertama dilakukan dengan observasi langsung dan wawancara pada pihak manajer produksi PT X. Berdasarkan hasil wawancara maka dapat diketahui permasalahan yang sedang terjadi di PT X adalah meningkatnya beban biaya per unit produk subkontrak yang dapat berpengaruh terhadap harga jual produk. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dilakukan telaah pustaka yang dapat digunakan sebagai usulan optimasi biaya produksi pada PT X. Dalam melakukan optimasi biaya produksi diperlukan pengumpulan data yang terdiri dari data kapasitas maksimum produksi reguler dan lembur, jam kerja, jam lembur, jumlah

tenaga kerja, permintaan, persediaan maksimum dan jumlah unit subkontrak. Data tersebut digunakan dalam membangun persamaan model matematis usulan. Model matematis usulan harus dapat merefleksikan kondisi nyata pada PT X sehingga model usulan dapat diimplementasikan. Selanjutnya, verifikasi model matematis dilakukan dengan menyamakan antara satuan pada pembatas kiri dan kanan. Pengolahan data dilakukan menggunakan Lingo 18.0 dan Solver Excel. Hasil variabel keputusan pada jumlah unit produksi internal, kemudian dilakukan evaluasi kapasitas menggunakan *rough-cut capacity planning*. Pada penelitian ini dilakukan analisis sensitivitas sebagai pengujian model terhadap variabel subkontrak dan produksi internal.

2.1. Strategi Perencanaan Produksi Agregat

Penelitian ini menggunakan pendekatan perencanaan produksi agregat dalam menentukan keputusan biaya optimal produksi. Penentuan pendekatan ini dipengaruhi oleh faktor perencanaan dan beberapa variabel terkait yang digunakan antara lain tenaga kerja, subkontrak, persediaan (*inventory*), jumlah produksi, kekurangan produksi dan *backorder* selama horizon waktu. Selain itu, penelitian ini menggunakan pendekatan manajemen perencanaan taktis berdasarkan durasi waktu 6 bulan (Chopra, Sunil & Peter, Meindl, 2019).

Lebih lanjut, penelitian ini menggunakan pendekatan perencanaan agregat yang disesuaikan dengan kondisi nyata perusahaan dalam membangun model optimasi. Model optimasi yang digunakan pada penelitian ini melibatkan strategi *level*, *chase* dan *hybrid*. Pada strategi *level* optimal produksi digunakan sebagai rujukan dalam pengambilan keputusan, sedangkan pada strategi *chase* jumlah tenaga kerja produksi digunakan sebagai pertimbangan dan pada strategi hibrid pengaruh durasi lembur mesin dan tenaga kerja digunakan dalam memenuhi target produksi. Selain itu, perencanaan agregat juga melibatkan faktor subkontrak yang menjadi fokus permasalahan dalam penelitian ini.

2.2. Rough-Cut Capacity Planning

Pada penelitian ini, evaluasi *master production schedule* (target produksi) pada *output* perencanaan agregat usulan dilakukan menggunakan *rough-cut capacity planning*. Evaluasi *master production schedule* menggunakan *rough-cut capacity planning* dipilih karena dapat diaplikasikan dengan perencanaan agregat sesuai dengan ruang lingkup perencanaan taktis. Terdapat 3 teknik umum yang dapat digunakan pada pendekatan *rough-cut capacity planning* antara lain: *capacity planning using overall factor*, *bill of labor* dan *resource profile* (Jacobs, F. R et al., 2018). Usulan teknik pada penelitian ini menggunakan *bill of labor*. Pemilihan teknik ini, dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: produksi permintaan yang digunakan oleh perusahaan air minum dalam kemasan yaitu *make to stock* (MTS), kapasitas waktu produksi tenaga kerja

Tabel 1. Indeks Model

Set	Definisi
t	Bulan
m	Jenis mesin
s	Shift kerja

Tabel 2. Data Parameter Model

Parameter	Definisi
D_t	Permintaan ramalan per bulan
d_t	Hari kerja per bulan
δ	Jam kerja tenaga kerja reguler maksimum per hari/ <i>shift</i>
β	Jam kerja tenaga kerja lembur maksimum per hari/ <i>shift</i>
k	Waktu proses membuat produk per unit menggunakan tenaga kerja
W_{t-1}	Jumlah tenaga kerja awal bulan
W_{tmax}	Jumlah tenaga kerja maksimum
R_{tmax}	Produksi reguler maksimum
O_{tmax}	Produksi lembur maksimum
I_{max}	Kapasitas maksimum unit persediaan produk akhir
I_{t-1}	Jumlah unit persediaan pada periode awal
$A1$	Jumlah unit produksi reguler per tenaga kerja
$A2$	Jumlah unit produksi lembur per tenaga kerja
C_W	Biaya tenaga kerja per bulan
C_{OT}	Biaya tenaga kerja lembur per jam β
C_I	Biaya persediaan per unit
C_{SK}	Biaya subkontrak per unit
C_H	Biaya perekrutan per tenaga kerja
C_F	Biaya pemecatan per tenaga kerja
C_R	Biaya produksi reguler per unit
C_O	Biaya produksi lembur per unit
b_m	Waktu produksi pada mesin m per unit
c_m	Set up mesin m per unit per hari
Q_m	Ukuran <i>batch</i> pada mesin m

yang terhubung langsung pada perencanaan agregat dan waktu detail proses mesin (*routing time*) di setiap *workstation* sebagai evaluasi produksi internal. Di sisi lain, teknik *capacity planning using overall factor* berfokus pada lingkungan manufaktur bersifat *just in time* (JIT) dengan eksekusi produksi yang cepat, evaluasi terbatas pada total waktu proses di *work center* akhir (*end product*) dan tidak ada *work-in-process* pada persediaan. Sedangkan, pada teknik *resource profile* penggunaan *lead time offset* ditambahkan pada data waktu produksi untuk studi kasus di industri *make to order* (MTO) dan *assembly to order* (ATO) dengan durasi waktu produksi yang cukup panjang.

