

BAB III

METODE PENELITIAN

Bab ini membahas metodologi yang digunakan dalam penelitian yang meliputi deskripsi masalah, tahapan penelitian, langkah memprediksi permintaan menggunakan FIS Tsukamoto, serta langkah optimisasi perencanaan produksi menggunakan MOPSO.

3.1 Deskripsi Masalah

Misalkan terdapat n jenis produk yang diproduksi dan p jenis bahan baku yang akan digunakan untuk membuat produk. Diketahui pula waktu proses produksi bahan baku dan kapasitas produksi untuk setiap bahan baku. Setiap produk memiliki prediksi jumlah permintaan dan harga jual. Penelitian ini membahas masalah perencanaan produksi, yaitu masalah menentukan banyak produk yang harus diproduksi agar seluruh permintaan terpenuhi dan total waktu produksi tidak melampaui waktu produksi maksimum yang diizinkan. Perencanaan produksi akan dilakukan pada periode waktu tertentu.

Tujuan dari penyelesaian masalah perencanaan produksi adalah untuk meminimumkan total waktu produksi dan memaksimumkan kapasitas produksi. Dengan demikian, masalah perencanaan produksi tersebut termasuk dalam kriteria masalah perencanaan produksi multiobjektif. Logika *fuzzy* Tsukamoto akan diterapkan untuk memprediksi besarnya permintaan setiap produk. Selanjutnya, MOPSO akan diterapkan untuk menyelesaikan model optimisasi multiobjektif sehingga akan diperoleh berapa banyak produksi setiap produk yang optimal.

3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan berikut:

1. Studi Pustaka

Pada tahapan ini, dilakukan studi pustaka dengan mengkaji teori-teori yang berhubungan dengan masalah perencanaan produksi, FIS Tsukamoto, MOPSO, *Weighted Sum*, *Repair Mechanism* dan multiobjektif dari berbagai jurnal.

2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang berhubungan dengan permasalahan perencanaan produksi suatu perusahaan. Penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari suatu perusahaan es krim di Kabupaten Cianjur.

3. Formulasi Model Optimisasi

Pada tahapan ini, model multiobjektif masalah perencanaan produksi akan diformulasikan dengan terlebih dahulu mendefinisikan asumsi-asumsi, parameter, dan variabel keputusan model.

4. Penyelesaian Model

Pada tahapan ini, permintaan pasar (R_j) untuk setiap jenis produk akan diprediksi dengan metode FIS Tsukamoto. Selanjutnya, model perencanaan produksi multiobjektif yang telah dibuat akan diselesaikan dengan menggunakan metode MOPSO.

5. Validasi

Pada tahapan ini model dan teknik penyelesaian akan divalidasi dengan cara membandingkan hasil dari perhitungan manual dengan komputasi. Jika solusi optimal yang dihasilkan sama, maka akan dilanjutkan ke tahapan implementasi. Jika solusi optimalnya tidak sama, maka akan diulang dari langkah pemodelan.

6. Implementasi

Model dan teknik penyelesaian yang telah valid akan diimplementasikan untuk menyelesaikan masalah perencanaan produksi pada suatu perusahaan es krim di Kabupaten Cianjur.

7. Penarikan Kesimpulan

Pada tahapan ini akan dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil yang didapat setelah mengimplementasikan FIS Tsukamoto dan MOPSO.

3.3 Model Optimisasi

Model optimisasi pada penelitian ini diformulasikan merujuk pada model dari (Simarmata, 2020). Asumsi-asumsi yang diambil dalam pemodelan adalah sebagai berikut:

1. Proses perencanaan produksi dilakukan dalam periode waktu satu bulan.
2. Proses produksi tidak ada hambatan.

3. Untuk setiap proses produksi, ketersediaan bahan baku selalu terpenuhi.
4. Tidak ada pegawai yang melamar dan mengundurkan diri.
5. Tidak ada kenaikan dan penurunan gaji pada pegawai selama proses produksi berlangsung.
6. Mesin yang dipergunakan untuk proses produksi tidak ada yang rusak.
7. Produksi bahan baku tidak secara bersamaan, tetapi satu per satu jenis bahan baku.

