

Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto Untuk Memprediksi Kebutuhan Praproduksi Pengolahan Tempe

Fifto Nugroho^{*}, Anissa Al Fatika Putri Yusup, Maria Fatima Awul, Rosa Angelina Babys

Fakultas Ilmu Komputer, Program Studi Sistem Komputer, Universitas Bung Karno, Jakarta, Indonesia

Email: ¹*fiftonugroho@ubk.ac.id, ²anissaalfatika76@gmail.com, ³mariaawul21@gmail.com, ⁴rhosababys29@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: fiftonugroho@ubk.ac.id

Submitted: 08/03/2023; Accepted: 31/03/2023; Published: 31/03/2023

Abstrak—Sebagai makanan pokok di Indonesia, orang-orang dari berbagai latar belakang sosial ekonomi menikmati tempe. Karena popularitas tempe dan harganya yang murah, manfaatnya bagi kesehatan telah diakui secara luas. Produksi tempe masih didominasi oleh usaha rumahan. Karena permintaan yang terus meningkat, para pengusaha tempe Jakasampurna, di wilayah Bekasi Barat, harus mengimbangi laju produksi yang efisien dengan menjaga kualitas tempe tetap terbaik. Dampak yang terjadi saat praproduksi terkait pembelian bahan dasar pembuat tempe menyebabkan kurang ketersediaan bahan dasar tempe bahkan selisih terlalu besar risiko bahan terbuang. Penelitian yang dilakukan dimaksudkan untuk membantu usaha mikro produsen tempe memperoleh efisiensi saat memproses pengolahan tempe, dengan menawarkan saran manajemen dan produksi berdasarkan data valid yang diberikan. Penelitian ini menggunakan sistem inferensi fuzzy berdasarkan teknik tsukamoto. Percakapan mendalam dan observasi langsung di pabrik tempe, memberikan sumber data informasi untuk dilakukan penghitungan. Penelitian ini mengkaji peran dari tiga (3) variabel-permintaan (X), persediaan (Y), dan output (Z)-dalam proses pengolahan dan produksi tempe (Z). Dalam situasi di mana nilai X (permintaan) dan Y (persediaan) tidak pasti, dan Z (output) dapat naik atau turun, ini berarti ketiga variabel tersebut memberikan hasil ketidakpastian tidak cukup besar, maka hasil pada himpunan fuzzy ada yang naik dan turun pada stok (Y). Produksi (Z) terdiri dari kelompok fuzzy banyak dan sedikit. Jumlah output tempe yang diprediksi, jika diketahui pada data dengan permintaan sebesar 1595 dan stok yang ada sebesar 85, maka yang akan diproduksi adalah sejumlah 1770, dengan demikian laju produksi menjadi efisien dengan terus mengikuti jumlah produksi yang direkomendasikan, maka kecil risiko penumpukan penyimpanan bahan dasar karena yang digunakan adalah sesuai permintaan dan penggunaan bahan dasar kedelai pun selalu segar.

Kata Kunci: Prediksi Praproduksi; Logika Fuzzy; Tsukamoto; Produsen Tempe; Sistem Inferensi Fuzzy

Abstract—As a staple food in Indonesia, people from various socio-economic backgrounds enjoy tempeh. Due to the popularity of tempeh and its low price, its health benefits have been widely recognized. Tempe production is still dominated by home-based businesses. Due to the ever-increasing demand, the Jakasampurna tempeh entrepreneurs, in the West Bekasi region, must balance the efficient production rate by maintaining the best quality of tempeh. The impact that occurs during pre-production related to the purchase of raw materials for making tempeh causes a lack of availability of basic ingredients for tempeh, even the difference is too large, the risk of ingredients being wasted. The research is intended to help micro business tempeh producers gain efficiency when processing tempeh, by offering management and production advice based on the valid data provided. This study uses a fuzzy inference system based on the Tsukamoto technique. In-depth conversations and direct observations at the tempe factory, provide sources of information data for calculations. This study examines the role of three (3) variables-demand (X), supply (Y), and output (Z)-in the processing and production of tempeh (Z). In a situation where the value of X (demand) and Y (supply) is uncertain, and Z (output) can go up or down, this means that the three variables give results where the uncertainty is not considerable enough. The results on the fuzzy set go up and down at stock (Y). Production (Z) consists of many and few fuzzy groups. The predicted amount of tempeh output, if it is known from the data with a demand of 1595 and an existing stock of 85, then a total of 1770 will be produced, thus the production rate becomes efficient by continuing to follow the recommended production amount, then there is little risk of accumulation of basic material storage because what is used is according to demand and the use of soy-based ingredients is always fresh.

Keywords: Preproduction Predictions; Fuzzy Logic; Tsukamoto; Tempeh Manufacturer; Fuzzy Inference System