2.3. Non-Linear Programming

Penelitian ini menggunakan *non-linear programming* dalam pencarian solusi usulan model integrasi perencanaan biaya produksi agregat dengan pertimbangan kapasitas produksi. Basis kendala dasar dalam *non-linear programming* ditunjukkan oleh persamaan (1) dan (2) berikut:

Optimasi (*max* atau *min*) $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_{2n})$
 Subjek konstraint (pembatas)

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_{2n}) \{ \leq, =, \geq \} b_i; i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$\text{dan } x_j \geq 0 \text{ untuk semua } j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Di mana $f(x_1, x_2, \dots, x_{2n})$ dan $g_i(x_1, x_2, \dots, x_{2n})$ adalah nilai fungsi dari n variabel keputusan, dan paling sedikit memiliki satu fungsi *non-linear*.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengembangan model pada perencanaan produksi agregat berdasarkan permasalahan pada kondisi nyata perusahaan. Model referensi yang digunakan berdasarkan pada penelitian (Yu et al., 2022). Usulan model dilakukan dengan menambahkan evaluasi waktu kapasitas produksi per unit berdasarkan *rough-cut capacity planning* menggunakan pendekatan *bill of labor*. Pengembangan model ini didasari pada integrasi antara waktu produksi dan biaya perencanaan produksi yang melibatkan tenaga kerja. Penelitian (Omatseye & Urbanic, 2022) digunakan untuk menghitung efisiensi mesin dan waktu proses. Usulan model perencanaan produksi agregat produk tunggal dievaluasi menggunakan waktu produksi per unit yang saling terhubung antar model sehingga diperoleh biaya dan kapasitas produksi optimal (Xu & Song, 2022). **Tabel 1** adalah penjelasan indeks, **Tabel 2** adalah parameter model, dan **Tabel 3** adalah variabel keputusan.

Tabel 3. Variabel Keputusan Model

Variabel	Definisi
P_t	Total keseluruhan produksi
X_t	Jumlah produksi internal
R_t	Jumlah unit produksi reguler per bulan
O_t	Jumlah unit produksi lembur per bulan
SK_t	Jumlah unit subkontrak per bulan
I_t	Jumlah unit persediaan per bulan
H_t	Jumlah perekrutan tenaga kerja (bulan)
F_t	Jumlah pemecatan tenaga kerja (bulan)
W_t	Jumlah tenaga kerja pada bulan t
dT_t	Jumlah hari kerja lembur pada bulan t
OT_t	Jumlah jam lembur pada bulan t

3.1. Model usulan matematis perencanaan produksi agregat produk tunggal dan kapasitas produksi

Model optimasi perencanaan biaya produksi agregat dikembangkan dengan pertimbangan subkontrak (persamaan 18), strategi waktu tenaga kerja (persamaan 16 dan 17) dan evaluasi tenaga kerja menggunakan pendekatan *rough-cut capacity planning* (persamaan 22, 23 dan 24). Evaluasi dilakukan dengan mengkalkulasi waktu aliran produksi per *batch* ke dalam waktu produksi per unit (Baydoun et al., 2016). Hal ini dilakukan untuk mengestimasi total waktu proses produksi menggunakan tenaga kerja dalam memenuhi target *master production schedule* yang terhubung langsung dengan waktu proses pada perencanaan biaya produksi agregat. Penelitian ini dilakukan di bawah pendekatan perencanaan taktis sehingga evaluasi kapasitas waktu produksi dapat dihitung per unit.

3.1.1. Fungsi tujuan

Fungsi tujuan model yang dibangun pada persamaan (3) adalah untuk meminimasi biaya perencanaan produksi yang terdiri dari biaya produksi pada *plant internal*, biaya subkontrak per unit, biaya persediaan per unit, biaya terkait tenaga kerja (perekrutan dan pemecatan) dan waktu lembur selama horizon waktu perencanaan (Yu et al., 2022).

$$\begin{aligned} \min TC = & \sum_{t=1}^T (C_R R_t + C_O O_t + C_{SK} SK_t + C_I I_t) \\ & + \sum_{t=1}^T (C_H H_t + C_F F_t) + \sum_{t=1}^T (C_W W_t) \\ & + \sum_{t=1}^T (C_{OT} dT_t OT_t W_t) \end{aligned} \quad (3)$$

3.1.2. Fungsi pembatas perencanaan produksi agregat

Fungsi pembatas dibangun berdasarkan kondisi nyata dan model penelitian terdahulu (Yu et al., 2022; Omatseye & Urbanic, 2022)

$$W_t \leq W_{tmax}, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (4)$$

$$W_{t-1} + H_t - F_t = W_t, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (5)$$

$$H_t \times F_t = 0, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (6)$$

Pembatas pada persamaan (4) mensyaratkan bahwa jumlah tenaga kerja tidak melebihi kapasitas maksimum tenaga kerja. Jumlah tenaga kerja pada periode t dapat terjadi penambahan (*hiring*) atau pengurangan (*firing*) bersifat kontrak kerja pada persamaan (5). Namun demikian apabila jumlah pekerja tetap maka bernilai 0 seperti yang ditunjukkan pada persamaan (6).

$$R_t + O_t + SK_t + I_{t-1} = P_t, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (7)$$

$$P_t \geq D_t, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (8)$$

Pembatas pada persamaan (7) mensyaratkan bahwa total kapasitas produksi melibatkan jumlah produksi internal reguler, lembur, subkontrak dan persediaan. Adapun kapasitas produksi harus melebihi permintaan pada bulan t sehingga permintaan dapat dipenuhi berdasarkan persamaan (8).

