

MODEL PERENCANAAN AGREGAT UNTUK SISTEM PRODUKSI DUA TAHAP PADA INDUSTRI PANGAN DENGAN BAHAN *PERISHABLE*

AN AGGREGATE PLANNING MODEL FOR TWO-STAGE PRODUCTION SYSTEMS IN THE FOOD INDUSTRY WITH PERISHABLE GOODS

Afifah Nur Arfiana¹⁾, Taufik Djatna²⁾, Machfud²⁾, Indah Yuliasih²⁾

¹⁾Program Studi Pascasarjana Teknik Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor

²⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor,
Jl. Raya Dramaga, Babakan, Dramaga, Bogor 16680, Indonesia
E-mail: arfianaafifah@apps.ipb.ac.id

Makalah: Diterima 26 November 2020; Diperbaiki 26 Maret 2021; Disetujui 15 April 2021

ABSTRACT

Aggregate planning is one of the most important activities of operation management for a competitive supply chain. Aggregate planning balances supply and demand during the planning time horizon. Aggregate planning in a food industry with perishable goods characteristics is a common problem. Mostly, studies on aggregate planning were only concerned with single product and single-phase production process. This paper proposed a two-stage aggregate planning model that can be applied in the food industry with perishable goods characteristics, multi-products, and multi-periods. The two stages of the production process consisted of processing raw materials into intermediate products and processing intermediate products into final products by implementing postponement or intermediate product storage. Processing of raw materials into intermediate products was expected to solve the problem of material deterioration rate, because storing intermediate products was more durable than storing raw materials. The proposed aggregate planning model used a mathematical model approach and was solved by using goal programming. Based on the results of model verification using hypothetical data and sensitivity analysis, the aggregate planning model obtained the feasible decision variable value and could be applied to the food industry which implements a two-stage production system.

Keywords: aggregate planning, two-stage production system, perishable goods, modelling

ABSTRAK

Perencanaan agregat adalah salah satu bagian terpenting dari manajemen operasi dalam rantai pasok yang kompetitif. Perencanaan agregat berkaitan dengan kesesuaian jumlah pasokan (*supply*) dengan permintaan (*demand*) selama periode perencanaan. Perencanaan agregat pada suatu industri pangan dengan karakteristik bahan *perishable* menjadi suatu permasalahan yang biasa terjadi. Umumnya, kajian mengenai perencanaan agregat yang diusulkan hanya berkaitan dengan *single product* dan *single-phase production process*. Paper ini mengusulkan suatu model perencanaan agregat dua tahap yang dapat diterapkan pada industri pangan dengan karakteristik bahan *perishable*, *multi-products*, dan *multi-periods*. Dua tahap proses produksi terdiri atas pengolahan bahan baku menjadi produk antara dan pengolahan produk antara menjadi produk akhir dengan menerapkan penundaan atau penyimpanan produk antara. Pengolahan bahan baku menjadi bahan antara diharapkan dapat mengatasi permasalahan laju deteriorasi bahan karena menyimpan produk antara dapat dilakukan lebih lama atau lebih awet dibandingkan menyimpan bahan mentah. Model perencanaan agregat tersebut menggunakan pendekatan model matematika dan diselesaikan dengan teknik *goal programming*. Berdasarkan hasil verifikasi model menggunakan data hipotetik dan analisis sensitivitas, model perencanaan agregat dapat menghasilkan nilai variabel keputusan yang layak dan dapat diterapkan pada industri pangan yang menerapkan sistem produksi dua tahap.

Kata kunci: perencanaan agregat, sistem produksi dua tahap, bahan *perishable*, pemodelan

PENDAHULUAN

Perencanaan agregat merupakan salah satu bagian terpenting dari manajemen operasi (Djordjevic *et al.*, 2019), dan memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja rantai pasokan yang kompetitif (Chopra dan Meindl, 2016). Perencanaan agregat menyeimbangkan jumlah pasokan (*supply*) dengan permintaan (*demand*). Menurut Mehdizadeh *et al.* (2018), tujuan perencanaan agregat adalah untuk menetapkan tingkat output secara keseluruhan untuk menghadapi permintaan yang berfluktuasi atau tidak menentu serta untuk menyediakan pasokan.

Perencanaan agregat menghasilkan kuantitas produksi dan waktu produksi barang yang optimal serta bahan baku dan sumber daya yang ada, untuk meminimalkan total biaya operasional organisasi. Merujuk pada Heizer dan Render (2004), perencanaan agregat umumnya merupakan perencanaan kapasitas jangka menengah selama jangka waktu 3-18 bulan.

Cabang riset operasi yang umum digunakan dalam pendekatan model matematika untuk perencanaan agregat antara lain: *linear programming*, *goal programming*, *integer programming*, dan *dynamic programming* (Al-E-Hashem *et al.*, 2011).

Dalam prakteknya, perencanaan agregat umumnya memiliki tujuan saling bertentangan dengan penggunaan sumber daya yang dipertimbangkan (Baykasoglu dan Gocken, 2010) dan dinilai dari berbagai perspektif dan ukuran kinerja (Broz *et al.*, 2019). Dengan demikian, pendekatan multi-tujuan lebih tepat daripada tujuan tunggal, sehingga metode *goal programming* (GP) memadai untuk menyelesaikan berbagai tujuan berbeda dan sering berlawanan dipecahkan dan dicapai secara bersamaan. Selain itu, GP dapat menangani lingkungan yang imprecise dalam perencanaan agregat (Mezghani *et al.*, 2012), dan mampu mengatasi variasi yang dinamis (Huang *et al.*, 2017).

Beberapa penelitian mengenai *agregat planning* dengan pendekatan GP diuraikan di bawah ini. Rad dan Shirouyehzad (2014) mengusulkan model perencanaan agregat pada suatu industri ubin dengan mempertimbangkan tiga tujuan perusahaan yang harus dipenuhi dan diselesaikan menggunakan *goal programming*. Da Silva dan Marins (2014), mengusulkan model *agregat planning* untuk mengatasi permasalahan yang sangat kompleks dan ketidakpastian pada suatu pabrik gula dengan produk berupa gula, etanol, dan molasses menggunakan *fuzzy goal programming*.

Masalah umum industri pangan adalah sifat *perishable* bahan, sehingga waktu penyimpanan bahan mentah menjadi terbatas dan berisiko terhadap kekurangan pasokan bahan baku (Shin *et al.*, 2019). Namun, dalam kasus sifat bahan yang *perishable*, produksi berlebih juga tidak diperkenankan. Selain itu, umumnya model perencanaan agregat berkaitan dengan *single product* dan *single phase production system* yang hal tersebut tidak selalu relevan dengan sistem produksi di dunia nyata (Ramezani *et al.*, 2012). Leung dan Ng (2007) mengusulkan model perencanaan agregat dengan penundaan produksi menjadi dua tahap untuk menangani sifat *perishable* bahan dalam kondisi sumber daya yang terbatas dan fluktuasi permintaan produk. Menurut Akkerman dan Van Donk (2008), proses produksi dapat dibagi menjadi dua tahap, yaitu pengolahan bahan baku menjadi produk antara dan pemrosesan produk jadi. Menurut Pearn *et al.* (2011), produksi melalui *multi-stage* menjadi tantangan dalam kasus nyata industri saat ini, sehingga diusulkan suatu model perencanaan produksi yang mempertimbangkan pemisahan proses menjadi dua tahap, yaitu tahap 1, bahan baku menjadi produk antara; dan tahap 2, produk antara menjadi produk final. Shin *et al.* (2019) juga mengusulkan model perencanaan produksi untuk produk *perishable*, yaitu kimchi, dengan pendekatan *two-phased inventory*.