1. PENDAHULUAN

Dalam menu makanan orang Indonesia, kedelai dan produk olahannya seperti tempe, tahu, kecap, sari kedelai, dan taoge merupakan sumber protein yang penting. Masyarakat Indonesia masih mengonsumsi lebih dari sembilan puluh lima persen kedelai dalam bentuk tempe dan tahu. Sisa dari kedelai mereka tersedia dalam bentuk olahan, termasuk sari kedelai, kecap, taoge, tempe, kecap, dan tepung, selain dalam bentuk alami. Tempe merupakan makanan pokok Indonesia yang dikonsumsi oleh hampir semua orang. Selain harganya yang murah, manfaat tempe bagi kesehatan membuatnya menjadi makanan yang populer di masyarakat. Mayoritas produksi tempe masih dilakukan dalam skala kecil di rumah-rumah penduduk. Hampir di setiap kota metropolitan di Indonesia memiliki fasilitas produksi tempe kedelai. Karena memburuknya nilai tukar rupiah terhadap mata uang asing, yang menyebabkan harga kedelai naik, tempe baru-baru ini menjadi isu nasional. Hal ini berdampak negatif bagi produsen tempe, karena harga bahan baku meningkat dan mereka juga harus bersaing dengan produsen tempe lainnya [1]. Karena persaingan dan meningkatnya biaya bahan baku, produsen tempe harus segera menentukan berapa banyak tempe yang harus mereka produksi. Dengan demikian, mereka dapat menyusun rencana atau strategi untuk memasarkan barang yang mereka produksi [2].

Biji kedelai yang berwarna kuning, ukuran biji yang besar, dan kulit biji yang tipis banyak diminati oleh produsen tempe karena menghasilkan tempe yang berwarna-warni dan berukuran besar (mekar). Kualitas tempe didasarkan pada ukuran biji yang digunakan dalam proses pembuatannya, yang berkorelasi positif dengan jumlah

tempe yang dihasilkan. Ada beberapa keuntungan menggunakan kedelai asing oleh produsen tempe, termasuk biaya produksi yang lebih rendah, akses pasar yang lebih luas, keseragaman kualitas warna dan ukuran biji yang lebih baik, serta lebih sedikit kontaminan. Hasil produksi tempe yang terbuat dari kedelai lokal biasanya 25% lebih rendah dibandingkan dengan kedelai impor karena ukuran biji kedelai lokal yang lebih kecil hingga sedang. Selain itu, kedelai lokal biasanya berada dalam kondisi yang kurang bersih dan membutuhkan pengayakan kedua, yang menambah waktu dan biaya dalam proses produksi sekaligus mengurangi hasil per unit berat [3].

Sejak depresiasi rupiah terhadap mata uang asing menyebabkan harga kacang-kacangan, bahan baku tempe, meroket, masalah ini menjadi masalah nasional. Karena meningkatnya biaya bahan baku dan meningkatnya persaingan dari pengolah tempe lainnya, hal ini menjadi berita buruk bagi industri tempe secara keseluruhan. Sebagai akibat dari meningkatnya biaya tenaga kerja dan material, produsen tempe harus memiliki gambaran yang baik tentang berapa banyak produk yang akan mereka buat jauh sebelum tanggal produksi yang sebenarnya. Ada korelasi langsung antara jumlah penggemar tempe di suatu daerah dan pertumbuhan bisnis tempe di sana; biasanya, pertumbuhan ini berbentuk UKM yang melayani penduduk lokal. Fungsi usaha kecil dan menengah dalam perekonomian sangatlah penting meningkatkan ekonomi lokal dengan menyediakan kesempatan kerja, dapat membantu pemerintah Indonesia dalam upaya menurunkan tingkat pengangguran yang tinggi di negara ini. Usaha kecil dan menengah Indonesia memiliki kemampuan yang penting, salah satunya sebagai penyumbang pertumbuhan ekonomi [4]. Dari pernyataan ini jelas bahwa kehadiran UKM memungkinkan terciptanya lapangan kerja baru, yang pada gilirannya mengurangi pengangguran dan memastikan banyak orang menerima gaji secara teratur. Lebih dari sembilan puluh tujuh persen populasi tenaga kerja terjebak dalam usaha mikro, kecil, dan menengah [5].

Penelitian terkait pengendalian persediaan bahan produksi, Taufiq [6] membahas penentuan jumlah produksi menggunakan metode *fuzzy* tsukamoto, dalam penelitiannya dibuktikan dengan tabel perbandingan antara perhitungan manual dengan perhitungan sistem, dan didapatkan hasil persentase kebenaran dari sistem ini adalah sebesar 96%. Sedangkan Nasution [7], dalam penelitiannya membuat optimasi produksi barang menggunakan logika *fuzzy* dengan metode mamdani, dimana faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan jumlah produk, antara lain permintaan dan persediaan periode lama saja, sedangkan Kusuma [8], dalam pembahasan pengendalian persediaan bahan baku dalam menentukan jumlah produksi seragam menggunakan metode *fuzzy* tsukamoto, proses pengujiannya dilakukan secara obyektif dimana diuji secara langsung ke lapangan hanya dengan mengisi kuesioner, dan Prayogi [9], membahas penentuan jumlah produksi nanas menggunakan metode *fuzzy* tsukamoto, dengan menampilkan keluaran (*output*) berupa jumlah yang akan diproduksi dengan perolehan nilai kesalahan peramalan yang kecil yaitu 0,0607 %, dan penelitian Hajar [10], melakukan prediksi dalam perhitungan jumlah produksi tahu dengan teknik *fuzzy* sugeno, variabel persediaannya terdiri dari sedikit, sedang, banyak dan variabel produksi terdiri dari berkurang, lumayan dan bertambah, hasil data pengujiannya terdapat selisih *error* sebesar 0,19%.