$$X_t = R_t + O_t, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (9)$$

Persamaan (9) merupakan jumlah unit yang diproduksi pada *plant internal* perusahaan terdiri dari produksi reguler dan lembur.

$$R_t \leq R_{tmax}, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (10)$$

$$R_{tmax} = d_t \times A1 \times W_t, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (11)$$

$$A1 = \frac{\delta}{k} \quad (12)$$

Pembatas pada persamaan (10) mensyaratkan bahwa produksi reguler internal t tidak melebihi jumlah unit maksimum produksi reguler internal. Unit produksi reguler maksimum dihitung berdasarkan persamaan (11) hari kerja pada bulan t , jumlah produksi produk oleh 1 tenaga kerja reguler dan jumlah tenaga kerja. Jumlah unit produksi reguler per tenaga kerja dihitung menggunakan persamaan (12).

$$O_t \leq O_{tmax}, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (13)$$

$$O_{tmax} = d_t \times A2 \times W_t, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (14)$$

$$A2 = \frac{\beta}{k} \quad (15)$$

Pembatas pada persamaan (13) mensyaratkan bahwa produksi lembur internal t tidak melebihi jumlah unit maksimum produksi lembur internal. Unit produksi lembur maksimum dihitung berdasarkan persamaan (14) hari kerja pada bulan t , jumlah produksi produk oleh 1 tenaga kerja lembur dan jumlah tenaga kerja. Jumlah unit produksi lembur per tenaga kerja dihitung menggunakan persamaan (15).

$$OT_t = \begin{cases} \text{jika } O_t; & \frac{O_t \times k}{d_t \times W_t}, \forall t = 1, 2, \dots, T \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (16)$$

$$dT_t = \begin{cases} \text{jika } O_t; & \frac{O_t \times k}{OT_t \times W_t}, \forall t = 1, 2, \dots, T \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (17)$$

Persamaan (16) mensyaratkan bahwa waktu jam kerja lembur diperoleh berdasarkan keputusan jumlah unit produksi. Keputusan lembur diperoleh jika jumlah produksi reguler tidak dapat memenuhi permintaan sehingga perlu melakukan lembur kerja. Lembur yang digunakan berdasarkan keputusan jumlah unit dan jam maksimum pada pembatas. Sedangkan pada persamaan (17) merupakan keputusan jumlah hari yang terjadi lembur pada bulan t . Jumlah hari lembur ini dipengaruhi karena dalam 1 bulan t hanya terdapat beberapa hari lembur sehingga persamaan ini perlu dihitung untuk menentukan jumlah biaya lembur per hari per tenaga kerja.

$$SK_t = \min\{SK_{tmax}, \max\{0, D_t - I_{t-1} + X_t\}\}, \quad \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (18)$$

Persamaan (18) mensyaratkan bahwa jumlah unit produksi subkontrak yang digunakan adalah jumlah unit minimum. Jumlah unit subkontrak diperoleh berdasarkan sisa permintaan yang tidak dapat dipenuhi oleh produksi internal perusahaan.

$$I_t = R_t + O_t + S_t - D_t, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (19)$$

$$I_t \leq I_{tmax}, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (20)$$

Persamaan (19) merupakan persediaan produk akhir yang diperoleh berdasarkan jumlah sisa kapasitas produksi dalam memenuhi permintaan. Pembatas pada persamaan (20) mensyaratkan bahwa jumlah unit persediaan produk akhir tidak melebihi jumlah unit persediaan maksimum pada bulan t .

$$R_t, O_t, SK_t, I_t, W_t, H_t, F_t, dT_t, OT_t \geq 0, \mathbb{Z} \quad (21)$$

Persamaan (21) menunjukkan bahwa variabel keputusan terdiri dari: jumlah unit produksi reguler, lembur, subkontrak, persediaan, jumlah tenaga kerja produksi produk, perekrutan tenaga kerja, pemecatan tenaga kerja, hari kerja lembur dan waktu lembur bernilai positif dan integer (bilangan bulat).

3.1.3. Evaluasi kapasitas berdasarkan *rough-cut capacity planning*

Evaluasi kapasitas produksi menggunakan pendekatan *rough-cut capacity planning*. Pada pendekatan ini, model diselesaikan secara heuristik dengan mengkalkulasi waktu produksi *batch* ke dalam ekspektasi waktu produksi per unit (Shi et al., 2015).

$$\sum_{m=1}^M X_t(c_m + b_m) \leq \sum_{s=1}^s (\delta d_t + OT dT_t) W_t \quad (22)$$

$$b_m = \frac{\text{run time (batch)}}{Q_m}, \forall m = 1, 2, \dots, M \quad (23)$$

$$c_m = \frac{\text{total waktu set up mesin (m)} \times d_t}{X_t}, \forall t = 1, 2, \dots, T; \forall m = 1, 2, \dots, M \quad (24)$$

Pembatas pada persamaan (22) mensyaratkan bahwa waktu proses produksi *batch* yang dikonversi menjadi waktu proses per unit dan waktu total *set up* mesin tidak melebihi kapasitas maksimum jam tenaga kerja pada setiap *shift*. Persamaan (23) merupakan perhitungan waktu produksi *batch* ke dalam waktu produksi per unit. Persamaan (24) merupakan perhitungan waktu *set up* mesin per unit.

3.2. Verifikasi model usulan

Verifikasi dilakukan untuk memeriksa bahwa model yang dikembangkan telah sesuai dengan logika konseptual dan benar secara matematis. Proses verifikasi dilakukan dengan memeriksa satuan pada parameter dan variabel keputusan model usulan. Jika satuan pada parameter dan variabel keputusan bernilai sama pada ruas kiri dan kanan, maka model usulan dapat dikatakan konsisten dan terverifikasi. **Tabel 4** adalah verifikasi model.

