



Analisis fluktuasi jumlah produksi gula tebu perbandingan bertahap *triangular fuzzy inference system*

Ratna Ekawati*

Jurusan Teknik Industri, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, Indonesia.

*Corresponding author: ratna.ti@untirta.ac.id

ARTICLE INFO

Received: 31 Maret 2021
Revision: 25 Oktober 2021
Accepted: 26 Oktober 2021

Keywords:

*Cane sugar
Fuzzy gradual uncertainty
Fuzzy inference system*

ABSTRACT

Sugar production owned by PT X (Persero) for the last 10 years still shows fluctuation. One of the factors is climate, including rainfall. Judging from the development, sugarcane is still vulnerable to the climate. Even so, there are still strategies to reduce the resulting risks, including by means of an appropriate cropping system. However, the safety stock of raw materials cannot be maintained because the quality of the sugarcane deteriorates very quickly. Therefore, sugarcane is continuously sourced in varying quantities and qualities from hundreds of geographically dispersed varieties and supplied to the milling process and due to changing weather conditions so that throughout the year, the time window must be considered for harvesting. Fuzzy logic is a science of uncertainty that has superior ability to process reasoning in language. In fuzzy logic theory, it is known that the concept of fuzzy systems is used in the prediction process and generally contains four stages: fuzzification, formation of fuzzy rules, fuzzy inference system reasoning, and defuzzification. Variable rainfall (mm/year), average yield (%/year), total sugarcane production (million tonnes/year) based on a triangular model of incremental uncertainty as an information attribute in the Fuzzy Inference System (FIS). The selection obtained by using the fuzzy inference system is approximately 5 points from the uncertainty factor that arises from the effect of the input on the total output of the resulting sugar cane production.

1. PENDAHULUAN

Gula Kristal Putih (GKP) merupakan komoditas pangan yang dibutuhkan terbanyak kedua setelah beras oleh rakyat Indonesia. Seiring dengan meningkatnya pertambahan penduduk, permintaan akan GKP juga semakin tinggi. Kebutuhan gula nasional dibagi menjadi dua, yaitu untuk konsumsi langsung (rumah tangga) dan kebutuhan tidak langsung (industri makanan, minuman, dan farmasi) [1]. Untuk memenuhi kebutuhan hidup maka harus menjaga keberlangsungan atau kesinambungan pangan serta ketersediaannya dipasaran. Permintaan gula Indonesia dipenuhi dengan cara produksi gula dalam negeri dan import, dimana kebijakan *import* dikeluarkan apabila produksi dalam negeri tidak mampu memenuhi kebutuhan gula nasional [2]. Kebijakan untuk meningkatkan nilai bagi hasil dapat menjaga kesejahteraan petani, sedangkan penetapan

harga jual tebu diharapkan mengurangi alih komoditas yang dilakukan oleh petani.

Produksi gula milik PT X (Persero) selama 10 tahun terakhir masih menunjukkan fluktuasi. Salah satu faktornya adalah iklim, termasuk curah hujan. Dilihat dari perkembangan, tanaman tebu masih rentan terhadap iklim. Meskipun demikian, masih ada strategi guna mengurangi risiko yang diakibatkan, di antaranya dengan sistem pertanaman yang sesuai. Panjangnya musim hujan membuat hampir sebagian pabrik tebu mengalami kerugian sehingga pada tahun 2013 dapat dikatakan sebagai musim giling masa-masa tersulit [3], [4]. Berdasarkan studi kasus dari Venezuela, yang menyelidiki bagian produksi. Idealnya, pabrik gula beroperasi pada tingkat produksi konstan. Namun, stok pengaman bahan baku tidak dapat dipertahankan karena kualitas tebu memburuk dengan sangat cepat [6], [7]. Oleh karena itu tebu bersumber terus menerus dalam



jumlah dan kualitas yang beragam dari ratusan varietas yang tersebar secara geografis dan dipasok ke proses penggilingan dan juga akibat perubahan kondisi cuaca sehingga sepanjang tahun, jendela waktu harus diperhatikan untuk panen [8]. Selain itu kekurangan pasokan bahan baku di pabrik gula disebabkan oleh budidaya tebu yang kurang menguntungkan karena harus menunggu selama satu tahun untuk dapat dipanen, masih banyak petani tebu yang melakukan praktik keprasan yang lebih dari lima kali, petani sulit menemukan varietas tebu unggul dan sebagainya [9].

Meningkatnya persaingan antara rantai pasokan pertanian-pangan telah mempererat hubungan antara petani dan pabrik pengolahan sekaligus mengurangi margin keuntungan individu. Berdasarkan data selama 10 tahun terakhir, produksi gula PTPN X tahun 2013 mengalami peningkatan 38% dibandingkan produksi tahun 2004, namun menurun 2% jika dibandingkan tahun 2012. Menurunnya produksi gula tahun ini, salah satunya disebabkan oleh tingginya curah hujan [10]. Diperkirakan curah hujan di tahun 2013 akan melampaui 2500 mm³, kurang lebih sama dengan kondisi 2010. Dengan kata lain, selama satu dekade terakhir, curah hujan tertinggi terjadi pada tahun 2013. Curah hujan yang tinggi akan meningkatkan jumlah bahan baku tebu,

namun akan menurunkan rendemen. Hal ini karena kandungan air jauh lebih banyak dibandingkan kandungan gula di dalam batang tebu [11]. Sebaliknya, apabila curah hujan rendah, maka bahan baku tebunya sedikit, tetapi berpotensi untuk mendongkrak rendemen. Seperti tersaji dalam gambar berikut [12], [13].

