

Penerapan Sistem Inferensi Fuzzy dengan Metode Sugeno dalam Memperkirakan Produksi Gula

Ayyubi Ahmad

Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta

Abstrak. Gula merupakan salah satu kebutuhan pokok dan sumber kalori yang relatif murah. Pabrik Gula Asempagus di dalam proses produksinya untuk menghasilkan gula diperlukan input-input/faktor-faktor produksi yang dikombinasikan sedemikian rupa sehingga menghasilkan produksi berupa gula. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi gula antara lain: bahan baku tebu, tenaga kerja yang digunakan dalam proses produksi, dan dummy mesin. Faktor-faktor ini jelas akan mempengaruhi produksi kuantitas gula dari Pabrik Gula Asempagus. Pada kasus ini, metode logika fuzzy mengaplikasikan sistem inferensi fuzzy Sugeno dalam memperkirakan produksi gula dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya. Tujuan studi ini adalah memperkirakan berapa banyak produksi gula dengan sistem inferensi fuzzy metode Sugeno orde-0 berdasarkan variabel bahan baku tebu, tenaga kerja, dummy mesin, dan jumlah produksi. Data yang digunakan berupa data runtut waktu. Data diambil selama 7 hari pada bulan Maret 2016. Model logika fuzzy Sugeno dalam studi ini menggunakan hasil dalam bentuk persamaan konstan (Model Sugeno Order-0). Ternyata dari hasil penelitian diperoleh dengan nilai galat paling kecil 0.1530, jadi dapat dikatakan mendekati 0.

Kata kunci: gula, jumlah produksi, metode Sugeno orde-0.

1. Pendahuluan

Gula merupakan salah satu bahan pangan pokok yang memiliki arti penting dan posisi yang strategis di Indonesia. Meskipun telah beredar bahan-bahan pemanis lainnya, seperti: madu, gula merah, fruktosa, glukosa, dan gula tropika namun preferensi masyarakat Indonesia terhadap gula tebu masih lebih tinggi. Berdasarkan Churmen (2001) alasan kepraktisan, ketersediaan, dan berbagai kelebihan lainnya menjadi gula tebu sebagai pilihan utama. Hal ini menunjukkan bahwa permintaan gula tebu terus meningkat tiap tahunnya seiring dengan pertumbuhan penduduk, peningkatan daya beli masyarakat, dan pertumbuhan industri yang menggunakan gula sebagai bahan bakunya.

Berdasarkan Sugiyanto (2007) bahwa Indonesia masih belum mampu berswasembada gula karena laju pertumbuhan permintaan yang terus meningkat dan tidak sejajar dengan penambahan produksi. Dinamika harga gula sangat dipengaruhi oleh antara lain besarnya volume impor dan nilai tukar (Jati, 2013). Selama ini produksi gula Indonesia tertinggal tahun 2007 sebesar 2.97 juta ton tidak pernah terlampaui hingga 2012. Sebaliknya, peningkatan permintaan terus terjadi baik konsumsi langsung (rumah tangga) maupun untuk kebutuhan industri. Keadaan ini memaksa Indonesia tetap berstatus sebagai pengimpor

terbesar gula dunia. Berdasarkan Setyaningrum (2014) bahwa logika fuzzy merupakan ilmu ketidakpastian yang memiliki keunggulan kemampuan pada proses penalaran dalam bahasa. Pada teori logika fuzzy diketahui konsep sistem fuzzy digunakan dalam proses memprediksi dan secara umum mengandung empat tahapan: fuzzifikasi, pembentukan aturan fuzzy, penalaran sistem inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi. Metode inferensi fuzzy yang biasanya digunakan adalah Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto. Tetapi pada studi metode inferensi fuzzy ini yang digunakan adalah metode Sugeno orde-0 karena metode ini mewakili dari aturan-aturan pada himpunan fuzzy, sementara konsekuensi diwakili oleh konstan.

Permasalahan pada penelitian disini adalah bagaimana menerapkan sistem inferensi fuzzy metode Sugeno dalam menentukan perkiraan jumlah gula dengan variabel bahan baku tebu, tenaga kerja, dummy fuzzy, dan jumlah produksi. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem inferensi fuzzy orde-0 metode Sugeno yang dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah bentuk simulasi dari produksi.