Perencanaan penelitian ini memiliki perbedaan dari penelitian sebelumnya yang termasuk pada variabel *output* maksimum dan produksi minimum, maka metode *Fuzzy Mamdani*, *Fuzzy Sugeno*, dan *Fuzzy Tsukamoto* pada contoh referensi dapat digunakan untuk membandingkan hasil. Metode tsukamoto dipilih menjadi optimal untuk perencanaan produksi jenis harian untuk menemukan nilai *error* berkurang (sangat kecil) dan hasil perhitungan nilai keakuratan lebih tepat menggunakan *Fuzzy* tsukamoto dibandingkan dengan metode *fuzzy* lainnya. Logika *fuzzy* adalah ilmu yang mempelajari tentang ambiguitas [11]. Terdapat konsensus umum bahwa logika *fuzzy* bersifat akomodatif terhadap informasi yang telah dikumpulkan sebelumnya dan dapat menangani ambiguitas. Sebuah model sistem yang mampu menghasilkan estimasi *output* akan dikembangkan dengan menggunakan logika *fuzzy* [12]. Logika *fuzzy* memperhitungkan penawaran dan permintaan ketika menentukan *output*. Hasilnya, logika *fuzzy* Tsukamoto dapat digunakan sebagai metode alternatif penyelesaian masalah tanpa perlu membangun infrastruktur baru untuk menentukan tingkat produksi tempe sesuai rekomendasi perhitungan yang dibutuhkan produsen tempe memenuhi permintaan konsumen.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Dilakukannya penelitian ini di Jakasampurna, sebuah kelurahan di Kecamatan Pulo Gede, Kota Bekasi, Bekasi Barat, Jawa Barat. Metode yang digunakan adalah *Fuzzy* Tsukamoto. Di Pabrik Tempe Pak Kiki di Jakasampurna, Bekasi Barat, kami melakukan wawancara mendalam dan melakukan observasi langsung untuk mengumpulkan data. Lokasi penelitian ini berada di dusun Pulo Gede di kota Bekasi di provinsi Jawa Barat. Pabrik Tempe adalah tempat wawancara ekstensif dan investigasi lapangan milik pak Kiki di Jakasampurna.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

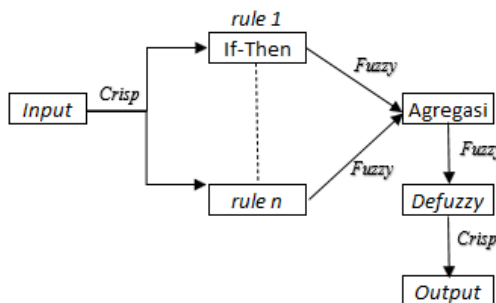
Terdapat enam tahapan penelitian yang akan dilakukan seperti pada gambar 1, yang pertama dengan cara mendefinisikan tujuan untuk memprediksi jumlah produksi tempe dengan meminimalisir kelebihan jumlah persediaan

terlalu tinggi, dan lanjut pada tahap kedua yaitu desain penelitian dengan mempelajari peran-peran yang terlibat pada area penelitian untuk mengisi variabel-variabel kebutuhan analisis data, tahapan ketiga mencari perbandingan pada penelitian-penelitian terdahulu yang relevan, tahap keempat adalah tahapan pengumpulan data yang diperlukan untuk tahapan kelima yaitu proses analisis data-data yang ditemukan sebagai bahan perhitungan dengan metode model *fuzzy* Tsukamoto, dan kemudian pada tahap akhir yang keenam yaitu memberikan kesimpulan.

2.2 Logika Fuzzy

Penalaran *fuzzy* yang rumit dan menjengkelkan adalah sesuatu yang dihindari dalam segala situasi. Jika seseorang belajar tentang penalaran *fuzzy* untuk pertama kalinya, mereka mungkin akan sangat skeptis pada awalnya. Terlepas dari kenyataan bahwa ide logika *fuzzy* sudah ada sejak lama, dalam beberapa tahun terakhir, ilmu logika *fuzzy* yang modern dan metodis telah ditemukan [13]. Masuk akal untuk mengubah ruang input menjadi ruang output dengan menggunakan logika yang tidak tepat. Logika *fuzzy* adalah subbidang AI yang mensimulasikan proses berpikir manusia dengan membangun algoritme komputer yang dapat dieksekusi [14]. Dalam berbagai aplikasi pemrosesan data non-biner, algoritme ini diimplementasikan. Pernyataan yang membingungkan dapat dibuat diberikan interpretasi logis menggunakan logika *fuzzy* [15].

Logika klasik bersifat biner (0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak); Logika Boleaan memperbaiki hal ini dengan memperkenalkan gagasan tentang kebenaran parsial. Istilah "inferensi *fuzzy*" mengacu pada penggunaan penalaran *fuzzy* dalam proses merumuskan pemetaan dari input ke *output* [16]. *Fuzzy Logic Toolbox* memungkinkan pengguna untuk membuat sistem inferensi *fuzzy* tipe Mamdani dan Sugeno. Peneliti dalam penelitian ini, metode Tsukamoto dikombinasikan dengan logika *fuzzy* untuk menghasilkan kesimpulan yang lebih tepat. Metode model Tsukamoto adalah perluasan pada penalaran yang monoton karena setiap aturan konsekuensi berbentuk *IF-THEN* harus dipresentasikan pada suatu himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang monoton (*fire strength*) [17]. Penelitian seperti ini seharusnya juga dapat membantu dalam pembuatan tempe. Peneliti ini akan mempermudah pabrik tempe dalam menetapkan target produksi dengan menggunakan teknik logika *fuzzy* model Tsukamoto. Untuk memastikan bahwa kesenjangan antara permintaan konsumen dan *output* industri ditutup secara permanen [18].