Model optimisasi dibangun melalui tahapan berikut:

1. Pendefinisian parameter dan variabel keputusan model.

Parameter model terdiri dari estimasi permintaan produk (R_j), harga jual per unit produk (H_j), kapasitas produksi bahan baku (K_m), waktu proses produksi bahan baku (T_m), waktu produksi maksimum yang diizinkan ($T_{\max}$), rasio kontribusi pendapatan per unit produk ($RK_{k,j}$), banyak jenis produk (n), banyak jenis bahan baku (p), dengan himpunan j dan himpunan m masing-masing merupakan himpunan produk dan himpunan bahan baku. Variabel keputusan model didefinisikan untuk menentukan banyaknya produk yang harus diproduksi (x_j).

2. Pendefinisian fungsi tujuan.

Fungsi tujuan model adalah untuk meminimumkan total waktu produksi dan memaksimumkan total kapasitas produksi.

3. Formulasi fungsi kendala.

Kendala dari model menjamin bahwa seluruh permintaan terpenuhi dan total waktu produksi tidak melampaui waktu maksimum produksi yang diizinkan.

4. Batasan variabel.

Batasan variabel model menjamin bahwa seluruh variabel bernilai non negatif.

3.4 Teknik Penyelesaian

Metode yang digunakan pada penyelesaian masalah perencanaan produksi adalah *Multi Objective Particle Swarm Optimisation* (MOPSO). Metode ini digunakan karena mampu mengatasi fungsi tujuan yang banyak dan memiliki kecepatan konvergensi serta kesederhanaannya dalam implementasi (Dasheng, 2008). Untuk menentukan solusi yang tidak terdominasi, diperlukan metode *Weighted Sum* yang dapat menghasilkan nilai *fitness* dari penggabungan kedua

fungsi tujuan yang dipertimbangkan. Dalam perancangan perencanaan produksi terlebih dahulu diperlukan prediksi permintaan pasar (R_j) untuk mengoptimisasi berapa produk yang harus diproduksi untuk masing-masing jenis produknya. Karena prediksi pasar bersifat tidak pasti, maka dalam penelitian ini permintaan pasar akan diprediksi menggunakan metode *Fuzzy Inference System* Tsukamoto (F. Nugroho dkk., 2023).

Untuk memprediksi permintaan menggunakan FIS Tsukamoto diperlukan data historis permintaan pasar pada setiap jenis produknya, sebagai dasar untuk menyusun fungsi keanggotaan permintaan pasar pada masing-masing jenis produk yang akan diproduksi. Data suhu dan harga jual untuk masing-masing produk akan digunakan untuk membentuk fungsi keanggotaan suhu dan harga jual yang selanjutnya akan digunakan sebagai variabel *input* untuk menghasilkan prediksi permintaan pada metode FIS Tsukamoto. Prediksi permintaan dilakukan untuk mengubah model optimisasi *fuzzy* menjadi model optimisasi deterministik. Setelah melakukan prediksi permintaan, tahapan selanjutnya adalah menyelesaikan model perencanaan produksi multiobjektif dengan metode MOPSO. Tahapan dari masing-masing metode adalah sebagai berikut:

1. Prediksi permintaan menggunakan FIS Tsukamoto

Langkah-langkah metode FIS Tsukamoto adalah sebagai berikut:

A. *Fuzzyfikasi*

Proses *fuzzyfikasi* dibagi menjadi dua tahapan, yaitu mendefinisikan himpunan *fuzzy* dan aturan *If-Then Fuzzy* Tsukamoto. Tahapan pertama proses *fuzzyfikasi* adalah mendefinisikan himpunan *fuzzy*. Berikut adalah tahapan mendefinisikan himpunan *fuzzy*:

a. Penentuan semesta pembicaraan

Semesta pembicaraan pada variabel harga produk berada pada range Rp2.000 – Rp50.000, ditetapkan berdasarkan harga produk di pasaran. Sedangkan, semesta pembicaraan pada variabel suhu berada pada range 9°C – 36°C , ditetapkan berdasarkan suhu terendah dan tertinggi yang terjadi di Indonesia menurut BMKG (Hakim, 2024; Zaenuddin, 2024). Semesta pembicaraan pada variabel permintaan disesuaikan dengan data riil historis permintaan pada perusahaan tempat penelitian.