2. Sistem Inferensi Fuzzy

Definisi Fuzzy

Logika fuzzy pertama diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Pada teori himpunan dari teori himpunan fuzzy, aturan derajat keanggotaan sebagai penentu adanya elemen pada himpunan penting. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan atau fungsi keanggotaan menjadi keistimewaan utama dari pemikiran logika fuzzy (Kusumadewi, 2004).

Asosiasi Sederhana Dan Asosiasi Fuzzy

Berdasarkan Kusumadewi (2013, hal. 9-43) bahwa teori himpunan fuzzy merupakan perluasan dari teori himpunan sederhana. Dalam menentukan himpunan (crisp), nilai keanggotaan dari sebuah elemen x pada himpunan A selalu ditulis dengan $\mu_A[x]$, memiliki dua kemungkinan, yaitu:

- Satu (1), berarti sebuah elemen menjadi anggota pada himpunan
- Nol (0), berarti sebuah elemen tidak menjadi anggota pada himpunan

Fungsi keanggotaan merupakan kurva yang menunjukkan memetakan titik data masukan ke dalam nilai keanggotaan yang memiliki interval antara 0 dan 1.

Pada representasi linear, berdasarkan Kusumadewi (2014, hal 9-43) memetakan masukan ke dalam derajat keanggotaan dapat dijelaskan sebagai garis lurus.

- a. Perwakilan representasi linear, himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat nilai keanggotaan nol (0) bergerak menuju nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih besar.

Fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; x \geq b \end{cases}$$

- b. Representasi linear menurun, garis lurus yang dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih kecil. Fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{(b-x)}{(b-a)} & ; a \leq x < b \\ 0 & ; x \geq b \end{cases}$$

Operator Fuzzy

Ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk menggabungkan dan mengubah himpunan fuzzy. Berdasarkan Solikin (2011) nilai keanggotaan sebagai hasil dari pengoperasian dua himpunan yang selalu diketahui dengan nama predikat α . Ada tiga operator dasar dibuat oleh Zadeh, yaitu: AND, OR, dan NOT.

Operasi DAN

Berdasarkan Kusumadewi (2013, hal 9-43) operator yang berhubungan dengan operasi persimpangan pada himpunan, predikat α sebagai hasil operasi dengan operator DAN yang mengandung nilai keanggotaan terkecil antara elemen-elemen pada himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))$$

Fungsi Implikasi

Berdasarkan Kusumadewi (2013, hal. 9-43) setiap aturan dasar pengetahuan fuzzy akan menjadi pembagian dengan relasi fuzzy. Bentuk umum proposisi menggunakan operator fuzzy:

Jika x adalah A maka y adalah B

Dengan x dan y adalah skalar, dan A dan B adalah himpunan fuzzy. Jika proposisi dirujuk sebagai sebab, maka proposisi sebagai akibat.

JIKA (x_1 adalah A_1) \cdot (x_2 adalah A_2) \cdot ... \cdot (x_n adalah A_n) MAKA y adalah B

Dengan \cdot adalah operator (ATAU atau DAN).

Aturan Komposisi

Berdasarkan Kusumadewi (2013, hal. 9-43) jika sistem mengandung beberapa aturan, mendapatkan kesimpulan dari kumpulan dan korelasi antara aturan-aturan. Metode yang digunakan dalam menggunakan sistem inferensi fuzzy adalah metode Min(Minimum) yang merupakan sebuah solusi himpunan fuzzy yang diperoleh dengan mengambil nilai minimum dari aturan, dan kemudian menggunakan nilai tersebut untuk mengubah daerah fuzzy dan mengaplikasikannya menjadi keluaran menggunakan operator DAN.

$$\mu_{sf}(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i))$$

Dengan

$\mu_{sf}(x_i)$ = solusi nilai keanggotaan fuzzy orde ke- i

$\mu_{kf}(x_i)$ = akibat aturan nilai keanggotaan fuzzy ke- i

Bentuk Sistem Inferensi Fuzzy Tsk

Berdasarkan Kusumadewi (2013, hal. 9-43) metode sistem inferensi fuzzy Takagi-Sugeno-Kang (TSK) adalah metode untuk aturan inferensi fuzzy yang direpresentasikan dalam bentuk JIKA-MAKA dimana hasil keluaran sistem tidak berbentuk himpunan fuzzy. Ada dua bentuk metode TSK, yaitu:

1. Metode TSK orde-0

JIKA (x_1 adalah A_1) \cdot (x_2 adalah A_2) \cdot ... \cdot (x_n adalah A_n) MAKA $z = k$

Pada metode ini, sebab direpresentasikan sebagai proposisi pada himpunan fuzzy, sementara akibat direpresentasikan sebagai konstan.