Gambar 2. Diagram *Fuzzy Inference System (FIS)*

Sistem inferensi *fuzzy* yakni suatu kerangka komputasi yang didasari oleh teori himpunan *fuzzy*, aturan *fuzzy* dengan bentuk *If-Then*, dan penalaran *fuzzy* [19]. Diagram blok setiap proses inferensi *fuzzy* terlihat pada Gambar 2. Sistem inferensi *fuzzy* yang menerima masukan (*input*) *crisp*, kemudian dikirim ke basis pengetahuan yang berisi aturan-aturan *fuzzy* bentuk *If-Then*. *Fire strength* atau pada nilai keanggotaan anteseden (α) akan dicari pada setiap aturan-aturannya, jika aturan melebihi dari satu, maka dilakukan agregasi untuk keseluruhan aturan. Tahapan lanjutan untuk memperoleh hasil agregasi akan dilakukan *defuzzy* supaya mendapatkan nilai *crisp* sebagai luaran (*output*) sistem. Metode *Fuzzy Inference System (FIS)* yang bisa digunakan untuk menemukan nilai *error* yang kecil dengan metode Tsukamoto [20]. Sebagai ilustrasi, anggap saja x dan y adalah input dan z adalah hasilnya. Himpunan $A1$ dan $A2$ adalah himpunan bagian dari variabel x . Ada dua kelompok untuk variabel y , dinotasikan $B1$ dan $B2$, dan dua kelompok, dinotasikan $C1$ dan $C2$, untuk variabel z , yang memerlukan monotonitas dalam koleksi $C1$ dan $C2$. Mengingat dua prinsip ini:

$$IF\ x\ is\ A1\ and\ y\ is\ B2\ Then\ z\ is\ C1 \tag{1}$$

$$IF\ x\ is\ A2\ and\ y\ is\ B1\ Then\ z\ is\ C2 \tag{2}$$

Untuk skenario pertama (a1), nilai yang diprediksi adalah a2, dan untuk skenario kedua (a2), nilainya adalah a3. Nilai aturan pertama untuk $z1$ dan nilai aturan kedua untuk $z2$ ditentukan dengan menggunakan logika monoton.

2.2.1 Fuzzifikasi

Istilah "fuzzifikasi" mengacu pada proses penggunaan fungsi keanggotaan dari basis pengetahuan *Fuzzy* untuk mengubah input dengan nilai yang keras menjadi variabel bahasa [21]. Sebagai bagian dari input yang ambigu, fuzzifikasi memodifikasi nilai yang dimasukkan sebelumnya sehingga tidak memiliki nilai kebenaran absolut (*Crisp Input*) [22].

2.2.2 Inferensi

Menggunakan kombinasi data *fuzzy* dan aturan *fuzzy* yang telah ditentukan sebelumnya, untuk sampai pada kesimpulan yang masuk akal, disebut penalaran *fuzzy* [23]. Contoh tata bahasa aturan *fuzzy* adalah sebagai berikut:

$$IF \text{ antecedent } THEN \text{ Consequent} \tag{3}$$

2.2.3 Defuzzifikasi

Dengan menyesuaikan nilai *fuzzy* keluaran, defuzzifikasi menghasilkan nilai crisp yang sesuai dengan fungsi keanggotaan yang telah ditetapkan. Prosedur *defuzzy* mengambil dengan mengasumsikan koleksi *fuzzy* sebagai input, dibangun menggunakan kombinasi aturan *fuzzy*, dan sebagai output berupa angka yang berada dalam domain himpunan *fuzzy* tersebut. Untuk mendapatkan hasil yang berarti, nilai *crisp* harus diterapkan pada koleksi *fuzzy* yang memiliki rentang tertentu [24].

$$Z = \frac{(\alpha - \text{predikat1} * Z1) + (\alpha - \text{predikat2} * Z2) + \dots + (\alpha - \text{predikatn} * Zn)}{\alpha - \text{predikat1} + \alpha - \text{predikat2} + \dots + \alpha - \text{predikatn}} \tag{4}$$

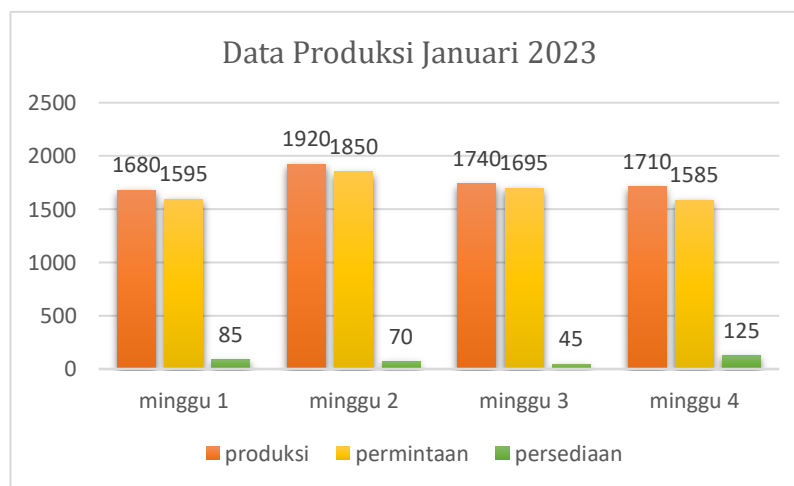
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setiap aspek produksi tempe, mulai dari pembuatan adonan dan pencetakan hingga pengemasan, dilakukan setiap hari di Usaha Tempe Pak Kiki. Satu lonjor dapat dijadikan sebagai 5 tempe. Proses pembuatan tempe dilakukan selama 3 hari. Setiap 3 hari, tempe yang sudah dikemas akan disalurkan ke para pedagang di pasar Kranji. Wawancara dan catatan dari pabrik tempe lokal menjadi sumber utama untuk statistik produksi ini. Pak Kiki mengatakan bahwa cuaca sangat berpengaruh dalam produksi tempe, jika cuaca cerah dia bisa membuat tempe sebanyak 62 lonjor dan jika sedang hujan, dia hanya produksi sebanyak 30 lonjor saja. Catatan produksi dari Januari 2023 sedang dianalisis. Data dibuat per minggu supaya mudah untuk mendatanya. Data produksi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Produksi Pengolah Tempe