Selain tantangan *multi-stage* dalam sistem produksi, perencanaan agregat menjadi lebih kompleks pada kasus *multi-product* dan *multi-periode* karena umumnya industri pangan tidak jarang memproduksi beberapa jenis produk. Jey *et al.* (2017) mengembangkan model perencanaan produksi untuk

sistem produksi *multi-stage* yang dibedakan berdasarkan produksi secara manual dan produksi secara otomatis untuk berbagai macam (*multi-product*) produk kimia yang bersifat *perishable* untuk beberapa periode perencanaan (*multi-periode*).

Tujuan penelitian ini adalah merancang suatu model perencanaan agregat dengan kasus *multi-stage*, *multi-product*, dan *multi-periode* untuk industri pangan dengan sifat bahan *perishable*. Luaran dari model adalah tingkat produksi dan tingkat *inventory* pada masing-masing tahap. Dalam model perencanaan agregat yang diusulkan, tujuan yang ingin dicapai di antaranya dapat memenuhi permintaan, menghasilkan biaya produksi minimal, dan tidak melebihi kapasitas waktu kerja yang ditetapkan. Studi ini didasari oleh kasus sistem produksi dua tahap pada industri pengolahan daging yang memiliki permasalahan kapasitas waktu produksi, fluktuasi permintaan, biaya produksi tinggi, dan sifat bahan *perishable*. Sebelum data pada studi ini diverifikasi ke model yang diusulkan, perlu dilakukan peramalan permintaan sebagai input dasar untuk perencanaan agregat (Gansterer, 2015).

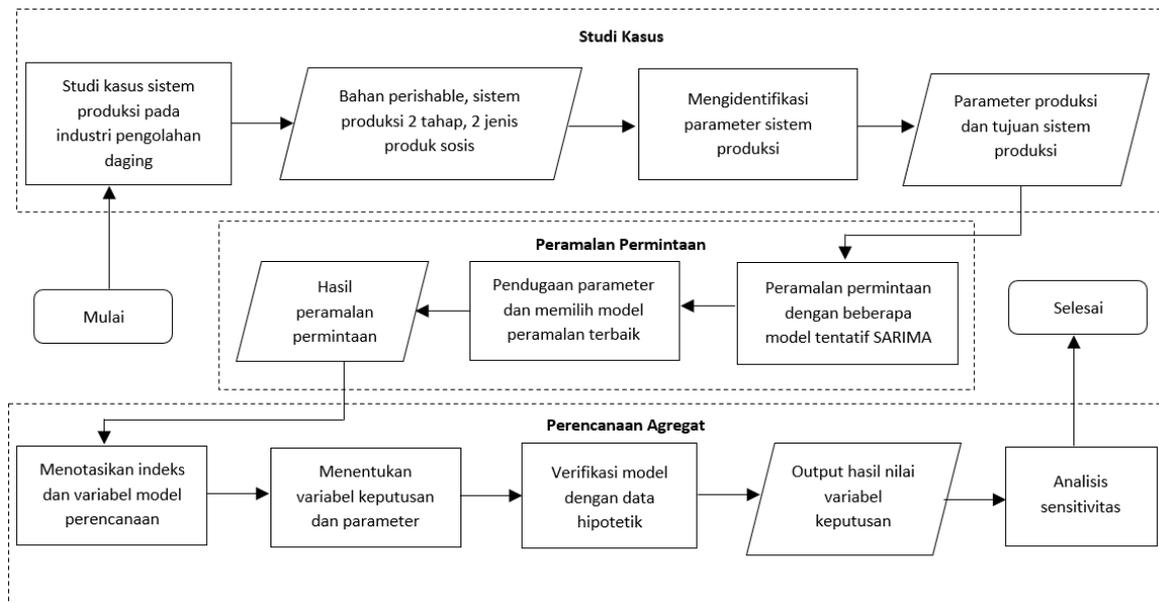
METODE PENELITIAN

Kerangka Penelitian

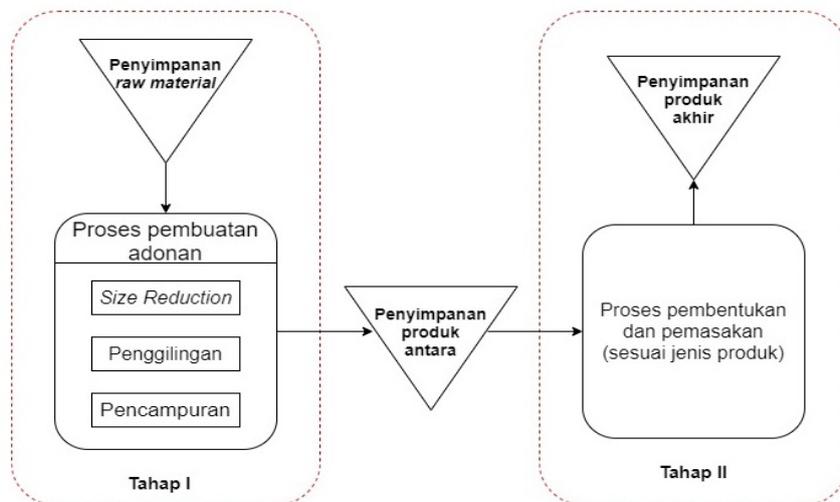
Langkah-langkah dan kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Studi ini didasari oleh sistem produksi dua tahap untuk produk pengolahan daging yang terbagi menjadi dua jenis produk sosis: produk 1, berupa sosis ayam; dan produk 2, berupa sosis sapi. Industri pengolahan daging menerapkan sistem produksi 2 tahap yang tidak semua bahan baku daging langsung diproses menjadi produk akhir sosis namun beberapa disimpan dalam bentuk produk antara berupa adonan sosis. Penerapan sistem produksi dua tahap umumnya berkaitan dengan kendala umur simpan bahan dan produk, serta waktu tunggu saat proses produksi. Penerapan sistem produksi 2 tahap dikarenakan penyimpanan produk antara (adonan sosis) memberikan umur simpan yang lebih panjang dibandingkan dengan penyimpanan bahan baku daging dikarenakan sudah bercampur dengan bahan tambahan pangan lainnya, walaupun belum mengalami proses pemasakan. Dalam sistem produksi dua tahap ini, proses produksi terbagi menjadi tiga, yaitu:

- Pengolahan bahan baku menjadi produk akhir secara langsung
- Pengolahan bahan baku menjadi produk antara
- Pengolahan produk antara menjadi produk akhir.

Gudang yang digunakan untuk penyimpanan produk antara (*semi-product*) jenis produk 1 dan jenis produk 2 sama, begitu juga dengan gudang penyimpanan produk akhir untuk produk 1 dan 2. Sistem produksi dua tahap yang diterapkan dalam studi kasus industri pengolahan daging digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Kerangka penelitian



Gambar 2. Sistem produksi dua tahap industri pengolahan daging

Dalam studi ini, model perencanaan agregat untuk sistem produksi dua tahap diharapkan dapat mencapai beberapa tujuan, yaitu:

- Memenuhi permintaan,
- *Production cost* tidak melebihi anggaran yang ditetapkan,
- Waktu produksi regular tidak melebihi waktu kerja regular yang ditetapkan, dan
- Waktu produksi lembur tidak melebihi waktu kerja lembur yang ditetapkan.

Untuk mencapai beberapa tujuan tersebut, model perencanaan agregat yang diusulkan diselesaikan dengan teknik GP.

Data

Data yang digunakan pada studi ini merupakan data hipotetik. Data berupa data penjualan masing-masing produk dan data-data parameter model perencanaan agregat. Data yang menjadi parameter

model perencanaan agregat merupakan parameter yang terdapat dalam sistem produksi seperti jumlah permintaan, biaya produksi, waktu proses produksi, waktu yang tersedia untuk produksi, kebutuhan ruang penyimpanan, kapasitas ruang penyimpanan, serta *yield* pada setiap tahap proses produksi, sehingga dapat digunakan untuk melakukan verifikasi pada model.

Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) Model

Autoregressive Moving Average (ARMA) merupakan model yang umum digunakan dalam peramalan yang melibatkan elemen proses *autoregressive (AR)* dan *moving average (MA)* (Forte, 2015). Pada model AR, nilai pada periode t didefinisikan sebagai fungsi dari nilai pada periode $t-1$ ditambah dengan *error*-nya, sedangkan model MA menghubungkan nilai t yaitu pada periode saat ini

dengan kesalahan acak yang terjadi (Ahmad *et al.*, 2013). Model AR dan MA dapat diformulasikan pada persamaan 1 dan persamaan 2:

$$\text{AR (p): } Y_t = \mu + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + \dots + \beta_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$\text{MA (q): } Y_t = \mu - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Dengan Y_t merupakan nilai pada series, β dan θ merupakan bobot, μ merupakan rata-rata series, dan ε adalah kesalahan. Dengan mengintegrasikan model AR dan MA, akan menghasilkan model ARIMA (p,q):

$$Y_t = \mu + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + \dots + \beta_p Y_{t-p} - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Pada kenyataannya, terdapat banyak deret waktu yang memiliki beberapa bentuk pola tren siklus atau musiman, sehingga model SARIMA digunakan untuk menganalisis pola data tersebut dengan periodisitas. Model SARIMA (p,d,q) (P,D,Q)^S merupakan pengembangan dari ARIMA. d menunjukkan berapa kali diferensiasi dilakukan, p menunjukkan komponen AR, dan q menunjukkan komponen MA. Sedangkan D menunjukkan orde diferensiasi musiman dilakukan, P mengindikasikan lag dari *autoregression* musiman, Q mengindikasikan MA musiman, dan S menunjukkan panjangnya pola siklus (Liu *et al.*, 2020). Model umum SARIMA sebagai berikut:

$$\Phi_p(B) \Phi_p(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \theta_q(B)\theta_q(B^s)\varepsilon_t \quad (4)$$

Menurut Bas *et al.* (2017), langkah dalam melakukan peramalan menggunakan SARIMA dimulai dari memplotkan data pada grafik periodogram untuk mengidentifikasi pola data. Selanjutnya, data deret waktu didiferensiasi agar menjadi stasioner terhadap varian dimana rataannya dan parameter d dan D dapat diidentifikasi. Diferensiasi tersebut juga dapat mengeliminasi pola tren yang terdeteksi pada plot data. Pola tren tersebut mencirikan fungsi autokorelasi. Selanjutnya, proses tentative ARMA dilakukan berdasarkan estimasi *autocorrelation function* (ACF) dan estimasi *partial autocorrelation function* (PACF). Bentuk ACF dan PACF dari deret waktu dibandingkan dengan bentuk model teoritis untuk mengidentifikasi kemungkinan parameter p , q , P , dan Q . Setelah menentukan model tentatif, parameter model kandidat diestimasi dengan fungsi kemungkinan maksimum. Setelah mencoba beberapa kombinasi parameter, model terbaik dipilih dengan mempertimbangkan *error* yang dihasilkan. Dalam studi ini, penyelesaian peramalan permintaan dengan model SARIMA akan dibantu menggunakan *software* Minitab 19.

Model Perencanaan Agregat

Model perencanaan agregat dibuat dalam model matematika yang akan diselesaikan menggunakan

teknik optimasi GP untuk memenuhi keempat tujuan dalam sistem produksi yang telah disebutkan sebelumnya.

1) Notasi

Indeks:

i = produk, $i = 1, 2, \dots, n$

t = periode perencanaan, $t = 1, 2, \dots, T$

Parameter:

D_{it} = permintaan produk i pada periode t (aspirasi level tujuan 1)

CP_i^d = biaya produksi untuk memproduksi bahan baku i menjadi produk akhir i secara langsung

CP_i^s = biaya produksi untuk memproduksi bahan baku i menjadi produk antara i

CP_i^f = biaya produksi untuk memproduksi produk antara i menjadi produk akhir i

C_o = biaya produksi yang dianggarkan (aspirasi level tujuan 2)

t_i^d = waktu proses yang dibutuhkan untuk memproduksi langsung 1 unit (kg) produk akhir i dari bahan baku i

t_i^s = waktu proses yang dibutuhkan untuk produksi 1 unit (kg) produk i antara dari bahan baku i

t_i^f = waktu proses yang dibutuhkan untuk produksi 1 unit (kg) produk akhir i dari produk antara i

M_t = waktu produksi reguler yang tersedia pada periode t (aspirasi level tujuan 3)

δ = fraksi waktu produksi reguler yang tersedia untuk waktu produksi lembur pada periode t

v_i^s = ruang yang dibutuhkan untuk menyimpan 1 unit (kg) produk antara dari bahan baku

v_i^f = ruang yang dibutuhkan untuk menyimpan 1 unit (kg) produk akhir dari produk antara

\bar{I}_t^s = ruang penyimpanan yang tersedia untuk produk antara dari bahan baku pada periode t

\bar{I}_t^f = ruang penyimpanan yang tersedia untuk produk akhir dari produk antara pada periode t

Y_i = *yield* konversi dari produk antara i menjadi produk akhir

Variabel Keputusan:

P_{it}^d = tingkat produksi produk akhir i dari bahan baku i secara langsung pada periode t

P_{it}^s = tingkat produksi produk antara i dari bahan baku i pada periode t

- P_{it}^f = tingkat produksi produk akhir i dari produk antara i pada periode t
- I_{it}^S = tingkat *inventory* produk antara i dari bahan baku i pada periode t
- I_{it}^F = tingkat *inventory* produk akhir i dari produk antara i pada periode t
- PO_{it}^d = tingkat produksi lembur produk akhir i dari bahan baku i secara langsung pada periode t
- PO_{it}^s = tingkat produksi lembur produk antara i dari bahan baku i pada periode t
- PO_{it}^f = tingkat produksi lembur produk akhir i dari produk antara i pada periode t

Variabel Deviasi

- d_{1it}^- = variabel deviasi bawah D_{it}
- d_{1it}^+ = variabel deviasi atas D_{it}
- d_2^- = variabel deviasi bawah C_0
- d_{3t}^- = variabel deviasi bawah M_t
- d_{3t}^+ = variabel deviasi atas M_t
- d_{4t}^- = variabel deviasi bawah $\delta \cdot M_t$
- d_{4t}^+ = variabel deviasi atas $\delta \cdot M_t$

Model Matematika

Kendala tujuan:

- Memenuhi permintaan

$$P_{it}^d + P_{it}^f + I_{it-1}^F - I_{it}^F + d_{1it}^- - d_{1it}^+ = D_{it} \quad (5)$$
- Production *cost* tidak melebihi anggaran yang ditetapkan

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n (CP_i^d \cdot P_{it}^d + CP_i^s \cdot P_{it}^s + CP_i^f \cdot P_{it}^f) + d_2^- - d_2^+ = C_0 \quad (6)$$
- Waktu produksi regular tidak melebihi waktu kerja regular yang ditetapkan

$$\sum_{i=1}^n (t_i^d \cdot P_{it}^d + t_i^s \cdot P_{it}^s + t_i^f \cdot P_{it}^f) + d_{3t}^- - d_{3t}^+ = M_t \quad (7)$$
- Waktu produksi lembur tidak melebihi waktu kerja lembur yang ditetapkan

$$d_{3t}^+ + d_{4t}^- - d_{4t}^+ = \delta \cdot M_t; \delta = 0,5 \quad (8)$$

Fungsi tujuan:

$$\text{Min } Z = d_{1it}^- + d_2^+ + d_{3t}^+ + d_{4t}^+ \quad (9)$$

Kendala fungsional:

- Produksi lembur

$$\sum_{i=1}^n (t_i^d \cdot PO_{it}^d + t_i^s \cdot PO_{it}^s + t_i^f \cdot PO_{it}^f) = d_{3t}^+ \quad (10)$$
- Kapasitas gudang

$$\sum_{i=1}^n (v_i^S \cdot I_{it}^S) = \bar{I}_t^S \quad (11)$$
- $$\sum_{i=1}^n (v_i^F \cdot I_{it}^F) = \bar{I}_t^F \quad (12)$$
- Yield

$$I_{it}^S = (I_{it-1}^S + P_{it}^S) - (Y_i \cdot P_{it}^f) \quad (13)$$
- Kendala non negative

$$P_{it}^d, P_{it}^s, P_{it}^f, I_{it}^S, I_{it}^F, PO_{it}^d, PO_{it}^s, PO_{it}^f \geq 0. \quad (14)$$

Dalam studi ini, pencarian solusi model perencanaan agregat dibantu dengan menggunakan *software* LINDO.