3.3. Validasi model

Pada tahapan ini dilakukan validasi model usulan untuk mengetahui apakah model usulan dapat merefleksikan kondisi nyata pada PT X. Validasi berdasarkan kondisi nyata perencanaan produksi dengan evaluasi kapasitas produksi (*internal validity*) dan berdasarkan penelitian (Yu et al., 2022) (*external validity*). Pencarian solusi menggunakan bantuan LINGO 18.0 untuk persamaan (3) - (15) dan (18) - (21) dan *solver excel* untuk kasus *non-linear programming* pada persamaan (16) - (17) sedangkan persamaan (22) - (24) diselesaikan secara heuristik.

3.4. Implementasi model perencanaan produksi agregat

Penelitian ini menggunakan data internal PT dan observasi lapangan yang ditunjukkan pada **Tabel 5**. Berdasarkan data yang diperoleh bahwa PT X menerapkan jam kerja lembur dan *shift* pada lantai produksi. Perusahaan dalam mengatasi permintaan yang berfluktuasi melakukan kerja sama subkontrak.

Tabel 4. Verifikasi Model Perencanaan Produksi

Komponen model	Satuan	
	Ruas kiri	Ruas kanan
Fungsi tujuan	Biaya	Biaya
Pembatas 4	Tenaga kerja	Tenaga kerja
Pembatas 5	Tenaga kerja	Tenaga kerja
Pembatas 6	Tenaga kerja	Tenaga kerja
Pembatas 7	Unit	Unit
Pembatas 8	Unit	Unit
Pembatas 9	Unit	Unit
Pembatas 10	Unit	Unit
Pembatas 11	Unit	Unit
Pembatas 12	Waktu	Waktu
Pembatas 13	Unit	Unit
Pembatas 14	Unit	Unit
Pembatas 15	Waktu	Waktu
Pembatas 16	Waktu	Waktu
Pembatas 17	Hari	Hari
Pembatas 18	Unit	Unit
Pembatas 19	Unit	Unit
Pembatas 20	Unit	Unit
Pembatas 22	Waktu	Waktu
Pembatas 23	Waktu	Waktu
Pembatas 24	Waktu	Waktu

Tabel 5. Data Perencanaan Agregat

Parameter	Data
δ	7 jam kerja reguler per hari
β	1 jam kerja lembur per hari
k	3 menit per unit
W_{t-1}	40 tenaga kerja
W_{tmax}	40 tenaga kerja
I_{max}	20000 unit
C_W	Rp 1.500.000 per bulan
C_{OT}	Rp 50.000 per jam/ hari lembur
C_I	1% harga jual = Rp145,00 per unit
C_{SK}	20% harga jual = Rp2.900 per unit
C_H	Rp50.000 per tenaga kerja
C_F	Rp750.000 masa kerja ≤ 1 tahun dan 1 bulan gaji ≥ 1 tahun per tenaga kerja
C_R	5% harga jual = Rp 725,00 per unit
C_O	5% harga jual = Rp 725,00 per unit

Perusahaan melakukan pemecatan dan perekrutan tenaga kerja berdasarkan sistem kontrak kerja. Selain itu, nilai persentase pada produksi internal diperoleh dengan pertimbangan biaya produksi per unit yang melibatkan peralatan pada *set up* mesin, perawatan pada setiap tangki, dan listrik. Hari kerja diperoleh berdasarkan hari normal kerja selama periode perencanaan. Lebih lanjut, hasil model usulan biaya perencanaan produksi ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Hasil *output master production schedule* usulan ditunjukkan pada **Tabel 7**. Selanjutnya, hasil usulan tersebut dievaluasi menggunakan pendekatan *rough-cut capacity planning* metode *capacity bills* atau *bill of labor approach* berdasarkan persamaan (22), (23) dan (24). Evaluasi ini dilakukan pada rantai produksi untuk memvalidasi bahwa jumlah produksi yang diusulkan dapat dipenuhi oleh kapasitas produksi tersedia

(Bhosale & Pawar, 2020). Data yang digunakan dalam mengevaluasi *master production schedule* ditunjukkan pada **Tabel 8**. Pada perencanaan biaya agregat, keputusan optimal ditentukan berdasarkan jumlah unit produksi yang melibatkan tenaga kerja. Oleh karena itu, perusahaan yang menggunakan produksi *continuous* atau *batch flow shop* secara paralel perlu dikalkulasi untuk memperoleh waktu proses per unit serta terhubung oleh waktu tenaga kerja (Elekidis et al., 2019). Estimasi perhitungan model dilakukan pada *work center* proses produksi menggunakan mesin otomatis dan *packing* yang dikonversi ke dalam produksi per unit tenaga kerja (k). Tujuan dalam konversi persamaan ini adalah untuk menyesuaikan waktu di antara proses produksi dengan waktu proses pada perencanaan biaya agregat bersifat taktis (Bhosale & Pawar, 2020).