Tanggal	Produksi	Permintaan	Persediaan
01-07	1.680	1.595	85
08-14	1.920	1.850	70
15 - 21	1.740	1.695	45
22 - 31	1.710	1.585	125

Dari data bulan Januari 2023, produksi terbesar mencapai 1.920 tempe per minggu dan produksi terkecil mencapai 1.680 tempe per minggu, permintaan tertinggi mencapai 1.850 tempe per minggu dan permintaan terendah mencapai 1.585 tempe per minggu. Untuk membantu usaha tempe pak Kiki menetapkan *input* dan *output* yang merupakan prasyarat untuk menghitung *output* menggunakan metode *fuzzy*. Kisaran dari nilai terendah hingga nilai tertinggi dari sebuah variabel ambigu merupakan semesta linguistiknya. Selain itu, variabel *fuzzy* akan disertai dengan himpunan *fuzzy*, yang masing-masing memiliki batas minimal dan maksimal (domain himpunan *fuzzy*). Data produksi dapat dilihat dalam bentuk *chart*, seperti gambar 3 di bawah.



Gambar 3. Chart Produksi Januari 2023

Pada titik ini, fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* digunakan untuk mencari nilai keanggotaan pada himpunan penawaran dan permintaan yang ada. Pembacaan tertinggi dan terendah yang mungkin terjadi pada bulan Januari 2023 digunakan untuk perhitungan ini. Variabel permintaan, variabel persediaan, dan variabel manufaktur semuanya termasuk dalam kelompok variabel ini. Masalah prediksi produksi UD membutuhkan pendekatan multi-cabang, termasuk Tempe Puji yang berbasis Tsukamoto. Penting untuk memiliki representasi untuk tiga variabel yang ambigu:

permintaan, inventaris, dan *output*. Penulis menggunakan tiga variabel yang disajikan pada Tabel 2 untuk menentukan variabel yang bersifat ambigu.

Tabel 2. Variabel *Fuzzy*

Variabel	Keterangan
Permintaan	X
Persediaan	Y
Produksi	Z

Diketahui :

Dalam aktifitas pada perusahaan dua faktor *input*, variabel permintaan, dan variabel persediaan dipertimbangkan, sementara hanya satu variabel *output*-produksi barang-yang dipertimbangkan. Ada dua kemungkinan interpretasi untuk variabel permintaan: naik atau turun. Demikian pula, ada dua kemungkinan interpretasi untuk variabel persediaan: banyak atau sedikit. Demikian pula, ada dua kemungkinan interpretasi untuk variabel produksi barang: naik atau turun.

Permintaan tertinggi = 1850 Persediaan Tertinggi = 125 Produksi Tertinggi = 1920

Permintaan Terendah = 1585 Persediaan Terendah = 45 Produksi Terendah = 1680

Berdasarkan Data :

Hitunglah *output* bisnis dengan menggunakan pendekatan tsukamoto, dengan permintaan sebesar 1.595 dan persediaan sebesar 85.

Penyelesaian :

Ada beberapa tahap yang terlibat ketika melakukan metode Tsukamoto secara manual. Definisi variabel *fuzzy*, penalaran, dan defuzzifikasi (menentukan keluaran tegas).

a. Mendefinisikan variabel

1. Variabel Permintaan terdiri atas 2 himpunan *fuzzy*, yaitu TURUN dan NAIK. Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* TURUN dan NAIK:

$$\mu_{\text{Pmt TURUN}} [X] = \begin{cases} 1 & X \leq X_{\text{min}} \\ \frac{X_{\text{max}} - X}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}} & X_{\text{min}} \leq X \leq X_{\text{max}} \\ 0 & X \geq X_{\text{max}} \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{\text{Pmt NAIK}} [X] = \begin{cases} 0 & X \leq X_{\text{min}} \\ \frac{X - X_{\text{min}}}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}} & X_{\text{min}} \leq X \leq X_{\text{max}} \\ 1 & X \geq X_{\text{max}} \end{cases} \quad (6)$$

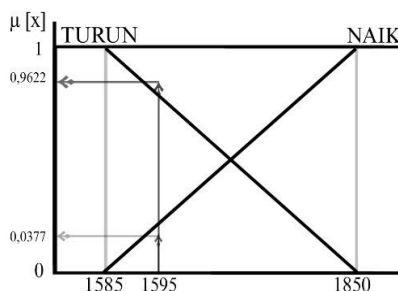
Mendapatkan angka keanggotaan set variabel Permintaan BAWAH dan ATAS dapat dilakukan dengan: X : 1595 (gambar 4).