2. Metode TSK orde-1

JIKA (x_1 adalah A_1) \cdot ... \cdot (x_n adalah A_n) MAKA $z = p_1 * x_1 + \dots + p_N * x_N + q$

Pertama himpunan fuzzy ke-i adalah sebab, \cdot merupakan operator (DAN atau ATAU), p_1 adalah konstan ke-i dan q juga konstan dalam akibat.

Jika aturan komposisi menggunakan defuzzifikasi Sugeno, maka

$$z = \frac{\sum_{r=1}^R a_r z_r}{\sum_{r=1}^R a_r}$$

dengan:

a_r = nilai hasil pada aturan ke-i

z_r = derajat keanggotaan pada nilai hasil aturan ke-i

R = jumlah aturan yang digunakan (Solikin, 2011).

3. Hasil Dan Diskusi

Pada hasil diskusi ini pembentukan fungsi keanggotaan, pembentukan aturan fuzzy, dan menguji data dan metode. Dari data, jumlah maksimum 25 kg dan minimum 10 kg.

Pembentukan Fungsi Keanggotaan

Tahap pertama, menentukan fungsi keanggotaan. Dari semua data, dalam mendapatkan beberapa masukan fungsi keanggotaan yaitu fungsi bahan baku tebu, tenaga kerja, dummy mesin, dan total produksi.

Tabel 1. Menentukan Asosiasi Domain Fuzzy

Nama Variabel	Nama Asosiasi Fuzzy	Domain
Bahan Baku Tebu	Buruk	[14 - 101]
	Sedang	[57.5 - 144.5]
	Baik	[101 - 188]
Tenaga Kerja	Buruk	[10 - 49]
	Sedang	[29.5 - 68.5]
	Baik	[49 - 88]
Dummy Mesin	Buruk	[-6 - 60]
	Sedang	[27 - 93]
	Baik	[60 - 126]

Pembentukan Aturan Fuzzy

Setelah membentuk fungsi keanggotaan, tahap selanjutnya membuat aturan fuzzy, karena ada tiga masukan aturan fungsi keanggotaan fuzzy menghasilkan 27 aturan termasuk semua variabel. Metode inferensi fuzzy yang digunakan adalah Sugeno orde-0.

[R1] JIKA Bahan Baku Tebu **buruk** dan Tenaga Kerja **buruk** dan Dummy Mesin **buruk** MAKA rata-rata total produksi = 7.3083.