HASIL DAN PEMBAHASAN

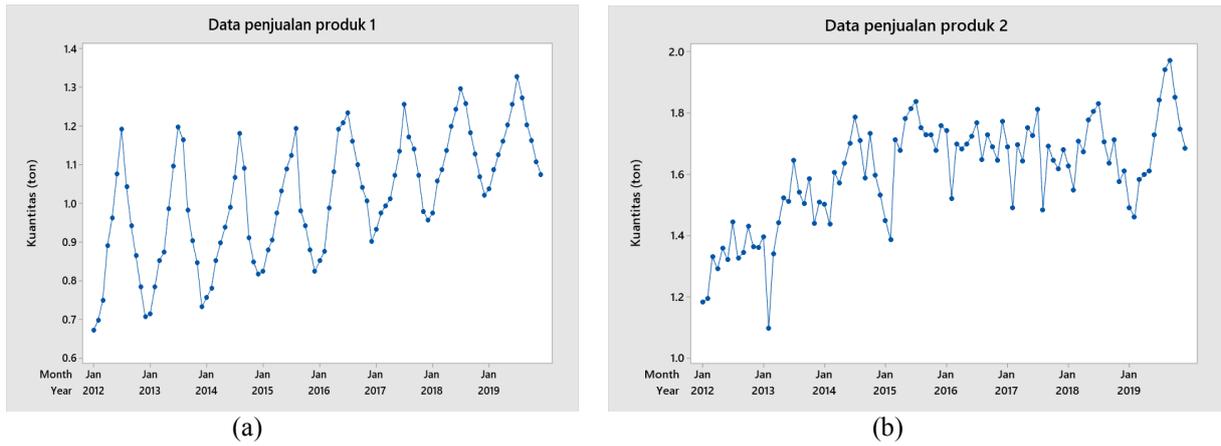
Hasil Peramalan Permintaan

Peramalan permintaan dilakukan untuk masing-masing produk akhir, sehingga terdapat dua hasil peramalan. Data deret waktu penjualan produk 1 dan produk 2 yang digunakan sebagai dasar peramalan permintaan adalah sejumlah 96 periode bulan. Pada langkah pertama, data diplotkan dalam suatu grafik untuk identifikasi pola data secara umum. Gambar 3 menunjukkan plot grafik untuk data deret waktu setiap produk.

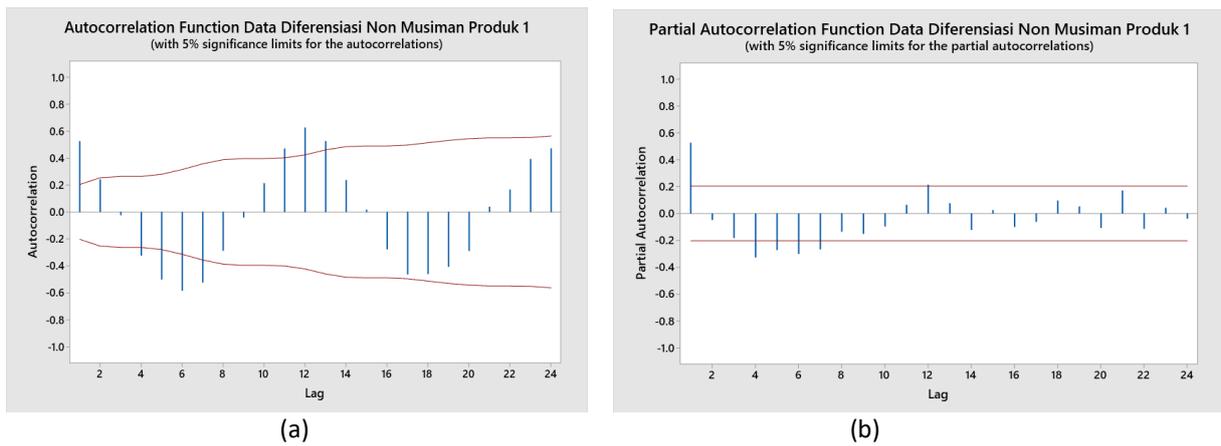
Perubahan jumlah penjualan selama periode 8 tahun dapat dilihat pada Gambar 3. Data produk 1 menunjukkan pola yang lebih mudah diidentifikasi dibandingkan dengan produk 2 yang lebih fluktuatif. Pola data produk 1 dan produk 2 menunjukkan pola musiman dengan panjang musim 12 periode, dan terdapat kemungkinan adanya tren.

Selanjutnya, pengujian stasioneritas terhadap ragam dapat dilihat dari *Box-Cox plot* yang ditunjukkan dengan *rounded value* (λ) dimana dikatakan stasioner terhadap ragam apabila *rounded value*nya bernilai 1. Untuk data penjualan masing-masing produk menunjukkan *rounded value* bukan 1, maka data tersebut harus ditransformasi terlebih dahulu. Setelah ditransformasi pada masing-masing data hingga *rounded value* menunjukkan bahwa data stasioner, maka selanjutnya dilakukan pengujian stasioneritas data terhadap rataannya menggunakan grafik ACF dan PACF dari data transformasi. Data dikatakan stasioner terhadap rataannya apabila grafik ACF dan PACF menunjukkan tiga *lag* pertama masuk dalam ambang batas. Dan berdasarkan plot ACF dan PACF untuk data transformasi produk 1 dan 2, data belum stasioner terhadap rataannya dan perlu dilakukan diferensiasi untuk mengeliminasi pola trend atau musiman. Dengan diferensiasi, pendugaan terhadap parameter d dan D juga dapat dilakukan. Untuk melakukan pendugaan parameter p, q, P, Q dapat didasarkan pada grafik ACF dan PACF dari data hasil diferensiasi. Perlu diketahui bahwa diferensiasi data dapat berupa diferensiasi *non-seasonal differencing* untuk mengeliminasi tren dan dapat berupa *seasonal differencing* untuk mengeliminasi musiman.

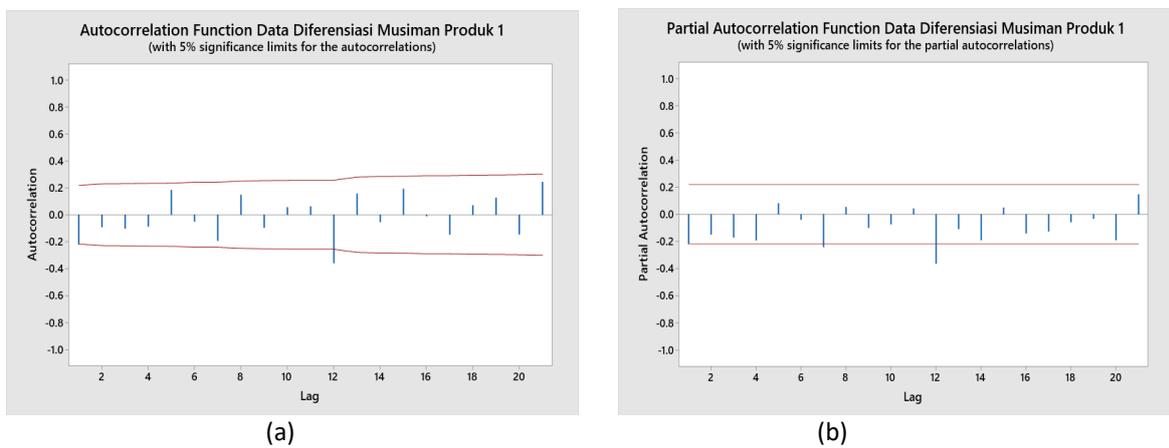
Grafik ACF dan PACF setelah data dilakukan diferensiasi non-musiman produk 1 dapat dilihat pada Gambar 4, sedangkan grafik ACF dan PACF setelah data dilakukan diferensiasi musiman produk 1 dapat dilihat pada Gambar 5. Selanjutnya dilakukan pemilihan model tentatif dengan mengidentifikasi ordo-ordonya. Berdasarkan grafik tersebut, diperoleh beberapa kandidat model SARIMA (p,d,q)(P,D,Q)^S di antaranya: (1,1,2)(1,1,1)¹²; (1,1,1)(1,1,1)¹²; (1,1,2)(0,1,1)¹²; dan (1,1,1)(0,1,1)¹².