b. Penentuan domain

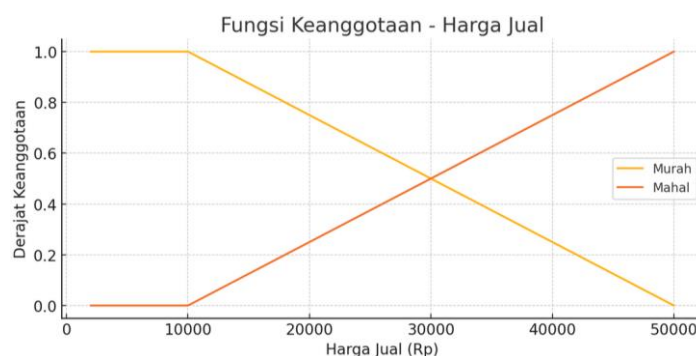
Dalam konteks himpunan *fuzzy*, semesta dan domain ditetapkan dengan nilai yang sama, yaitu pada rentang Rp2.000 – Rp50.000 untuk variabel harga produk dan 9°C – 36°C untuk variabel suhu. Rentang nilai semesta dan domain ditetapkan sama karena semesta pembicaraan mencakup seluruh rentang nilai yang dianggap relevan dalam analisis, yang dalam hal ini sesuai dengan domain variabel yang digunakan.

c. Penetapan variabel *fuzzy*

Variabel permintaan akan ditetapkan sebagai variabel *output* sekaligus variabel *fuzzy* karena permintaan selalu fluktuatif dan tidak pasti dari waktu ke waktu. Sedangkan, variabel *input* dibagi menjadi dua, yaitu harga produk dan suhu. Penetapan fungsi keanggotaan pada himpunan *fuzzy* untuk setiap variabel disesuaikan dengan kebutuhan. Himpunan *fuzzy* pada variabel harga produk dibagi menjadi dua klasifikasi, yaitu murah dan mahal, sehingga fungsi keanggotaan yang digunakan adalah linear turun dan linear naik. Pada variabel suhu, himpunan *fuzzy* dibagi menjadi dingin, sejuk, dan panas. Sementara itu, variabel permintaan dibagi menjadi rendah, sedang, dan tinggi. Karena memiliki banyak klasifikasi yang sama, variabel suhu dan variabel permintaan menggunakan fungsi keanggotaan yang sama, yaitu linear turun, segitiga, dan linear naik.

Penetapan rentang klasifikasi fungsi keanggotaan ditetapkan sesuai kebutuhan penelitian, seperti yang dirujuk pada (Hari Purnomo dkk., 2020; Rumfot dkk., 2024). Fungsi keanggotaan adalah sebagai berikut:

(a) Variabel harga jual (Rp)



Gambar 3. 1 Fungsi Keanggotaan Harga Jual

Fungsi keanggotaan harga jual terdiri dari:

- Murah (linear turun):

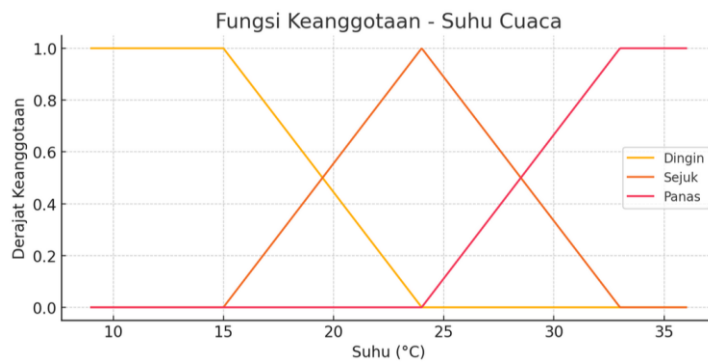
$$\mu_{murah}(x) = \begin{cases} 1, & \text{jika } x \leq 10.000 \\ \frac{50.000 - x}{50.000 - 10.000}, & \text{jika } 10.000 < x \leq 50.000 \\ 0, & \text{jika } x > 50.000 \end{cases}$$

- Mahal (linear naik):

$$\mu_{mahal}(x) = \begin{cases} 0, & \text{jika } x \leq 10.000 \\ \frac{x - 10.000}{50.000 - 10.000}, & \text{jika } 10.000 < x \leq 50.000 \\ 1, & \text{jika } x > 50.000 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan di atas dapat dilihat pada Gambar 4.1.