$$\mu_{\text{Pmt TURUN}} [1595] = \begin{cases} 1 & X \leq 1585 \\ \frac{1850 - 1595}{1850 - 1585} & 1585 \leq X \leq 1850 \\ 0 & X \geq 1850 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Pmt TURUN}} [1595] = 255/265 = 0,9622$$

$$\mu_{\text{Pmt NAIK}} [1595] = \begin{cases} 0 & X \leq 1585 \\ \frac{1595 - 1585}{1850 - 1585} & 1585 \leq X \leq 1850 \\ 1 & X \geq 1850 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Pmt NAIK}} [1595] = 10/265 = 0,0377$$



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Variabel Permintaan

2. Variabel Persediaan termasuk pasangan *fuzzy* SEDIKIT dan BANYAK. Algoritma keanggotaan himpunan *fuzzy* untuk himpunan SEDIKIT dan BANYAK:

$$\mu_{\text{Psd SEDIKIT}} [Y] = \begin{cases} 1 & Y \leq Y_{\min} \\ \frac{Y_{\max} - Y}{Y_{\max} - Y_{\min}} & Y_{\min} \leq Y \leq Y_{\max} \\ 0 & Y \geq Y_{\max} \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{\text{Psd BANYAK}} [Y] = \begin{cases} 0 & Y \leq Y_{\min} \\ \frac{Y - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} & Y_{\min} \leq Y \leq Y_{\max} \\ 1 & Y \geq Y_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

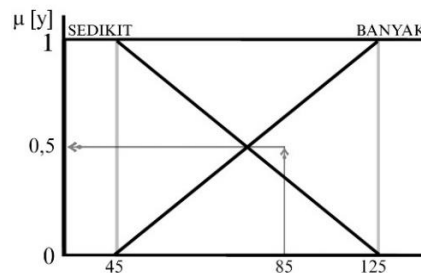
Nilai keanggotaan himpunan SEDIKIT dan BANYAK dari variable Persediaan bisa dicari dengan: $Y = 85$ (gambar 5).

$$\mu_{\text{Psd SEDIKIT}} [85] = \begin{cases} 1 & Y \leq 45 \\ \frac{125 - 85}{125 - 45} & 45 \leq Y \leq 125 \\ 0 & Y \geq 125 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Psd SEDIKIT}} [85] = 40/80 = 0,5$$

$$\mu_{\text{Psd BANYAK}} [85] = \begin{cases} 0 & Y \leq 45 \\ \frac{85 - 45}{125 - 45} & 45 \leq Y \leq 125 \\ 1 & Y \geq 125 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Psd BANYAK}} [85] = 40/80 = 0,5$$



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Variabel Persediaan

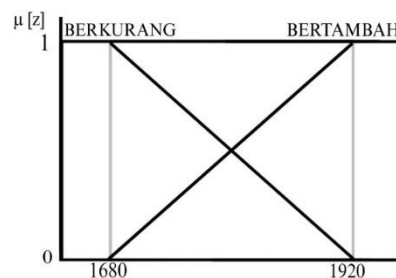
3. Variabel Produksi terdiri dari 2 himpunan *fuzzy*, yaitu BERKURANG dan BERTAMBAH. Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* BERKURANG dan BERTAMBAH (gambar 6) :

$$\mu_{\text{Pr BERKURANG}} [Z] = \begin{cases} 1 & Z \leq Z_{\min} \\ \frac{Z_{\max} - Z}{Z_{\max} - Z_{\min}} & Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max} \\ 0 & Z \geq Z_{\max} \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{\text{Pr BERTAMBAH}} [Z] = \begin{cases} 0 & Z \leq Z_{\min} \\ \frac{Z - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}} & Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max} \\ 1 & Z \geq Z_{\max} \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{\text{Pr BERKURANG}} = 1680$$

$$\mu_{\text{Pr BERTAMBAH}} = 1920$$



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Variabel Produksi

b. Inferensi

Berdasarkan apa yang telah dikatakan di atas, kita dapat menghasilkan empat himpunan *fuzzy*: permintaan rendah, permintaan tinggi, sedikit persediaan, banyak persediaan, *output* rendah, dan produksi tinggi. Mencapai empat aturan ambigu berikut ini:

[R1] JIKA Permintaan TURUN, dan Persediaan BANYAK, MAKA Produksi Barang BERKURANG.



[R2] JIKA Permintaan TURUN, dan Persediaan SEDIKIT, MAKA Produksi Barang BERKURANG.

[R3] JIKA Permintaan NAIK, dan Persediaan BANYAK, MAKA Produksi Barang BERTAMBAH.

[R4] JIKA Permintaan NAIK, dan Persediaan SEDIKIT, MAKA Produksi Barang BERTAMBAH.

Empat aturan *fuzzy* yang tercantum di atas digunakan untuk menghitung angka dan z untuk setiap aturan. Metode untuk mentransformasikan keempat prinsip tersebut ke dalam z dan nilai masing-masing.