Tabel 6. Hasil Model Perencanaan Produksi Agregat

Bulan	Periode awal	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
Hari Kerja		26	24	26	25	26	26
Permintaan		182802	168487	131130	152551	160759	129838
Produksi Reguler		145600	134400	131130	140000	145600	145600
Produksi Reguler (<i>max</i>)		145600	134400	145600	140000	145600	145600
Produksi Lembur		20800	19200	0	12551	15159	4238
Produksi Lembur (<i>max</i>)		20800	19200	20800	20000	20800	20800
Subkontrak		16402	14887	0	0	0	0
Persediaan	0	0	0	0	0	0	20000
Tenaga Kerja	40	40	40	40	40	40	40
Perekrutan		0	0	0	0	0	0
Pemecatan		0	0	0	0	0	0
Keputusan Lembur		1	1	0	1	1	1
Hari Kerja Lembur		26	24	0	16	19	6
Jam Lembur		1	1	0	1	1	1
Lembur <i>Shift</i> 1		1	1	0	1	1	1
Lembur <i>Shift</i> 2		1	1	0	1	1	1

Tabel 7. Master Production Schedule

Periode	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
Jumlah hari	26	24	26	25	26	26
Permintaan	182802	168487	131130	152551	160759	129838
Subkontrak	16402	14887	0	0	0	0
Persediaan (<i>on-hand persediaan</i>)	0	0	0	0	0	20000
Produksi Internal (<i>Master Production Schedule</i>)	166400	153600	131130	152551	160759	149838

Tabel 8. Data Parameter Evaluasi Kapasitas

Parameter Evaluasi Kapasitas	Data
Ukuran <i>batch</i> per tangki <i>Q</i>	4000 liter
Total waktu <i>set up</i> per hari (2 <i>shift</i>)	30 menit
Mesin <i>rinser</i> (<i>run time</i> 1) per <i>batch</i>	20 menit
Mesin <i>sand filter</i> (<i>run time</i> 2) per <i>batch</i>	15 menit
Mesin <i>carbon filter</i> 1 (<i>run time</i> 3) per <i>batch</i>	15 menit
Mesin <i>carbon filter</i> 2 (<i>run time</i> 4) per <i>batch</i>	15 menit
Mesin <i>cartridge filter</i> (<i>run time</i> 5) per <i>batch</i>	3 menit
Mesin <i>mixer</i> (<i>run time</i> 6) per <i>batch</i>	60 menit
Ultraviolet (<i>run time</i> 7) per <i>batch</i>	3 menit
Mesin APM (<i>run time</i> 10) per <i>batch</i>	2 menit
<i>Packing</i> (<i>run time</i> 9) per unit	1 menit
<i>Labeling</i> (<i>run time</i> 10) per unit	1,5 menit

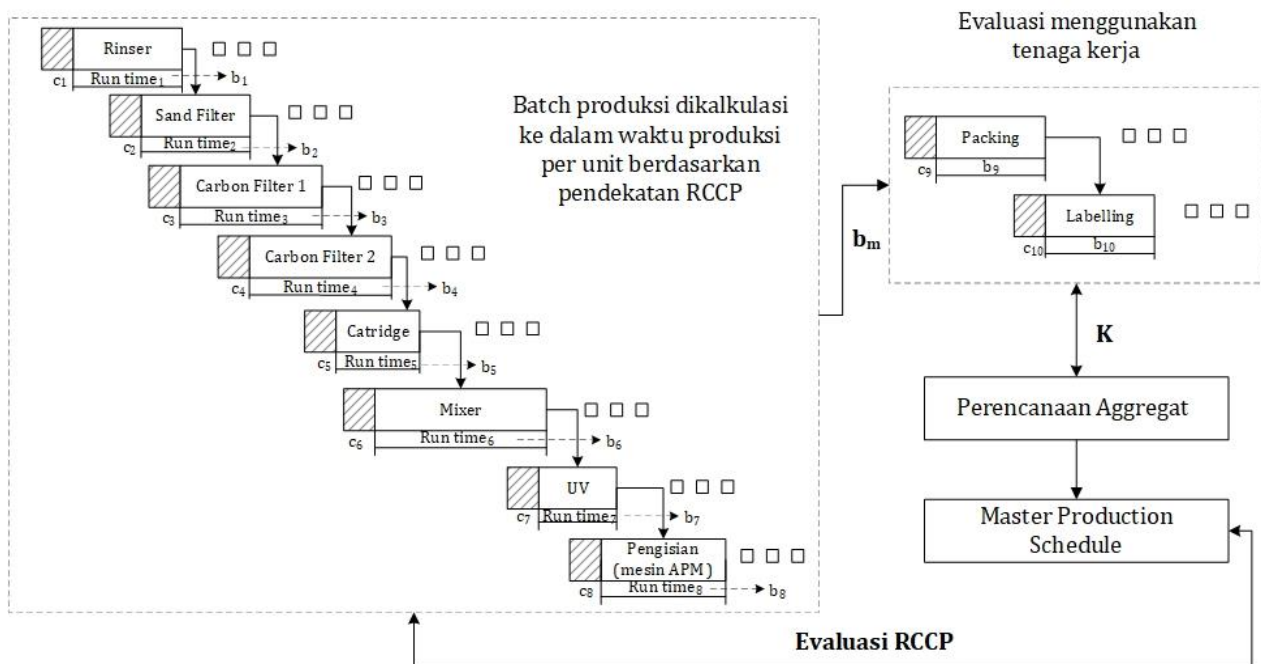
Berdasarkan **Tabel 9**. Waktu proses produksi air minum dalam kemasan terdapat beberapa mesin yang digunakan untuk masing-masing proses. Setiap tangki proses produksi memiliki ukuran *batch* kapasitas 4000 liter atau 379 unit/ *batch*. Proses produksi diawali pada mesin *rinser* untuk proses penyaringan air dengan menggunakan pasir silika dan karbon aktif. Penggunaan pasir silika dan karbon aktif berfungsi untuk menyaring kadar besi (*Fe*) atau mangan (*Mn*). Tahapan berikutnya pada mesin *carbon filter* adalah menyaring partikel-partikel sisa yang terlewat dari proses *rinser* dan kemudian diserap oleh karbon aktif secara 3 tahap. Selanjutnya terdapat proses penyaringan air menggunakan 4 filter *cartridge* secara 4 tahap dengan skala 5 μ sampai 1 μ (*mikron*). Proses produksi selanjutnya adalah desinfeksi yang terbagi menjadi 2 tahapan ozonisasi dan ultraviolet. Proses ozonisasi dilakukan pada tangki *mixing* dengan pemberian ozon (*O₃*) hingga kualitas air mencapai nilai pH 7-8 (García-Cáceres et al., 2019). Air yang telah