Gambar 3. Data deret waktu penjualan produk: (a) produk 1, (b) produk 2



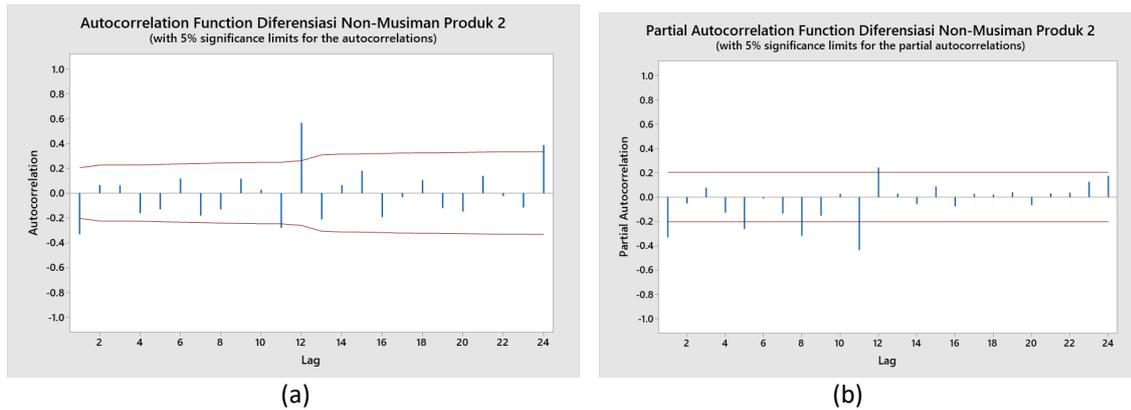
Gambar 4. Grafik ACF (a) dan PACF (b) data diferensiasi non-musiman produk 1



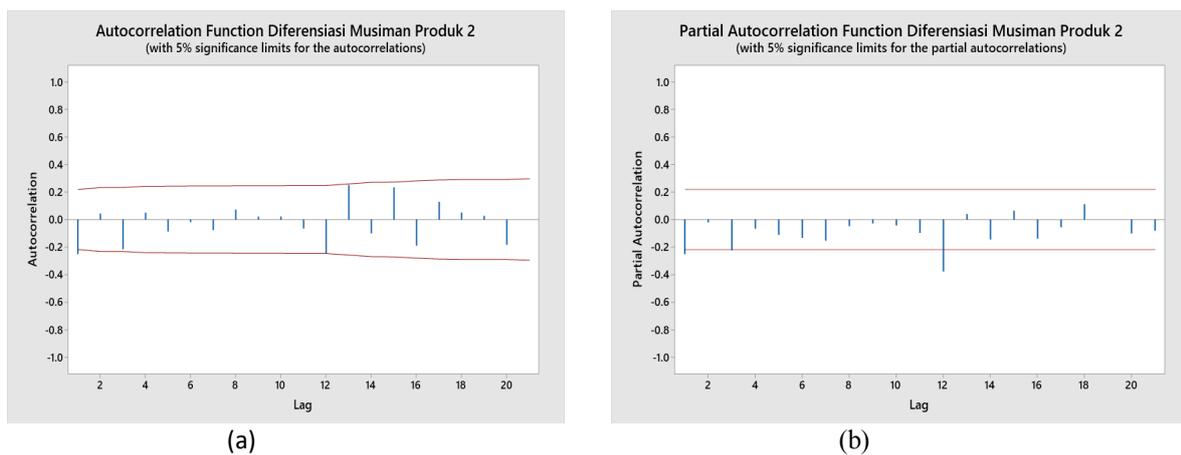
Gambar 5. Grafik ACF (a) dan PACF (b) data diferensiasi musiman produk 1

Grafik ACF dan PACF setelah diferensiasi untuk produk 2 ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7, sehingga diperoleh beberapa kandidat model SARIMA $(p,d,q)(P,D,Q)^S$ di antaranya: $(2,1,1)(1,1,1)^{12}$; $(2,1,1)(0,1,1)^{12}$; $(1,1,1)(1,1,1)^{12}$; $(1,1,1)(0,1,1)^{12}$; $(1,0,1)(1,1,1)^{12}$; dan $(1,0,1)(0,1,1)^{12}$.

Tahap selanjutnya yaitu dilakukan pendugaan parameter berdasarkan pengujian Ljung-Box dan evaluasi *error*. Hasil dari pendugaan parameter, pengujian Ljung-Box, dan evaluasi *error* ditunjukkan pada Tabel 1 untuk produk 1 dan ditunjukkan pada Tabel 2 untuk produk 2.



Gambar 6. Grafik ACF (a) dan PACF (b) data diferensiasi non-musiman produk 2



Gambar 7. Grafik ACF (a) dan PACF (b) data diferensiasi musiman produk 2

Berdasarkan Tabel 1 pendugaan parameter model tentatif, model dikatakan layak apabila p -value $< 0,05$ dikarenakan tingkat kepercayaan yang digunakan adalah 95%. Model dengan p -value pada setiap parameternya $< 0,05$ menandakan bahwa parameter tersebut signifikan dan layak. Model SARIMA (1,1,1)(0,1,1)¹² untuk produk 1 memiliki p -value $< 0,05$ pada semua parameternya. Selanjutnya dilakukan diagnosa model untuk mengetahui model yang relevan dengan data, artinya model memenuhi asumsi kebebasan sisaan. Pengecekan dilakukan dengan uji Ljung-Box dengan ketentuan apabila p -value $>$ taraf nyata ($\alpha=0,05$), maka memenuhi kebebasan sisaan. Berdasarkan hasil uji Ljung-Box untuk peramalan produk 1, diketahui bahwa semua model sudah memenuhi kebebasan sisaan. Pada tahap berikutnya dilakukan evaluasi model berdasarkan tingkat akurasi model yang diukur dari nilai *error*-nya. *Software* Minitab 19 menunjukkan akurasi model melalui nilai SSE dan MSE. Berdasarkan evaluasi *error* pada setiap model peramalan produk 1, model SARIMA (1,1,1)(0,1,1)¹² memiliki SSE dan MSE terkecil, yang artinya model tersebut merupakan model peramalan terbaik. Selain itu, berdasarkan pendugaan parameter dan uji Ljung-Box sebelumnya,

model tersebut juga memenuhi kelayakan, sehingga model SARIMA (1,1,1)(0,1,1)¹² merupakan model terpilih yang akan digunakan untuk melakukan peramalan permintaan produk 1 untuk 3 periode ke depan.