(b) Variabel suhu (°C)



Gambar 3. 2 Fungsi Keanggotaan Suhu

Fungsi keanggotaan suhu terdiri dari:

- Dingin (linear turun):

$$\mu_{Dingin}(x) = \begin{cases} 1, & \text{jika } x \leq 15 \\ \frac{24 - x}{24 - 15}, & \text{jika } 15 < x \leq 24 \\ 0, & \text{jika } x > 24 \end{cases}$$

- Sejuk (Segitiga):

$$\mu_{Sejuk}(x) = \begin{cases} 0, & \text{jika } x \leq 15 \\ \frac{x - 15}{24 - 15}, & \text{jika } 15 < x \leq 24 \\ \frac{33 - x}{33 - 24}, & \text{jika } 24 < x \leq 33 \\ 0, & \text{jika } x > 33 \end{cases}$$

- Panas (linear naik):

$$\mu_{Panas}(x) = \begin{cases} 0, & \text{jika } x \leq 24 \\ \frac{x - 24}{33 - 24}, & \text{jika } 24 < x \leq 33 \\ 1, & \text{jika } x > 33 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan di atas dapat dilihat pada Gambar 4.2.

(c) Variabel permintaan (Porsi)

Variabel permintaan disesuaikan dengan data historis untuk setiap jenis produk, sehingga fungsi keanggotaan untuk variabel permintaan setiap produk dapat disusun setelah memperoleh data riil historis permintaan pada tempat penelitian. Pada penentuan klasifikasi variabel permintaan, jumlah permintaan terendah menjadi batas bawah klasifikasi rendah dan jumlah permintaan tertinggi menjadi batas atas klasifikasi tinggi. Sedangkan titik tengah puncak fungsi keanggotaan segitiga diperoleh dari rata-rata data riil historis produk.

Setelah mendefinisikan himpunan *fuzzy*, tahapan selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mendefinisikan aturan If-Then *Fuzzy* Tsukamoto. Pada tahapan ini, akan didefinisikan aturan *fuzzy* IF-THEN sesuai aturan *fuzzy* Tsukamoto. Harga murah dengan suhu yang mendukung (sejuk atau panas) secara konsisten meningkatkan permintaan, sedangkan harga mahal menurunkan permintaan terutama ketika suhu dingin, meskipun suhu panas cenderung mendorong permintaan produk secara signifikan, dampaknya tetap bisa berkurang jika harga terlalu tinggi. Berikut aturan IF-THEN yang disusun sesuai aturan *fuzzy* Tsukamoto:

1. $[R_1]$ **If** harga produk murah **and** suhu dingin, **then** permintaan sedang
 Dasar pemikiran: Harga murah dapat meningkatkan permintaan, tetapi karena suhu dingin tidak ideal untuk produk, permintaan hanya akan berada di tingkat sedang.
2. $[R_2]$ **If** harga produk murah **and** suhu sejuk, **then** permintaan tinggi
 Dasar pemikiran: Harga murah dan suhu sejuk adalah kombinasi yang ideal, membuat produk menarik untuk dikonsumsi, sehingga permintaan meningkat.
3. $[R_3]$ **If** harga produk murah **and** suhu panas, **then** permintaan tinggi

Dasar pemikiran: Suhu panas sangat mendukung konsumsi produk, dan harga murah semakin mendorong permintaan menjadi sangat tinggi.

4. $[R_4]$ **If** harga produk mahal **and** suhu dingin, **then** permintaan rendah
Dasar pemikiran: Konsumen tidak tertarik membeli produk saat suhu dingin, terutama ketika harga mahal, sehingga permintaan sangat rendah.
5. $[R_5]$ **If** harga produk mahal **and** suhu sejuk, **then** permintaan sedang
Dasar pemikiran: Harga mahal mengurangi minat konsumen, tetapi suhu sejuk masih memungkinkan produk diminati, meskipun permintaan hanya mencapai tingkat sedang.
6. $[R_6]$ **If** harga produk mahal **and** suhu panas, **then** permintaan sedang
Dasar pemikiran: Meskipun suhu panas mendorong konsumsi produk, harga mahal membatasi jumlah konsumen yang membeli. Oleh karena itu, permintaan hanya mencapai tingkat sedang, bukan tinggi.