[R1] JIKA Permintaan TURUN, dan Persediaan BANYAK, MAKA Produksi Barang BERKURANG;

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \mu_{\text{Pmt TURUN}} [X] \cap \text{Psd BANYAK} [Y] \\ &= \min (\mu_{\text{Pmt TURUN}} [1595] , \text{Psd BANYAK} [85]) \\ &= \min ([0,9622] , [0,5]) \\ &= 0,5 \end{aligned}$$

Produksi Barang KURANG, sebagaimana ditentukan oleh peran keanggotaannya pada persamaan di atas maka diperoleh persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \frac{Z_{\max} - Z_1}{Z_{\max} - Z_{\min}} &= \alpha_1 \\ Z_1 &= Z_{\max} - \alpha_1(Z_{\max} - Z_{\min}) \\ Z_1 &= 1920 - 0,5 (1920 - 1680) \\ Z_1 &= 1920 - 120 \\ Z_1 &= 1800 \end{aligned}$$

[R2] JIKA Permintaan TURUN, dan Persediaan SEDIKIT, MAKA Produksi Barang BERKURANG;

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \mu_{\text{Pmt TURUN}} [X] \cap \text{Psd SEDIKIT} [Y] \\ &= \min (\mu_{\text{Pmt TURUN}} [1595] , \text{Psd SEDIKIT} [85]) \\ &= \min ([0,9622] , [0,5]) \\ &= 0,5 \end{aligned}$$

Ekspresi berikut ini diturunkan dari ekspresi di atas dengan menerapkan fungsi keanggotaan pada himpunan Produksi Barang KURANG..

$$\begin{aligned} \frac{Z_{\max} - Z_2}{Z_{\max} - Z_{\min}} &= \alpha_2 \\ Z_2 &= Z_{\max} - \alpha_2(Z_{\max} - Z_{\min}) \\ Z_2 &= 1920 - 0,5 (1920 - 1680) \\ Z_2 &= 1920 - 120 \\ Z_2 &= 1800 \end{aligned}$$

[R3] JIKA Permintaan NAIK, dan Persediaan BANYAK, MAKA Produksi Barang BERTAMBAH;

$$\begin{aligned} \alpha_3 &= \mu_{\text{Pmt NAIK}} [X] \cap \text{Psd BANYAK} [Y] \\ &= \min (\mu_{\text{Pmt NAIK}} [1595] , \text{Psd BANYAK} [85]) \\ &= \min ([0,0377] , [0,5]) \\ &= 0,5 \end{aligned}$$

Menurut fungsi keanggotaan himpunan Produksi Barang BERTAMBAH pada persamaan di atas maka diperoleh persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \frac{Z_{\max} - Z_3}{Z_{\max} - Z_{\min}} &= \alpha_3 \\ Z_3 &= \alpha_3(Z_{\max} - Z_{\min}) + Z_{\min} \\ Z_3 &= 0,5 (1920 - 1620) + 1620 \\ Z_3 &= 120 + 1620 \\ Z_3 &= 1740 \end{aligned}$$

[R4] JIKA Permintaan NAIK, dan Persediaan SEDIKIT, MAKA Produksi Barang BERTAMBAH;

$$\begin{aligned} \alpha_4 &= \mu_{\text{Pmt NAIK}} [X] \cap \text{Psd SEDIKIT} [Y] \\ &= \min (\mu_{\text{Pmt NAIK}} [1595] , \text{Psd SEDIKIT} [85]) \\ &= \min ([0,0377] , [0,5]) \\ &= 0,5 \end{aligned}$$

Menurut fungsi keanggotaan himpunan Produksi Barang BERTAMBAH pada persamaan di atas maka diperoleh persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \frac{Z_{\max} - Z_4}{Z_{\max} - Z_{\min}} &= \alpha_4 \\ Z_4 &= \alpha_4(Z_{\max} - Z_{\min}) + Z_{\min} \\ Z_4 &= 0,5(1920 - 1620) + 1620 \\ Z_4 &= 120 + 1620 \\ Z_4 &= 1740 \end{aligned}$$

c. Defuzifikasi

Pada metode tsukamoto, untuk menentukan *output crisp*, digunakan defuzifikasi rata-rata terpusat, yaitu :

$$Z = \frac{(\alpha_1 * z_1) + (\alpha_2 * z_2) + (\alpha_3 * z_3) + (\alpha_4 * z_4)}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4} \quad (11)$$

$$Z = \frac{(0,5 \cdot 1800) + (0,5 \cdot 1800) + (0,5 \cdot 1740) + (0,5 \cdot 1740)}{0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5}$$

$$Z = \frac{3540}{2}$$

$$Z = 1770$$

Perkiraan produksi tempe adalah 1770, berdasarkan perkiraan permintaan sebesar 1595 dan persediaan yang ada sebesar 85.

4. KESIMPULAN

Melalui penerapan teknik logika *fuzzy* model Tsukamoto, penelitian ini akan membantu proses pembuatan tempe terkait perencanaan praproduksi pembuatan tempe menjadi terencana dan lebih baik dari operasional sebelumnya. Untuk memastikan bahwa kesenjangan antara permintaan konsumen dan *output* hasil produksi menjadi stabil. Menurut temuan, teknik *fuzzy* Tsukamoto adalah yang efektif untuk menyelesaikan masalah peramalan *output* praproduksi tempe di masa depan. Dengan menyesuaikan tingkat permintaan (*X*), penawaran (*Y*), dan *output* (*Z*). Sejauh preferensi pelanggan (*X*) dicirikan oleh himpunan *fuzzy* yang bersifat ambigu, himpunan *fuzzy* ada yang naik dan turun pada stok (*Y*). Produksi (*Z*) terdiri dari kelompok *fuzzy* banyak dan sedikit. Jumlah *output* tempe yang diprediksi, jika dengan permintaan sebesar 1595 dan stok yang ada sebesar 85, maka yang diproduksi adalah 1770. Temuan ini akan membantu produsen tempe mengantisipasi terkait penggunaan bahan dasar tempe untuk meningkatkan kualitas tempe terbaik hanya dengan menggunakan bahan dasar yang selalu segar bukan dalam penyimpanan yang terlalu lama, yang akan berdampak pada kualitas tempe menjadi kurang baik untuk dipasarkan.