- [R2] JIKA Bahan Baku Tebu **buruk** dan Tenaga Kerja **buruk** dan Dummy Mesin **sedang** MAKA rata-rata total produksi = 9.5083.
- [R3] JIKA Bahan Baku Tebu **buruk** dan Tenaga Kerja **buruk** dan Dummy Mesin **baik** MAKA rata-rata total produksi = 12.7083.
- [R4] JIKA Bahan Baku Tebu **buruk** dan Tenaga Kerja **sedang** dan Dummy Mesin **buruk** MAKA rata-rata total produksi = 8.9333.
- [R5] JIKA Bahan Baku Tebu **buruk** dan Tenaga Kerja **sedang** dan Dummy Mesin **sedang** MAKA rata-rata total produksi = 11.1333.
- [R6] JIKA Bahan Baku Tebu **buruk** dan Tenaga Kerja **sedang** dan Dummy Mesin **baik** MAKA rata-rata total produksi = 7.3083.
- [R7] JIKA Bahan Baku Tebu **buruk** dan Tenaga Kerja **baik** dan Dummy Mesin **buruk** MAKA rata-rata total produksi = 10.5583.
- [R8] JIKA Bahan Baku Tebu **buruk** dan Tenaga Kerja **baik** dan Dummy Mesin **sedang** MAKA rata-rata total produksi = 12.7583.
- [R9] JIKA Bahan Baku Tebu **buruk** dan Tenaga Kerja **baik** dan Dummy Mesin **baik** MAKA rata-rata total produksi = 14.9583.
- [R10] JIKA Bahan Baku Tebu **sedang** dan Tenaga Kerja **buruk** dan Dummy Mesin **buruk** MAKA rata-rata total produksi = 10.2083.
- [R11] JIKA Bahan Baku Tebu **sedang** dan Tenaga Kerja **buruk** dan Dummy Mesin **sedang** MAKA rata-rata total produksi = 12.4083.
- [R12] JIKA Bahan Baku Tebu **sedang** dan Tenaga Kerja **buruk** dan Dummy Mesin **baik** MAKA rata-rata total produksi = 14.6083.
- [R13] JIKA Bahan Baku Tebu **sedang** dan Tenaga Kerja **sedang** dan Dummy Mesin **buruk** MAKA rata-rata total produksi = 11.8333.
- [R14] JIKA Bahan Baku Tebu **sedang** dan Tenaga Kerja **sedang** dan Dummy Mesin **sedang** MAKA rata-rata total produksi = 14.0333.
- [R15] JIKA Bahan Baku Tebu **sedang** dan Tenaga Kerja **sedang** dan Dummy Mesin **baik** MAKA rata-rata total produksi = 16.2333.
- [R16] JIKA Bahan Baku Tebu **sedang** dan Tenaga Kerja **baik** dan Dummy Mesin **buruk** MAKA rata-rata total produksi = 13.4583.
- [R17] JIKA Bahan Baku Tebu **sedang** dan Tenaga Kerja **baik** dan Dummy Mesin **sedang** MAKA rata-rata total produksi = 15.6583.
- [R18] JIKA Bahan Baku Tebu **sedang** dan Tenaga Kerja **baik** dan Dummy Mesin **baik** MAKA rata-rata total produksi = 17.8583.
- [R19] JIKA Bahan Baku Tebu **baik** dan Tenaga Kerja **buruk** dan Dummy Mesin **buruk** MAKA rata-rata total produksi = 13.1083.

- [R20] JIKA Bahan Baku Tebu **baik** dan Tenaga Kerja **buruk** dan Dummy Mesin **sedang** MAKA rata-rata total produksi = 15.3083.
- [R21] JIKA Bahan Baku Tebu **baik** dan Tenaga Kerja **buruk** dan Dummy Mesin **baik** MAKA rata-rata total produksi = 17.5083.
- [R22] JIKA Bahan Baku Tebu **baik** dan Tenaga Kerja **sedang** dan Dummy Mesin **buruk** MAKA rata-rata total produksi = 14.7333.
- [R23] JIKA Bahan Baku Tebu **baik** dan Tenaga Kerja **sedang** dan Dummy Mesin **sedang** MAKA rata-rata total produksi = 16.9333.
- [R24] JIKA Bahan Baku Tebu **baik** dan Tenaga Kerja **sedang** dan Dummy Mesin **baik** MAKA rata-rata total produksi = 19.1333.
- [R25] JIKA Bahan Baku Tebu **baik** dan Tenaga Kerja **baik** dan Dummy Mesin **buruk** MAKA rata-rata total produksi = 16.3583.
- [R26] JIKA Bahan Baku Tebu **baik** dan Tenaga Kerja **baik** dan Dummy Mesin **sedang** MAKA rata-rata total produksi = 18.5583.
- [R27] JIKA Bahan Baku Tebu **baik** dan Tenaga Kerja **baik** dan Dummy Mesin **baik** MAKA rata-rata total produksi = 20.7583.

Pengujian

Pengujian pertama adalah perilaku yang mana data masukannya: 105.4 = bahan baku tebu, 63.9 = tenaga kerja, dan 1 = dummy mesin.