B. Inference

Pada tahap inferensi, dilakukan proses penentuan keluaran berdasarkan aturan *fuzzy* yang telah ditetapkan. Tahapan pertama yang dilakukan adalah mencari nilai α (*Fire Strength*) dengan memasukkan nilai keanggotaan pada aturan *fuzzy* disertai mengombinasikan himpunan *fuzzy* dengan operator dasar himpunan *fuzzy* yaitu operator *MIN*. Dalam konteks logika *fuzzy*, aturan dikatakan “tidak aktif” ketika salah satu dari nilai keanggotaannya bernilai nol, yang berarti aturan tersebut tidak memberikan kontribusi dalam perhitungan *output*, karena khususnya pada kondisi masalah ini dan aturan *MIN* digunakan saat semua *input* harus terpenuhi dikarenakan kedua kondisi harus dipertimbangkan bersama di mana setiap *input* memiliki kontribusi penting terhadap *output*. Berikut merupakan persamaan untuk mencari nilai α (*Fire Strength*):

$$\alpha_i = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) \quad (3.1)$$

dengan:

$\mu_A(x)$ = Derajat keanggotaan variabel x dalam himpunan *fuzzy* A

$\mu_B(x)$ = Derajat keanggotaan variabel x dalam himpunan *fuzzy* B

i = Indeks untuk masing-masing aturan IF-THEN

α_i = Nilai *Fire Strength* untuk aturan ke- i

Setelah mendapatkan nilai α (*Fire Strength*), nilai konsekuen *output crisp* (z_i) untuk setiap aturan dihitung berdasarkan nilai α (*Fire Strength*) yang diperoleh sebelumnya dengan metode rata-rata berbobot yaitu:

$$z_i = z_{bawah} + \alpha_i \times (z_{atas} - z_{bawah}) \quad (3.2)$$

dengan:

z_{bawah} = Nilai batas bawah dari konsekuen aturan *fuzzy*

z_{atas} = Nilai batas atas dari konsekuen aturan *fuzzy*

i = Indeks untuk masing-masing aturan IF-THEN

α_i = Nilai *Fire Strength* untuk aturan ke- i

z_i = Nilai konsekuen (*output*) untuk aturan ke- i

C. Defuzzifikasi

Tahapan ini mengubah keluaran *fuzzy* yang diperoleh dari mesin inferensi menjadi nilai tegas menggunakan persamaan rata-rata pembobotan yaitu metode *Weighted average* melalui Persamaan (2.5).

2. Optimasi perencanaan produksi dengan MOPSO

Setelah melakukan prediksi permintaan menggunakan FIS Tsukamoto, tahap selanjutnya adalah perencanaan produksi menggunakan MOPSO. Langkah-langkah metode MOPSO adalah sebagai berikut:

a. Inisialisasi

Inisialisasi dilakukan dengan cara menetapkan parameter jumlah iterasi, jumlah partikel, jumlah dimensi, posisi partikel awal, kecepatan awal, parameter r_1 dan r_2 , koefisien akselerasi c_1 dan c_2 , bobot nilai *fitness* W_1 dan W_2 , dan bobot inersia. MOPSO memiliki kecepatan konvergensi terbesar ketika ω antara 0,8 dan 1,2 dengan nilai koefisien akselerasi C_1 dan C_2 umumnya sama, yaitu dalam rentang 0 sampai 4 dan parameter r_1 dan r_2 adalah angka acak yang terdistribusi secara seragam dalam $[0,1]$ (Cholissodin & Riyandani, 2016). Posisi awal partikel dibangkitkan secara acak dalam batas-batas yang ditentukan dengan distribusi seragam menggunakan persamaan berikut:

$$x_{k,j} = x_j^{min} + rand() * (x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (3.3)$$

di mana:

$x_{k,j}$ = Posisi partikel pada partikel ke- k dan dimensi ke- j

x_j^{min} = Batas bawah dari variabel keputusan dimensi ke- j

x_j^{max} = Batas atas dari variabel keputusan dimensi ke- j

$rand()$ = Bilangan acak dalam rentang $[0,1]$

Sedangkan, kecepatan awal partikel biasanya dipilih pada rentang 10% – 20% rentang solusi setiap dimensi agar partikel tidak langsung keluar dari batas pencarian dan tetap eksploratif (Dasheng, 2008).

b. Pengecekan kendala pertama (pemenuhan permintaan)