REFERENCES

- [1] R. Krisdiana dan others, "Preferensi industri tahu dan tempe terhadap ukuran dan warna biji kedelai," 2018.
- [2] S. N. S. Nurmuslimah, "Aplikasi Fuzzy Logic Mamdani Untuk Menghitung Jumlah Produksi Tempe," in Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan, 2016, hal. 33–40.
- [3] A. Alvina dan D. H. Hamdani, "Proses Pembuatan Tempe Tradisional," J. Ilm. Pangan Halal, vol. 1, no. 1, 2019.
- [4] A. Prasetyo, E. Hartoyo, dan others, "Analisis Resiko Usaha Industri Tempe Di Kota Surakarta," J. Ilm. Agrineca, vol. 21, no. 2, hal. 84–90, 2021.
- [5] L. Hanim, E. Soponyono, dan M. Maryanto, "Pengembangan UMKM Digital di Masa Pandemi Covid-19," in Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat, 2021, vol. 2, no. 1, hal. 30–39.
- [6] R. Taufiq, "Rancang Bangun Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Jumlah Produksi Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto," J. Tek., vol. 8, no. 1, 2019.
- [7] V. M. Nasution dan G. Prakarsa, "Optimasi Produksi Barang Menggunakan Logika Fuzzy Metode Mamdani," J. Media Inform. Budidarma, vol. 4, no. 1, hal. 129–135, 2020.
- [8] A. P. Kusuma, W. D. Puspitasari, dan T. Gustiyoto, "Sistem pendukung keputusan dalam menentukan jumlah produksi seragam menggunakan metode fuzzy tsukamoto," Antivirus J. Ilm. Tek. Inform., vol. 12, no. 1, 2018.
- [9] A. Prayogi, "Sistem pendukung keputusan untuk penentuan jumlah produksi nanas menggunakan metode fuzzy tsukamoto," Skripsi). Malang Univ. Brawijaya, 2017.
- [10] S. Hajar, M. Badawi, Y. D. Setiawan, M. N. H. Siregar, dan A. P. Windarto, "Prediksi Perhitungan Jumlah Produksi Tahu Mahanda dengan Teknik Fuzzy Sugeno," J-Sakti (Jurnal Sains Komput. dan Inform., vol. 4, no. 1, hal. 210–219, 2020.
- [11] P. Hájek, L. Godo, dan F. Esteva, "Fuzzy logic and probability," arXiv Prepr. arXiv:1302.4953, 2013.
- [12] P. Gupta, M. K. Mehlatat, M. Inuiguchi, dan S. Chandra, Fuzzy portfolio optimization: advances in hybrid multi-criteria methodologies, vol. 316. Springer, 2014.
- [13] F. M. McNeill dan E. Thro, Fuzzy logic: a practical approach. Academic Press, 2014.
- [14] H. T. Nguyen, C. Walker, dan E. A. Walker, A first course in fuzzy logic. Chapman and Hall/CRC, 2018.
- [15] C. W. De Silva, Intelligent control: fuzzy logic applications. CRC press, 2018.
- [16] M. Rusli, Dasar Perancangan Kendali Logika Fuzzy. Universitas Brawijaya Press, 2017.
- [17] D. Pekaslan, J. M. Garibaldi, dan C. Wagner, "Exploring subsethood to determine firing strength in non-singleton fuzzy logic systems," in 2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2018, hal. 1–8.
- [18] R. E. Prasetyo, W. D. Sayekti, dan E. Kasymir, "Tingkat Kepuasan dan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Permintaan Tempe Oleh Konsumen Rumah Tangga Di Kota Bandar Lampung," J. Ilmu Ilmu Agribisnis J. Agribus. Sci., vol. 6, no. 4, hal. 368–375, 2019.
- [19] T. Tundo dan E. I. Sela, "Application of the fuzzy inference system method to predict the number of weaving fabric production," IJID (International J. Informatics Dev., vol. 7, no. 1, hal. 21–29, 2018.
- [20] R. A. Wibowo et al., "Sistem Pendukung Keputusan Pemberian Kredit Menggunakan Fuzzy Inference System (FIS) Tsukamoto," vol. 1, no. 1, hal. 34–39, 2018.
- [21] S. Thaker dan V. Nagori, "Analysis of fuzzification process in fuzzy expert system," Procedia Comput. Sci., vol. 132, hal. 1308–1316, 2018.
- [22] C. C. Ragin, "From fuzzy sets to crisp truth tables," Comp. Methods Adv. Syst. cross-case Anal. Small-N Stud., 2005.
- [23] N. S. Pinem dan D. P. Utomo, "Implementasi Fuzzy Logic Dengan Infrensi Tsukamoto Untuk Prediksi Jumlah Kemasan Produksi (Studi Kasus: PT. Sinar Sosro Medan)," Pelita Inform. Inf. dan Inform., vol. 9, no. 1, hal. 56–60, 2020.
- [24] S. Chakraverty, D. M. Sahoo, N. R. Mahato, S. Chakraverty, D. M. Sahoo, dan N. R. Mahato, "Defuzzification," Concepts Soft Comput. Fuzzy ANN with Program., hal. 117–127, 2019.