dilakukan proses ozonisasi kemudian dialirkan melalui tabung ultraviolet dengan tekanan air 2–4 bar. Tahapan proses otomatisasi akhir adalah proses pengisian dan *labeling* kemasan pada mesin APM. Pada proses pengemasan dilakukan menggunakan tenaga kerja terdiri dari pengemasan secara manual dan proses isolasi. *Shift* kerja pada kondisi eksisting terbagi menjadi 2 *shift* dengan batasan maksimum lembur pada setiap *shift*. *Shift* kerja 1 dimulai 08.00-16.00 WIB dan *shift* kerja 2 dimulai 16.00-24.00 WIB. Waktu proses produksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah waktu yang terhubung langsung dengan jumlah unit produksi.

Implementasi waktu lembur tenaga kerja pada perencanaan produksi agregat berdampak pada mundurnya waktu produksi pada *shift* 1 dan 2 di bulan tertentu. Hal ini sesuai dengan penelitian (Attia et al., 2022) yang mana pada kondisi lembur tenaga kerja dapat berdampak langsung pada waktu proses produksi internal dalam memenuhi target produksi.

Tabel 9. Waktu Kapasitas Produksi

Mesin	Waktu Proses	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
Mesin Rinser	0,00088	159	147	128	147	154	145
Mesin Sand Filter	0,00066	123	113	100	113	119	112
Mesin Carbon Filter 1	0,00066	123	123	126	123	123	124
Mesin Carbon Filter 2	0,00066	123	113	100	113	119	112
Mesin Cartridge Filter	0,000132	35	32	30	33	34	33
Mesin Mixer	0,00264	452	418	359	415	437	409
Mesin Ultraviolet	0,000132	35	32	30	33	34	33
Mesin APM	0,000088	41	38	38	38	40	39
Packing	0,0167	2786	2572	2199	2555	2692	2510
Labeling	0,0250	4173	3852	3291	3826	4032	3759
Total waktu produksi	0,05	8050	7440	6401	7397	7786	7275
Set up machine	0,5	0,0000781	0,0000781	0,0000991	0,0000819	0,0000809	0,0000868



Gambar 2. Gantt Chart Alur Proses Produksi

Selain itu, di bulan Juli jumlah hari lembur adalah 26 hari (1 bulan), namun pada bulan Oktober jumlah hari lembur adalah 16 hari, sehingga pihak perencanaan produksi perlu melakukan penyesuaian jadwal produksi di bulan tertentu. Berdasarkan hasil yang diperoleh bahwa penyesuaian jadwal produksi dipengaruhi oleh jumlah hari lembur berdasarkan model usulan. Selain itu, evaluasi waktu produksi pada model usulan selaras dengan penelitian (Dal Borgo & Meneghetti, 2019) yang melibatkan waktu proses operasi sebagai konfigurasi dengan faktor perencanaan. **Gambar 2** menunjukkan alur produksi pada Perusahaan air minum dalam kemasan dan hasil evaluasi perencanaan produksi pada **Tabel 10** Menunjukkan waktu kapasitas tenaga kerja.

Berdasarkan **Gambar 3** dapat diketahui bahwa *output* keputusan produksi internal (X_t) pada usulan model optimasi perencanaan produksi agregat dapat dipenuhi oleh waktu proses mesin (b_m) per unit (konversi). Hasil evaluasi tersebut ditunjukkan pada

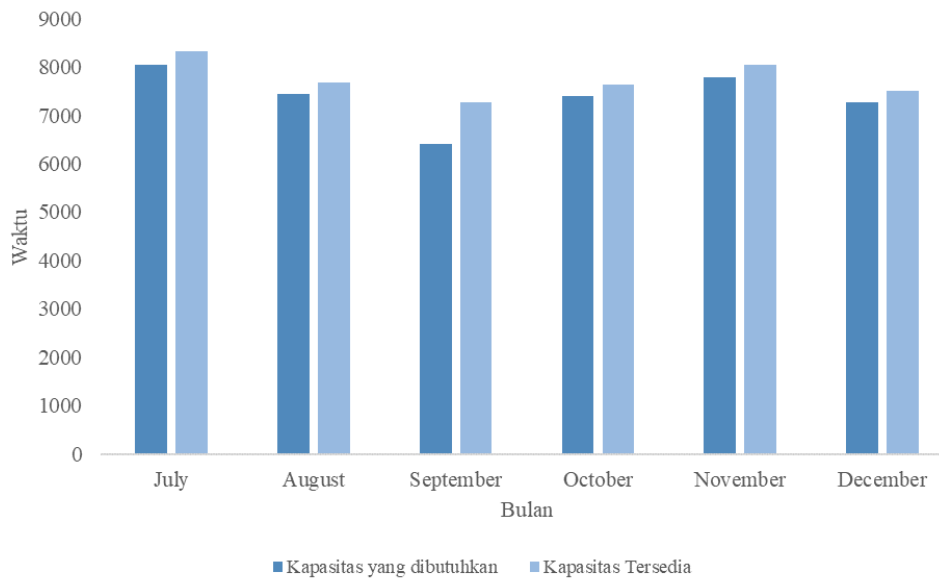
Tabel 11. perbandingan waktu tersedia tenaga kerja dan waktu dibutuhkan pada target produksi (*master production schedule*). Berdasarkan hasil evaluasi waktu proses produksi, dapat diketahui bahwa target produksi usulan dapat divalidasi sehingga usulan perbandingan biaya perencanaan dapat dilakukan. Hasil perbandingan biaya dapat dilihat pada **Tabel 12**.