Langkah pertama yang dilakukan adalah memeriksa setiap partikel di mana setiap dimensinya harus memenuhi kendala pertama yang ditetapkan, yaitu permintaan untuk setiap produk terpenuhi. Jika posisi terbaru dimensi pada partikel melebihi permintaan, maka gunakan posisi terbaru tersebut, jika posisi terbaru kurang dari permintaan maka perlu dilakukan tahapan lebih lanjut agar posisi valid dan memenuhi kendala. Untuk mengatasi agar setiap produk atau dimensi memenuhi permintaan, diperlukan langkah *repair mechanism* yang berfungsi untuk mengubah solusi yang tidak valid menjadi valid (Salcedo-Sanz, 2009). Penerapannya sangat penting untuk memastikan bahwa solusi tetap memenuhi kendala tanpa menghilangkan potensi optimalitasnya. Karena setiap masalah memiliki karakteristik dan batasan yang berbeda, maka mekanisme perbaikan harus disesuaikan berdasarkan kebutuhan spesifik dari permasalahan yang dihadapi. Pada kasus pengecekan kendala pertama, digunakan fungsi maksimum yang merupakan metode untuk menentukan nilai tertinggi dari data terkait. Nilai $x_{k,j}$ akan dibatasi agar tidak kurang dari permintaan (R_j). Konsep ini sering diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk pengolahan data dan analisis statistik, untuk menjaga agar nilai tetap dalam rentang yang diinginkan (Maulid, 2024; Microsoft Support, 2024). Dalam konteks ini, fungsi maksimum dinyatakan secara matematis sebagai:

$$x_{k,j,bounded} = \max(x_{k,j}, R_j) \quad (3.4)$$

di mana:

$x_{k,jbounded}$ = Posisi partikel ke- k dan dimensi ke- j yang memenuhi kendala pertama

$x_{k,j}$ = Posisi partikel ke- k dan dimensi ke- j saat ini

max = Fungsi untuk menentukan nilai maksimum

R_j = Jumlah permintaan untuk setiap dimensi

c. Evaluasi fungsi tujuan

Setelah setiap posisi partikel memenuhi kendala, setiap partikel dievaluasi menggunakan fungsi tujuan meminimumkan total waktu produksi dan mamaksimumkan kapasitas produksi. Evaluasi fungsi tujuan menggunakan metode *Weighted Sum* dengan cara menggabungkan kedua fungsi tujuan menjadi satu fungsi gabungan fungsi tujuan. Kedua fungsi tujuan diselaraskan dan harus memiliki tujuan yang sama yaitu memaksimalkan. Fungsi dengan tujuan meminimalkan akan ditransformasi dengan mengalikan fungsi dengan (-1) , dengan demikian minimisasi pada $f_1(x)$ setara dengan memaksimalkan nilai $-f_1(x)$. Fungsi $f_2(x)$ tidak perlu diubah karena tujuan sudah untuk memaksimalkan. Selanjutnya keduanya di konversi menjadi biaya produksi untuk f_1 dan total harga produk. Setelah kedua fungsi tujuan selaras untuk memaksimalkan dengan satuan yang sama, kedua fungsi dapat digabungkan menjadi satu nilai *fitness* dengan metode *Weighted Sum* dengan persamaan berikut:

$$F(x) = w_1(-f_1(x)) + w_2f_2(x) \quad (3.5)$$

di mana:

w_1 = Bobot fungsi tujuan pertama

w_2 = Bobot fungsi tujuan kedua

$f_1(x)$ = Fungsi tujuan pertama

$f_2(x)$ = Fungsi tujuan kedua

$F(x)$ = Fungsi gabungan *Weighted Sum*

Nilai $w_1, w_2 \geq 0$ dan $w_1 + w_2 = 1$ ditetapkan untuk menjaga skala yang seimbang, mempermudah perbandingan solusi, dan menghindari dominasi satu fungsi tujuan. Selanjutnya keduanya di konversi menjadi biaya produksi untuk f_1 dan total harga produk. Setelah kedua fungsi tujuan selaras untuk

memaksimalkan dengan satuan yang sama, masing-masing nilai $f_1(x)$ dan $f_2(x)$ untuk setiap dimensi pada partikel dijumlahkan dan dievaluasi menggunakan *Weighted Sum*. Fungsi *Weighted Sum* digunakan untuk mengidentifikasi apakah sebuah solusi itu dominan atau tidak (Marler & Arora, 2010).