Derajat keanggotaan setiap variabel pada data masukan bahan baku tebu = 105.4

$$\mu_{buruk}[105.4] = 0, \quad \mu_{sedang}[105.4] = \frac{144.5-105.4}{43.5} = 0.89, \quad \mu_{baik}[105.4] = \frac{105.4-101}{43.5} = 0.10$$

Pada data masukan tenaga kerja = 63.9

$$\mu_{buruk}[63.9] = 0, \quad \mu_{sedang}[63.9] = \frac{68.5-63.9}{19.5} = 0.23, \quad \mu_{baik}[63.9] = \frac{63.9-101}{19.5} = 0.76$$

Pada data masukan dummy mesin = 1

$$\mu_{buruk}[1] = \frac{1+6}{33} = 0.21, \quad \mu_{sedang}[1] = 0, \quad \mu_{baik}[1] = 0$$

Kemudian mencari predikat α setiap aturan fuzzy:

- [R1] JIKA bahan baku tebu **buruk** dan Tenaga Kerja **buruk** dan dummy mesin **buruk** MAKA rata-rata total produksi = 7.3083.

$$\begin{aligned} \text{predikat}_1 \alpha &= \min(\mu_{buruk}(105.4); \mu_{buruk}(63.9); \mu_{buruk}(1)) \\ &= \min(0, 0, 0.21) \\ &= 0 \\ z_1 &= 7.3083 \end{aligned}$$

[R2] JIKA bahan baku tebu **buruk** dan Tenaga Kerja **buruk** dan dummy mesin **sedang** MAKA rata-rata total produksi = 9.5083.

$$\begin{aligned} \text{predikat}_2 \alpha &= \min(\mu_{\text{buruk}}(105.4); \mu_{\text{buruk}}(63.9); \mu_{\text{sedang}}(1)) \\ &= \min(0,0,0) \\ &= 0 \\ z_2 &= 9.5083 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk menghitung dari [R3] sampai [R27] seperti di atas. Kemudian mencari jumlah rata-rata produksi dengan menggunakan hasil predikat α yang tidak nol adalah [R13], [R16], [R22], [R25], yaitu:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{a_{13} \cdot z_{13} + a_{16} \cdot z_{16} + a_{22} \cdot z_{22} + a_{25} \cdot z_{25}}{a_{13} + a_{16} + a_{22} + a_{25}} \\ &= \frac{0.21 \times 11.8333 + 0.21 \times 13.4583 + 0.1 \times 14.7333 + 0.1 \times 16.3583}{0.21 + 0.21 + 0.1 + 0.1} \\ &= \frac{8.420396}{0.62} = 13.5812838709677. \end{aligned}$$

Untuk menghitung sendiri semua data hingga hari ketujuh dengan cara yang sama dan nilai semua data defuzzifikasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil defuzzifikasi dan galat

Hari	Bahan Baku Tebu	Tenaga Kerja	Dummy Mesin	Hasil Defuzzifikasi	Data Hasil	Error
1	105.4	63.9	1	13.5813	12	1.5813
2	76.7	52.6	0.7	11.1530	11	0.1530
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan diskusi, dapat disimpulkan bahwa perhitungan sendiri dengan Sugeno orde-0 galat semua data pada studi ini sebagian besar mendekati 0 hanya pada hari kedua 2016 dengan hasil galatnya 0.1530, itu dapat dikatakan bahwa paling mendekati 0 dari hari-hari yang lain dan hasil perhitungan sendiri tersebut cukup akurat.

Untuk perkembangan selanjutnya, dapat dipelajari kembali dengan menambahkan empat atau lebih variabel yang dapat mengakibatkan kalkulasi perhitungan jumlah produksi lebih akurat dan kita dapat membandingkan masalah ini dengan metode lainnya.

5. Daftar Pustaka

1. S, Kusumadewi. 2004. *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Jakarta: Graha Ilmu
2. S, Kusumadewi, S, Hartatik, A, Harjoko dan R, Wardoyo. 2013. *Fuzzy Multi-Attribute Decision Making (Fuzzy MADM)*. Yogyakarta: Graha Ilmu

3. F, Solikin. 2011. *Aplikasi Logika Fuzzy dalam Optimasi Produksi Barang Menggunakan Metode Mamdani dan Metode Sugeno*. Universitas Negeri Yogyakarta.
4. Cahyono, Adi. “Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produksi Gula pada PG. Tasik Madu PTPN IX (Persero). 29 Oktober 2018.
http://etd.repository.ugm.ac.id/index.php?mod=penelitian_detail&sub=PenelitianDetail&act=view&typ=html&buku_id=40881