Pada model usulan terjadi peningkatan biaya perencanaan produksi internal 34% untuk menurunkan beban biaya unit subkontrak. Di samping itu jumlah jam lembur meningkat 28% berdasarkan hari kerja lembur. Namun, beban biaya subkontrak dan biaya simpan menurun, hal ini disebabkan oleh faktor koordinasi antara jumlah unit subkontrak yang dipesan dengan jumlah unit simpan. Produktivitas rata-rata pada kondisi eksisting adalah 6,5 jam, sedangkan pada usulan model ditingkatkan menjadi 100% atau 7 jam.

Implikasi praktis pada model usulan mendorong pengoptimalan produksi terhadap internal faktor. Hal ini didukung berdasarkan penelitian (Haoues et al.,

Tabel 10. Waktu Kapasitas Tenaga Kerja

Periode	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
Jumlah hari reguler	26	24	26	25	26	26
Jumlah hari lembur	26	24	0	16	19	6
Jam kerja lembur <i>shift</i> 1	1	1	0	1	1	1
Jam kerja lembur <i>shift</i> 2	1	1	0	1	1	1
Jumlah kapasitas tenaga kerja <i>shift</i> 1	20	20	20	20	20	20
Jumlah kapasitas tenaga kerja <i>shift</i> 2	20	20	20	20	20	20
Jam kerja reguler <i>shift</i> 1	3640	3360	3640	3500	3640	3640
Jam kerja reguler <i>shift</i> 2	3640	3360	3640	3500	3640	3640
Jam kerja lembur <i>shift</i> 1	520	480	0	320	380	120
Jam kerja lembur <i>shift</i> 2	520	480	0	320	380	120
Total jam kerja reguler <i>shift</i> 1 dan <i>shift</i> 2	7280	6720	7280	7000	7280	7280
Total jam kerja reguler dan lembur	8320	7680	7280	7640	8040	7520



Gambar 3. Perbandingan Kapasitas Dibutuhkan dan Tersedia

Tabel 11. Perbandingan Kapasitas Dibutuhkan dengan Kapasitas Tersedia

Periode	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
Kapasitas yang dibutuhkan	8050	7440	6401	7397	7786	7275
Kapasitas tersedia	8320	7680	7280	7640	8040	7520

Tabel 12. Perbandingan Model Usulan dan Aktual

Komponen Biaya	Model Usulan (Rp)	Model Aktual (Rp)	Penghematan (%)
Biaya tenaga kerja	360.000.000,00	360.000.000,00	0
Biaya perekrutan	-	-	0
Biaya pemecatan	-	-	0
Biaya produksi reguler	610.689.250,00	588.619.525,00	-4
Biaya produksi lembur	52.162.300,00	39.990.275,00	-30
Biaya subkontrak	90.738.100,00	221.238.100,00	59
Biaya simpan produk akhir	2.900.000,00	9.086.860,00	68
Biaya lembur/ jam	182.000.000,00	142.000.000,00	-28
TC* perencanaan produksi agregat	1.298.489.650,00	1.360.934.760,00	5

2019) terhadap dampak pada ketergantungan oleh pihak subkontrak. Dampak tersebut antara lain kemungkinan mundurnya jadwal pengiriman produk akhir apabila pihak subkontrak mengalami kendala produksi, biaya simpan pada pihak subkontrak, pengawasan terhadap kualitas produk dan menurunnya produktivitas mesin dan tenaga kerja. Penelitian lainnya terkait pengurangan beban subkontrak

dilakukan oleh (Sinha et al., 2016) dengan strategi investasi pada plant produksi internal perusahaan dalam upaya menjaga produktivitas.

3.5. Pengujian Model

Pengujian model pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui konsistensi dan pengaruh perubahan parameter terhadap variabel keputusan. Perubahan



Gambar 4. Skenario Perubahan Parameter Biaya Produksi Internal



Gambar 5. Skenario Perubahan Parameter Biaya Subkontrak

parameter dilakukan pada biaya subkontrak dan produksi internal per unit. Berdasarkan **Gambar 4** hasil pengujian sensitivitas dengan meningkatkan nilai fraksi biaya produksi internal dan biaya subkontrak berpengaruh terhadap total biaya produksi internal. Biaya produksi internal mengalami kenaikan secara perlahan dan terjadi penurunan secara signifikan. Perubahan total biaya produksi internal dipengaruhi oleh keputusan model untuk melakukan subkontrak (eksternal) apabila biaya subkontrak lebih rendah dibandingkan dengan biaya produksi internal (terjadinya alokasi produksi kepada pihak subkontrak).

Berdasarkan **Gambar 5** hasil pengujian sensitivitas dengan meningkatkan nilai fraksi biaya produksi internal dan subkontrak berpengaruh terhadap total biaya subkontrak. Biaya subkontrak mengalami kenaikan secara perlahan disebabkan peningkatan nilai fraksi yang rendah. Kenaikan total biaya subkontrak signifikan terjadi jika biaya produksi internal melebihi biaya subkontrak, sehingga model keputusan adalah meningkatkan jumlah kuantitas subkontrak (meningkatkan beban unit subkontrak).

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengkaji variabel subkontrak, waktu tenaga kerja dan evaluasi kapasitas produksi terhadap keputusan optimal perencanaan biaya agregat. Hasil model usulan yang dikembangkan menggunakan optimasi *non-linear programming* dan heuristik yang dapat menghemat biaya perencanaan sebesar 5% dibandingkan dengan model aktual.