d. Pengecekan kendala kedua

Setelah melakukan evaluasi fungsi tujuan pada setiap partikel, langkah selanjutnya adalah memastikan bahwa kendala kedua terpenuhi, yaitu waktu total produksi dari setiap produk tidak melampaui waktu produksi maksimum yang ditetapkan. Untuk mencegah munculnya solusi yang tidak valid, penggunaan *repair mechanism* wajib dilakukan (Babaveisi dkk., 2018). Karena setiap permasalahan memiliki karakteristik dan batasan yang berbeda, *repair mechanism* harus disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan spesifik dari permasalahan yang dihadapi. Pada pengecekan kendala kedua, *repair mechanism* dilakukan dengan cara mengurangi jumlah produksi secara bertahap pada produk yang memiliki rasio kontribusi pendapatan per unit produk tertinggi. Rasio kontribusi ini dihitung sebagai perbandingan antara harga jual produk (H_j) dengan jumlah unit yang diproduksi ($x_{k,j}$), secara matematis dapat dinyatakan sebagai:

$$RK_{k,j} = \frac{H_j}{x_{k,j}} \quad (3.6)$$

di mana:

$RK_{k,j}$ = Rasio kontribusi pendapatan per unit produk partikel ke- k dan dimensi ke- j

H_j = Harga jual produk dimensi ke- j

$x_{k,j}$ = Posisi partikel ke- k dan dimensi ke- j saat ini

Prioritas pemilihan dimensi yang dilakukan *repair* dilihat berdasarkan Rasio kontribusi pendapatan per unit produk. Proses *repair* dilakukan dengan melakukan pengurangan satu per satu terhadap nilai (x_j), dimulai dari produk dengan rasio tertinggi, hingga nilai total waktu produksi $f_1(x)$ tidak lagi melebihi batas waktu produksi maksimum yang diizinkan ($T_{\max}$). Setelah setiap melakukan *repair*, fungsi $f_1(x)$ dihitung kembali untuk memastikan

apakah sudah memenuhi batas yang ditentukan. Apabila proses *repair* telah dilakukan pada dimensi dengan rasio kontribusi pendapatan per unit produksi tertinggi hingga jumlah produksinya mencapai batas minimum sesuai dengan permintaan yang diprediksi, namun kendala fungsi tujuan $f_1(x) < T_{max}$ masih belum terpenuhi, maka proses *repair* dilanjutkan pada dimensi dengan rasio tertinggi berikutnya secara berurutan. Hal ini dilakukan sebagai strategi efisiensi biaya produksi, mengingat produk dengan rasio pendapatan tinggi umumnya juga memiliki kontribusi besar terhadap total biaya produksi secara absolut. Oleh karena itu, pengurangan ini dimaksudkan untuk menekan pengeluaran yang berlebih, tanpa mengganggu pemenuhan permintaan yang telah tercapai. Dengan kata lain, meskipun pendapatannya tinggi, tidak ada salahnya dikurangi secara proporsional demi efisiensi total, selama kebutuhan pasar telah terpenuhi dan solusi tetap memenuhi batasan optimasi.

e. Seleksi dominasi

Partikel-partikel dievaluasi apakah satu partikel mendominasi yang lain. Solusi yang tidak terdominasi (*non-dominated solutions*) dinamakan solusi pareto optimal. Setelah menghitung nilai *fitness* untuk setiap partikel, seleksi dominasi dilakukan dengan membandingkan nilai *fitness* satu partikel dengan yang lainnya, partikel dengan nilai *fitness Weighted Sum* paling besar merupakan solusi yang lebih baik atau dinamakan solusi yang tidak terdominasi.

f. Pembentukan *archive*

Archive merupakan suatu struktur data yang dibentuk untuk menyimpan solusi pareto-optimal (kumpulan *non-dominated solutions*), dan akan diupdate secara berkala (Dasheng, 2008).

g. Memperbarui kecepatan partikel

Perbarui kecepatan partikel dengan Persamaan (2.13).

h. Perbarui posisi partikel

Posisi diperbarui untuk setiap partikel berdasarkan kecepatan terbaru dengan Persamaan (2.14).