Berdasarkan hasil dari uji Ljung-Box pada Tabel 2, semua model memenuhi asumsi kebebasan sisaan dikarenakan p -value untuk semua lag bernilai $> 0,05$. Sedangkan berdasarkan hasil pendugaan parameter, hanya model SARIMA (1,1,1)(0,1,1)¹² untuk produk 2 yang semua parameternya memiliki p -value $< 0,05$ dan layak. Hal tersebut sejalan dengan hasil dari evaluasi model, dimana model SARIMA (1,1,1)(0,1,1)¹² memiliki SSE dan MSE terkecil dibandingkan dengan model lainnya. Selanjutnya dilakukan peramalan permintaan produk 2 menggunakan model SARIMA (1,1,1)(0,1,1)¹²

Perlu diketahui bahwa hasil peramalan masih merupakan nilai transformasi, sehingga perlu dilakukan detransformasi kembali. Hasil peramalan permintaan produk menggunakan model SARIMA (1,1,1)(0,1,1)¹² untuk produk 1 dan produk 2 dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil peramalan tersebut merupakan hasil yang sudah didetransformasi seperti data penjualan.

Tabel 1. Hasil pendugaan parameter, uji ljung-box, dan evaluasi model SARIMA peramalan produk 1

Model	P-Value					Lag				Error	
	Ordo non-musiman		Ordo musiman			12	24	36	48	SSE	MSE
	AR (1)	MA (1)	MA (2)	SAR (1)	SMA (1)						
(2,1,1) (1,1,1) ¹²	0,023	0,003	0,904	0,992	0,006	0,209	0,324	0,104	0,231	0,0092	0,000119
(2,1,1) (0,1,1) ¹²	0,000	0,000	-	0,914	0,008	0,274	0,417	0,139	0,280	0,0090	0,000116
(1,1,1) (1,1,1) ¹²	0,018	0,003	0,816	-	0,000	0,302	0,410	0,128	0,268	0,0092	0,000118
(1,1,1) (0,1,1) ¹²	0,000	0,000	-	-	0,000	0,374	0,482	0,172	0,332	0,0086	0,000109

Tabel 2. Hasil pendugaan parameter, uji ljung-box, dan evaluasi model SARIMA peramalan produk 2

Model	P-Value					Lag				Error	
	Ordo non-musiman			Ordo musiman		12	24	36	48	SSE	MSE
	AR (1)	AR (2)	MA (1)	SAR (1)	SMA (1)						
(2,1,1) (1,1,1) ¹²	0,981	0,988	0,988	0,331	0,00	0,218	0,099	0,125	0,192	4,63	0,0601
(2,1,1) (0,1,1) ¹²	0,000	0,524	0,000	-	0,00	0,559	0,438	0,600	0,629	4,32	0,0554
(1,1,1) (1,1,1) ¹²	0,000	-	0,000	0,956	0,00	0,615	0,447	0,567	0,560	4,21	0,0540
(1,1,1) (0,1,1) ¹²	0,000	-	0,000	-	0,00	0,727	0,514	0,608	0,585	4,20	0,0531
(1,0,1) (1,1,1) ¹²	0,000	-	0,143	0,396	0,00	0,641	0,484	0,536	0,521	4,29	0,0543
(1,0,1) (0,1,1) ¹²	0,000	-	0,277	-	0,015	0,875	0,188	0,368	0,269	5,87	0,0733

Tabel 3. Hasil peramalan permintaan 3 periode mendatang

Periode (bulan ke-)	Hasil Peramalan (kg)	
	Produk 1	Produk 2
97	1086,53	1629,34
98	1139,66	1516,05
99	1182,76	1685,89

Model SARIMA (1,1,1)(0,1,1)¹² artinya bahwa diferensiasi non-musiman (d) maupun diferensiasi musiman (D) dilakukan masing-masing satu kali, koefisien autoregresi (p) adalah 1, koefisien *moving average* (q) adalah 1, sedangkan P yang mengindikasikan *lag* autoregresi adalah 0, Q yang merupakan indikator *moving average* musiman adalah 1, dan terdapat pola siklus musiman (S) yang panjangnya 12 periode.

Hasil Perencanaan Agregat

Pada bagian ini, data hipotetik yang disesuaikan dengan kondisi sistem produksi, digunakan sebagai parameter model untuk mengetahui fleksibilitas model perencanaan agregat yang diusulkan. Data yang dicobakan pada model, diketahui bahwa diasumsikan terdapat dua jenis produk, i = 1, 2, dan perencanaan agregat dilakukan

untuk periode perencanaan tiga bulan mendatang sesuai dengan hasil peramalan permintaan, t = 1, ..., 3.

Hasil peramalan permintaan yang telah dilakukan digunakan sebagai nilai parameter permintaan yang harus dipenuhi. Parameter lain dalam model di antaranya: biaya produksi, anggaran biaya produksi, waktu proses, waktu produksi regular yang tersedia, waktu produksi lembur yang tersedia, ruang yang dibutuhkan untuk penyimpanan produk, kapasitas gudang, dan *yield* produksi.

Data hipotetik yang digunakan sebagai parameter model untuk menguji model perencanaan agregat dua tahap dapat dilihat pada Tabel 4. Parameter $D_{it}, C_o, M_t,$ dan $\delta.M_t$ merupakan *right hand side* atau aspirasi level yang harus dicapai masing-masing kendala tujuan berdasarkan empat tujuan sistem produksi. Dalam penyelesaian permasalahan multi-tujuan ini, masing-masing tujuan memiliki bobot dan tingkat kepentingan yang dianggap sama, artinya tidak ada tujuan yang lebih diprioritaskan dibandingkan dengan tujuan yang lain.

Dalam GP, untuk memenuhi aspirasi level, terdapat variabel yang disebut variabel deviasi. Variabel deviasi mengindikasikan penyimpangan-penyimpangan yang terjadi untuk mencapai nilai ruas kanan (*right hand side*) pada kendala tujuan.

Tabel 4. Nilai parameter model

Parameter	Produk 1			Produk 2		
	t = 1	t = 2	t = 3	t = 1	t = 2	t = 3
D_{it} (kg)	1087	1140	1183	1629	1516	1686
CP_i^d (Rp)	13000	13000	13000	15500	15500	15500
CP_i^s (Rp)	5000	5000	5000	6000	6000	6000
CP_i^f (Rp)	5500	5500	5500	7500	7500	7500
C_o (Rp)	140000000					
t_i^d (jam)	0,05	0,05	0,05	0,12	0,12	0,12
t_i^s (jam)	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08	0,08
t_i^f (jam)	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05
v_i^s (cm ³)	750	750	750	750	750	750
v_i^f (cm ³)	540	540	540	720	720	720
Y_i (%)	0,9	0,9	0,9	0,88	0,88	0,88

Parameter	t = 1		t = 2		t = 3	
	Produk 1	Produk 2	Produk 1	Produk 2	Produk 1	Produk 2
M_t (jam)	200		200		200	
$\delta \cdot M_t$ (jam)	100		100		100	
\bar{I}_t^s (cm ³)	1050000		1050000		1050000	
\bar{I}_t^f (cm ³)	2034000		2034000		2034000	

Misalnya dalam kendala tujuan pertama untuk memenuhi permintaan, variabel deviasi atas menunjukkan suatu kelebihan produksi dibandingkan dengan aspirasi levelnya, dan deviasi bawah menunjukkan suatu kekurangan produksi dibandingkan dengan aspirasi levelnya, dan menggunakan sumber daya yang tersedia.

Kemudian pada kendala tujuan kedua untuk mencapai *production cost* tidak melebihi biaya yang dianggarkan, variabel deviasi atas menunjukkan kelebihan *cost production* apabila dibandingkan dengan aspirasi levelnya, dan deviasi bawah mengindikasikan *cost production* tidak mencapai aspirasi levelnya. Pada kendala tujuan ketiga untuk memenuhi waktu produksi regular sesuai dengan jam kerja regular yang tersedia, deviasi atas merupakan suatu kelebihan waktu produksi regular dibandingkan dengan aspirasi levelnya sehingga akan dialokasikan menjadi waktu produksi lembur, sedangkan deviasi bawah mengindikasikan bahwa waktu kerja regular yang digunakan tidak mencapai aspirasi levelnya atau tidak melebihi waktu produksi regular yang disediakan. Deviasi atas dari waktu produksi regular akan dialokasikan menjadi waktu produksi lembur pada kendala tujuan keempat, dimana deviasi atasnya merupakan waktu kerja lembur yang melebihi aspirasi levelnya dan deviasi bawah merupakan waktu kerja lembur yang tidak melebihi aspirasi levelnya. Berdasarkan penjelasan mengenai variabel deviasi tersebut, dalam GP, fungsi tujuan dirumuskan untuk meminimasi variabel-variabel deviasi yang ada, dengan maksud untuk meminimasi penyimpangan.