Hasil penelitian ini memberikan rekomendasi kepada perusahaan dalam menghadapi tantangan meningkatnya biaya produk per unit pada saat menjalin kerja sama subkontrak. Dengan meningkatnya biaya subkontrak, tentunya perusahaan perlu melakukan evaluasi ulang kapasitas produksi sebagai upaya dalam mengurangi beban eksternal. Selain itu, penelitian ini memberikan kontribusi teoretis terhadap optimasi model matematis perencanaan produksi dengan faktor internal dan eksternal pada ruang lingkup perencanaan. Sedangkan pada kontribusi praktis, hasil model yang diusulkan dapat menjadi pertimbangan kepada pihak manajer PPIC (*production planning and inventory control*) dalam melakukan perencanaan taktis.

Selanjutnya, saran pada penelitian berikutnya adalah mengembangkan variabel tambahan seperti investasi modal produksi internal dan pengoptimalan pemilihan kerja sama subkontrak apabila target produksi tidak dapat dipenuhi oleh produksi internal.

5. Daftar Pustaka

- Attia, E. A., Megahed, A., AlArjani, A., Elbetar, A., & Duquenne, P. (2022). Agregate production planning considering organizational learning with case based analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(2), 101575. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.09.002>
- Baydoun, G., Haït, A., Pellerin, R., Clément, B., & Bouvignies, G. (2016). A rough-cut capacity planning model with overlapping. *OR Spectrum*, 38(2), 335–364. <https://doi.org/10.1007/s00291-016-0436-0>

- Bhosale, K. C., & Pawar, P. J. (2020). Production planning and scheduling problem of continuous parallel lines with demand uncertainty and different production capacities. *Journal of Computational Design and Engineering*, 7(6), 761–774. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwaa055>
- Chopra, Sunil & Peter Meindl. (2019). Supply Chain Management Strategy, Planning and Operation. (pp 238-244) 7th Edition. New Jersey: Prentice Hall. Inc
- Dal Borgo, E., & Meneghetti, A. (2019). Production and shipment planning for Project Based Enterprises: Exploiting learning-forgetting phenomena for sustainable assembly of Curtain Walls. *Computers and Industrial Engineering*, 131(January), 488–501. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.058>
- Elekidis, A. P., Corominas, F., & Georgiadis, M. C. (2019). Production Scheduling of Consumer Goods Industries. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 58(51), 23261–23275. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b04907>
- Firmansyah, F., Mawengkang, H., Mujib, A., & Mathelinea, D. (2022). A Decision Model to Plan Optimally Production-Distribution of Seafood Product with Multiple Locations. *Mathematics*, 10(18), 1–13. <https://doi.org/10.3390/math10183240>
- García-Cáceres, R. G., Castañeda-Galvis, M. T., & Suárez-Fajardo, J. F. (2019). Towards an efficient and sustainable planning of the drinking water supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 230, 394–401. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.062>
- Gómez-Rocha, J. E., & Hernández-Gress, E. S. (2022). A Stochastic Programming Model for Multi-Product Aggregate Production Planning Using Valid Inequalities. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/app12199903>
- Jacobs, F. R., W. L. Berry, D. C. Whybark, & T. E. Vollmann. (2018). Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management. (pp 242-265) 2nd. New York: Mc. GrawHill.
- J.K. Sharma. (2016). Operations Research Theory and Applications (pp 806-847). Sixth Edition. New Delhi: Trinity Press.
- Hahn, G. J., & Brandenburg, M. (2018). A sustainable aggregate production planning model for the chemical process industry. *Computers and Operations Research*, 94, 154–168. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.12.011>
- Haoues, M., Dahane, M., & Mouss, N. K. (2019). Optimization of single outsourcer–single subcontractor outsourcing relationship under reliability and maintenance constraints. *Journal of Industrial Engineering International*, 15(3), 395–409. <https://doi.org/10.1007/s40092-019-0307-9>
- Krajčovič, M., Furmannová, B., Grznár, P., Furmann, R., Plinta, D., Svitek, R., & Antoniuk, I. (2021). System of parametric modeling and assessing the production staff utilisation as a basis for aggregate production planning. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(19). <https://doi.org/10.3390/app11199347>
- Oluyisola, O. E., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2020). Smart production planning and control: Concept, use-cases and sustainability implications. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093791>
- Omatseye, O., & Urbanic, R. J. (2022). System reconfiguration for reverse logistics: A case study. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.377>
- Rivera-Gómez, H., Medina-Marin, J., Santana-Robles, F., Montaña-Arango, O., Barragán-Vite, I., & Cisneros-Flores, G. (2022). Impact of Unreliable Subcontracting on Production and Maintenance Planning Considering Quality Decline. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/app12073379>
- Sabah, B., Nikolay, T., Sylverin, K. T., & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2019). IESM 2019: proceedings of the 2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management: 25-27 September 2019, Shanghai, China. *Production Planning under Demand Uncertainty Using Monte Carlo Simulation Approach: A Case Study in Fertilizer Industry*, 1–6.
- Shi, Z., Liu, P., Gao, H., & Shi, L. (2015). Production planning for a class of batch processing problem. *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 2015-October*, 1188–1193. <https://doi.org/10.1109/CoASE.2015.7294259>
- Sinha, A. K., Davich, T., & Krishnamurthy, A. (2016). Optimisation of production and subcontracting strategies. *International Journal of Production Research*, 54(8), 2377–2393. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1077285>
- Xu, W., & Song, D. P. (2022). Integrated optimisation for production capacity, raw material ordering and production planning under time and quantity uncertainties based on two case studies. *Operational Research*, 22(3), 2343–2371. <https://doi.org/10.1007/s12351-020-00609-y>
- Yu, V. F., Kao, H. C., Chiang, F. Y., & Lin, S. W. (2022). Solving Aggregate Production Planning Problems: An Extended TOPSIS Approach. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/app12146945>