i. Ulangi Langkah (b) sampai Langkah (e)

j. Perbarui *archive*

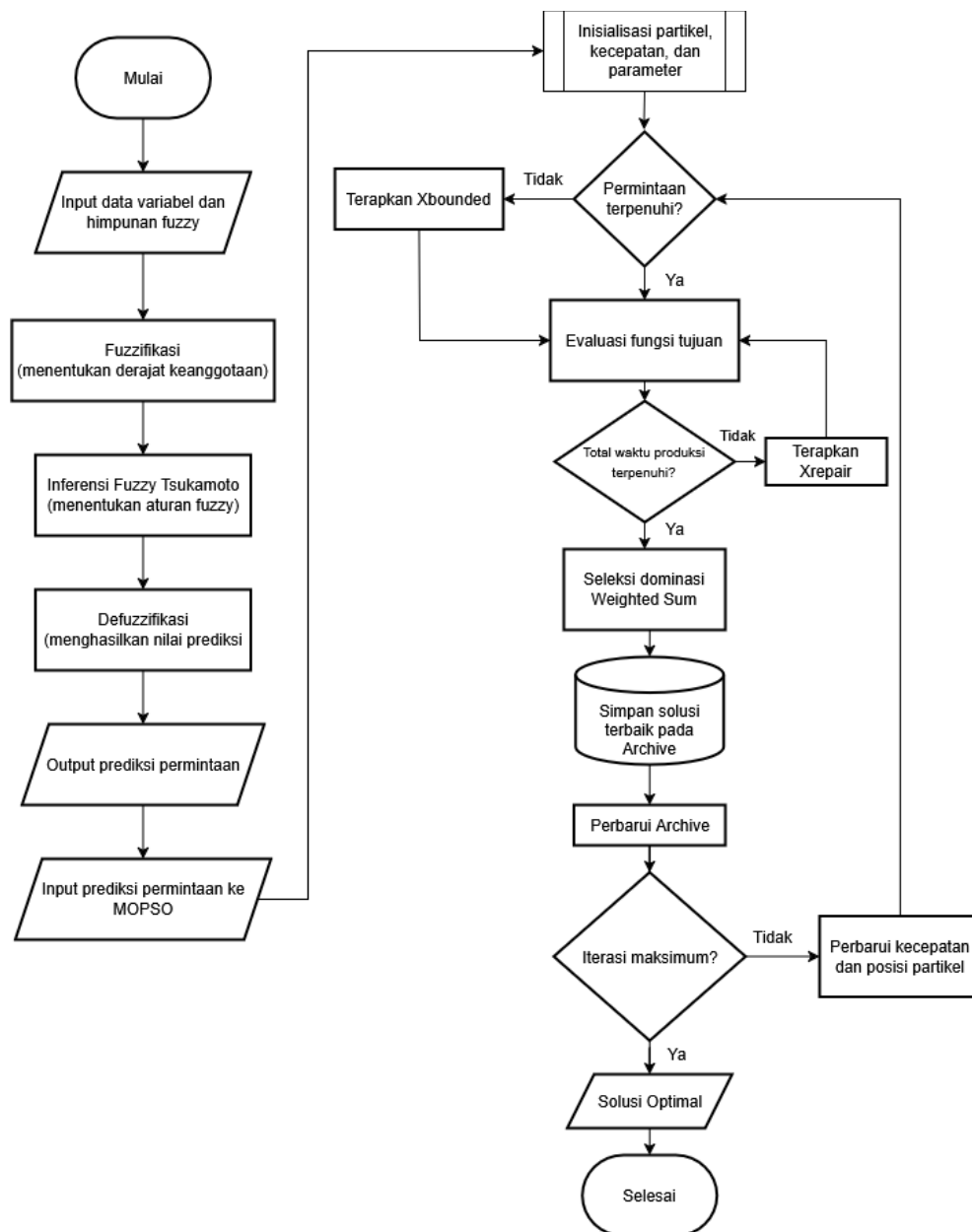
Perbarui *front pareto*, yaitu kumpulan pareto-optimal pada *archive* dengan solusi yang tidak terdominasi terbaru pada setiap partikel. Jika *archive* melebihi kapasitas maksimal, partikel dengan nilai *fitness* terkecil pada *archive* akan dihapus dan diganti dengan yang lebih baik.

k. Kriteria *stop*

Pada setiap iterasi, Langkah (g) sampai Langkah (j) akan di ulang.

Algoritma akan dihentikan jika jumlah iterasi maksimum telah tercapai.

Tahapan perencanaan produksi menggunakan Logika *Fuzzy* Tsukamoto dan MOPSO dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 3 Alur Algoritma MOPSO dan Prediksi Permintaan FIS Tsukamoto