Dalam merumuskan fungsi tujuan, perlu memperhatikan variabel deviasi mana yang akan diminimasi. Misalnya dalam kendala tujuan pertama, agar permintaan terpenuhi maka tidak diharapkan terjadi kekurangan produksi, sehingga fungsi tujuan

adalah meminimasi variabel deviasi bawah untuk kendala tujuan pertama. Selanjutnya, dalam kendala tujuan kedua, agar *production cost* tidak melebihi anggaran yang ditetapkan maka tidak diharapkan terjadi kelebihan *cost*, sehingga fungsi tujuan adalah meminimasi variabel deviasi atas. Begitu juga dengan kendala tujuan ketiga dan keempat, agar waktu produksi regular dan waktu produksi lembur tidak melebihi waktu produksi yang disediakan, maka fungsi tujuan adalah meminimasi deviasi atas untuk kendala tujuan ketiga dan keempat.

Hasil solusi penyelesaian model matematika perencanaan agregat dengan teknik GP dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Pencarian solusi GP dibantu menggunakan *software* LINDO. Berdasarkan hasil yang diperoleh untuk variabel deviasi, ditunjukkan bahwa kendala tujuan pertama tercapai dikarenakan semua variabel deviasi bawah yang diminimasi bernilai 0. Hal tersebut berarti bahwa tingkat produksi yang dihasilkan berdasarkan sumber daya yang tersedia dapat memenuhi semua permintaan.

Hal serupa terjadi pada kendala tujuan kedua dimana semua variabel deviasi atas yang diharapkan diminimasi juga bernilai 0. Artinya, *cost production* tidak melebihi biaya yang dianggarkan, sehingga kendala tujuan kedua tercapai. Namun kendala tujuan ketiga tidak tercapai dikarenakan nilai variabel deviasi atas tidak bernilai 0, artinya untuk memenuhi kendala tujuan lainnya, waktu produksi regular yang dibutuhkan melebihi waktu produksi regular yang disediakan. Kelebihan waktu produksi regular tersebut akan dijadikan sebagai input waktu produksi lembur pada kendala tujuan 4. Pada kendala tujuan, ditunjukkan bahwa waktu kerja lembur yang dibutuhkan untuk memenuhi target produksi melebihi waktu lembur yang disediakan pada periode perencanaan ke-1, sedangkan pada periode

perencanaan ke-2 dan ke-3, waktu produksi lembur yang dibutuhkan tidak melebihi waktu produksi lembur yang disediakan atau kendala tujuan ketiga untuk periode perencanaan ke-2 dan ke-3 tersebut tercapai. Dalam kasus tidak tercapainya suatu tujuan sistem produksi seperti ini, solusi yang disarankan yaitu pihak manajerial perusahaan dapat menerapkan sistem rekrut dan pemberhentian tenaga kerja tidak tetap atau menambah waktu produksi lembur yang disediakan.

Hasil dari variabel keputusan yang diperoleh dapat dilihat di Tabel 6. Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa tidak selalu produk akan diproduksi secara langsung dari bahan baku menjadi produk akhir, namun ada kemungkinan juga diproduksi dilakukan terlebih dahulu dari bahan baku menjadi produk antara dan baru kemudian dari produk antara diproses menjadi produk akhir. Artinya, model perencanaan agregat dua tahap tersebut dapat digunakan untuk memenuhi berbagai tujuan yang harus dicapai pada sistem produksi. Selain itu, sistem produksi dua tahap juga umum diterapkan pada industri pangan yang memiliki karakteristik bahan *perishable*. Dengan pemrosesan bahan baku menjadi produk antara, dapat mengatasi laju deteriorasi dari bahan, dan sebaliknya.

Hasil Analisis Sensitivitas

Dhoruri *et al.* (2017), melakukan analisis sensitivitas pada model yang diselesaikan dengan GP dengan melihat perubahan koefisien sumber *daya/fixed rate* pada *Right Hand Side* (RHS). Analisis

sensitivitas diterapkan untuk mengetahui bagaimana pengaruh perubahan parameter model. Perubahan tersebut dapat diimplementasikan pada: koefisien fungsi tujuan, koefisien sumber *daya/fixed rate* dari kendala sisi kanan atau RHS, koefisien teknis, fungsi kendala tambahan, dan variabel tambahan. Menurut Hadid (2013), analisis sensitivitas diperlukan dalam kelanjutan model, karena dalam kegiatan produksi faktor ketidakpastian itu selalu ada. Oleh karena itu, untuk mendapatkan solusi optimal dengan lebih cepat dari masalah yang dihadapi, analisis sensitivitas dibutuhkan (Vanderbei, 2014).

Hasil analisis sensitivitas model dengan melihat perubahan koefisien parameter RHS yang menjadi tujuan sistem produksi dapat dilihat pada Tabel 7. Analisis sensitivitas menunjukkan sejauh mana perubahan nilai RHS agar solusi yang dihasilkan tetap optimal. Apabila perubahan nilai koefisien parameter melebihi *allowable increase* dan *allowable decrease*, maka perhitungan harus dilakukan ulang. Misalnya untuk parameter D11 yang merupakan permintaan untuk produk 1 pada periode perencanaan 1, nilai parameter RHS adalah 1.087 kg, perubahan kenaikan agar solusi model tetap optimal adalah sebesar 163,13, atau batas atas nilai parameter D11 adalah 1.250,13 kg agar solusi dianggap masih layak. Perubahan penurunan agar solusi tetap optimal adalah 69,24, atau batas bawah nilai parameter D11 adalah 1.017,76 kg agar solusi dianggap masih layak. Untuk keseluruhan hasil analisis sensitivitas parameter RHS tersaji pada Tabel 7.

Tabel 5. Hasil variabel deviasi model perencanaan agregat

Varibel	Nilai	Varibel	Nilai	Varibel	Nilai	Varibel	Nilai
d_{11}^-	0	d_{112}^+	0	d_{31}^-	0	d_{42}^-	56,24
d_{112}^-	0	d_{113}^+	0	d_{32}^-	0	d_{43}^-	0
d_{113}^-	0	d_{121}^+	0	d_{33}^-	0	d_{41}^+	194,81
d_{121}^-	0	d_{122}^+	0	d_{31}^+	294,81	d_{42}^+	0
d_{122}^-	0	d_{123}^+	0	d_{32}^+	43,75	d_{43}^+	0
d_{123}^-	0	d_2^-	0	d_{33}^+	100		
d_{111}^+	0	d_2^+	0	d_{41}^-	0		

Tabel 6. Hasil variabel keputusan perencanaan agregat

Varibel	Nilai	Varibel	Nilai	Varibel	Nilai	Varibel	Nilai
P_{11}^d	4853,66	P_{12}^f	81,27	I_{10}^f	0	PO_{23}^d	833,33
P_{12}^d	1058,72	P_{13}^f	0	I_{11}^f	3766,67	PO_{11}^s	0
P_{13}^d	171,05	P_{21}^f	1629	I_{12}^f	3766,67	PO_{12}^s	0
P_{21}^d	0	P_{22}^f	1516	I_{13}^f	2754,72	PO_{13}^s	0
P_{22}^d	0	P_{23}^f	2444,96	I_{20}^f	0	PO_{21}^s	0
P_{23}^d	0	I_{10}^s	0	I_{21}^f	0	PO_{22}^s	0
P_{11}^s	1400	I_{11}^s	1400	I_{22}^f	0	PO_{23}^s	0
P_{12}^s	0	I_{12}^s	1326,85	I_{23}^f	758,96	PO_{11}^f	0
P_{13}^s	73,14	I_{13}^s	1400	PO_{11}^d	0	PO_{12}^f	0
P_{21}^s	1433,52	I_{20}^s	0	PO_{12}^d	0	PO_{13}^f	0
P_{22}^s	1407,23	I_{21}^s	0	PO_{13}^d	0	PO_{21}^f	0
P_{23}^s	2078,42	I_{22}^s	73,15	PO_{21}^d	2456,79	PO_{22}^f	0
P_{11}^f	0	I_{23}^s	0	PO_{22}^d	364,6	PO_{23}^f	0

Analisis sensitivitas dapat mengurangi dan menghindari perhitungan ulang apabila terjadi perubahan nilai parameter model. Selain itu, dengan analisis sensitivitas, dapat diketahui *robustness* suatu model, dimana *robustness* mencirikan model yang baik. Jika solusi tidak sensitif atau tahan terhadap perubahan parameter, maka dapat dikatakan model bersifat *robust*. Hasil analisis sensitivitas yang menunjukkan rentang perubahan nilai parameter mengindikasikan bahwa solusi tahan terhadap perubahan sesuai dengan batas kelayakan solusinya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Paper ini mengusulkan perencanaan agregat dua tahap yang dapat diterapkan pada industri pangan untuk mengatasi karakteristik bahan *perishable*. Model didasarkan pada studi kasus industri pengolahan daging dengan produk sosis. Peramalan permintaan dilakukan sebagai dasar perencanaan agregat dengan menggunakan data hipotetik dan metode SARIMA. Proses produksi pada sistem produksi dua tahap terbagi menjadi tiga: 1) pengolahan bahan baku menjadi produk akhir secara langsung, 2) pengolahan bahan baku menjadi produk antara, dan 3) pengolahan produk antara menjadi produk akhir. Sistem produksi dua tahap tersebut mengakibatkan adanya *inventory* berupa produk antara dan *inventory* produk jadi. Perencanaan agregat mengakomodasi empat tujuan yaitu: 1) memenuhi permintaan, 2) *production cost* tidak melebihi anggaran biaya, 3) waktu produksi reguler tidak melebihi waktu produksi reguler yang disediakan, dan 4) waktu produksi lembur tidak melebihi waktu produksi lembur yang disediakan. Berdasarkan hasil verifikasi model menggunakan data hipotetik yang disesuaikan dengan kondisi sistem produksi dan hasil analisis sensitivitas, model perencanaan agregat yang diusulkan layak diterapkan pada industri pangan dengan sistem produksi *multi-stage* (dua tahap), *multi-product*, *multi-periode*, serta memiliki karakteristik bahan *perishable*.

Saran

Pada penelitian selanjutnya, dapat dilakukan perancangan atau usulan model perencanaan agregat dengan mempertimbangkan adanya faktor penurunan kapasitas mesin dan batasan umur simpan bahan yang disimpan. Selain itu, usulan model selanjutnya juga dapat mempertimbangkan adanya ketidakpastian dalam sistem produksi seperti ketidakpastian permintaan yang dapat diatasi dengan logika *fuzzy*.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad WKAW dan Ahmad S. 2013. Arima model and exponential smoothing method: A comparison. *Proceedings of the 20th National Symposium on Mathematical Sciences:*

Research in Mathematical Sciences: A Catalyst for Creativity and Innovation - AIP Conference Proceedings. April 2013. 1522(1):1312-1321.

- Akkerman R, Van Donk DP. 2008. Analysing scheduling in the food-processing industry: structure and tasks. *Journal of Cognition, Technology, and Work*. 11(3):215-226.
- Al-E-Hashem SMJM, Aryanezhad MB, Sadjadi SJ. 2011. An efficient algorithm to solve a multi-objective robust aggregate production planning in an uncertain environment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 58(5-8):765-782.
- Bas MC, Ortiz J, Ballesteros L, Martorell S. 2017. Forecasting 7Be concentrations in surface air using time series analysis. *Atmos, Environ*. 155:154-161.
- Baykasoglu A dan Gocken T. 2010. Multi-objective aggregate production planning with fuzzy parameters. *Journal Advances in Engineering Software*. 41:1124-1131.
- Broz D, Vanzetti N, Corsano G, Montagna JM. 2019. Goal programming application for the decision support in the daily production planning of sawmills. *Journal Forest Policy and Economics*. 102:29-40.
- Chopra S dan Meindl P. 2016. *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, 6th ed. Pearson.
- Da Silva AN dan Marins FAS. 2014. A fuzzy goal programming model for solving aggregate production-planning problems under uncertainty: a case study in a brazilian sugar mill. *Journal Energy Economics*. 45:196-204.
- Dhoruri A, Lestari D, dan Ratnasari E. 2017. Sensitivity analysis of goal programming model for dietary menu of diabetes mellitus patients. *International Journal Modeling and Optimization*. 7(1): 549.
- Djordjevic I, Petrovic D, dan Stojic G. 2019. A fuzzy linear programming model for aggregated production planning (APP) in the automotive industry. *Journal Computers in Industry*. 110:48-63.
- Forte RM. 2015. *Mastering Predictive Analytics with R*, 1st ed. Birmingham: Packt Publishing.
- Gansterer M. 2015. Aggregate planning and forecasting in make-to-order production systems. *International Journal Production Economics*. 170:521-528.
- Hadid H. 2013. Pengembangan model penjadwalan penanaman komoditas sayuran greenhouse di pt saung mirwan. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Heizer R dan Render B. 2004. *Operation Management*. Prentice Hall. New Jersey.
- Huang Z, Yu H, Chu X, Peng Z. 2017. A goal programming based model system for

- community energy plan. *Energy*. 134(1):893–901.
- Jey HRH, Javanshir H, dan Mohajeri A. 2017. A two-stage production planning model for perishable products under uncertainty. *Uncertain Supply Chain Management*. 5: 201–214.
- Leung SCH dan Ng W. 2007. A goal programming model for production planning of perishable products with postponement. *Journal Computers & Industrial Engineering*. 53:531–541.
- Liu H, Li C, Shao Y, Zhang X, Zhai Z, Wang X, Qi X, Wang J, Hao Y, Wu Q, Jiao M. 2020. Forecast of the trend in incidence of acute hemorrhagic conjunctivitis in China from 2011–2019 using the Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) and Exponential Smoothing (ETS) models. *Journal Infection and Public Health*. 13:287–294.
- Mehdizadeh E, Niaki STA, dan Hemati M. 2018. A bi-objective aggregate production planning problem with learning effect and machine deterioration: Modeling and solution. *Journal Computers and Operations Research*. 91:21–36.
- Mezghani M, Loukil T, dan Aouni B. 2012. Aggregate planning through the imprecise goal programming model: integration of the manager's preferences. *International Transactions in Operational Research*. 19(4): 581-597.
- Pearn WL, Su RH, dan Weng MW. 2011. Optimal production run time for two-stage production systems with imperfect processes and allowable shortages. *CEJOR*. 19:533-545.
- Rad MF dan Shirouyehzad H. 2014. Proposing an aggregate production planning model by goal programming approach, a case study. *ISPACS*. 2014:1-13.
- Ramezani R, Rahmani D, dan Barzinpour F. 2012. An aggregate production planning model for two phase production systems: Solving with genetic algorithm and tabu search. *Journal Expert Systems with Applications*. 39:1256-1263.
- Shin M, Lee H, Ryu K, Cho Y, Son YJ. 2019. A two-phased perishable inventory model for production planning in a food industry. *Journal Computers & Industrial Engineering*. 133:175-185.
- Vanderbei RJ. 2014. Linear programming. *International Series in Operations Research & Management Science*. 196:99.