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 [14] adalah metode pengambilan keputusan *fuzzy* menggunakan perbandingan angka *fuzzy* atau set untuk dipilih alternatif. Urutan linear bilangan real tidak meluas ke angka *fuzzy* dan angka *fuzzy*, ketika angka *fuzzy* digunakan secara praktis aplikasi perbandingan menjadi perlu, yang memiliki tiga kelemahan utama. sering tidak sensitif terhadap perbedaan kecil, kadang menghasilkan pilihan tidak konsisten dengan intuisi, dan harus dilakukan dalam beberapa langkah yang menghasilkan banyak indeks yang terkadang saling bertentangan [15].



Gambar 1. Produksi gula PT. X berdasarkan curah hujan, rendemen, dan produksi tebu

Sistem yang dikontrol menggunakan sistem logika *fuzzy* tipe-1, mengarah pada aturan *fuzzy* yang konsekuensinya tidak pasti, yang diterjemahkan menjadi konsekuensi yang tidak pasti atau fungsi keanggotaan konsekuensi. Set *fuzzy* tipe-1 tidak dapat secara langsung memodelkan ketidakpastian karena fungsi keanggotaannya sangat jernih [16]. Referensi [17] menyatakan bahwa atribut informasi adalah ketidakpastian yang dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yakni probabilistik ketidakpastian dan ketidakpastian *fuzzy*, meskipun sebelumnya dikenalkan oleh Zadeh tentang ketidakpastian dalam formulasi *fuzzy*

(kekaburan). Salah satu representasi yang paling berguna adalah fungsi keanggotaan yang tergantung sifat, bentuk, fungsi keanggotaan sedangkan nomor fuzzy dapat diklasifikasikan dengan cara *triangular fuzzy number (TFN)*, *fuzzy trapezium*, *fuzzy segitiga (TFNs)*.

Set *fuzzy* tipe-2 dapat memodelkan ketidakpastian seperti itu karena fungsi keanggotaannya *fuzzy* tersebut. Fungsi keanggotaan set *fuzzy* tipe-1 adalah dua dimensi, sedangkan fungsi keanggotaan set *fuzzy* tipe-2 adalah tiga dimensi [18]. Ini adalah set ketiga *fuzzy* tipe-2 dimensi baru yang memberikan derajat kebebasan tambahan yang memungkinkan untuk secara langsung

memodelkan ketidakpastian. Set *fuzzy* tipe-2 sulit dipahami dan digunakan karena: (1) sifat tiga dimensi set *fuzzy* tipe-2 membuat sangat sulit untuk menggambar; (2) tidak ada koleksi sederhana dari istilah yang terdefinisi dengan baik yang memungkinkan kita berkomunikasi secara efektif tentang set *fuzzy* tipe-2, dan kemudian secara matematis akurat; dan (3) menggunakan set *fuzzy* tipe-2 secara komputasi lebih rumit.

Logika *fuzzy* akan menghasilkan suatu model dari suatu sistem yang mampu memperkirakan jumlah produksi. Banyaknya faktor yang terlibat dalam perhitungan menjadi kendala pembuat keputusan dalam mengambil kebijakan *fuzzy* menentukan jumlah produk yang akan diproduksi untuk mendapatkan output diperlukan empat tahap: pembentukan himpunan *fuzzy*, aplikasi fungsi implikasi (aturan), komposisi aturan, dan penegasan (*defuzzy*) [19]. Permasalahan pada penelitian disini adalah bagaimana membandingkan penerapan

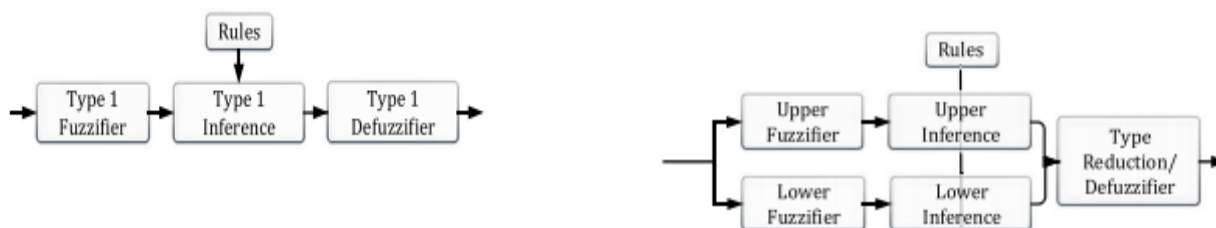
sistem inferensi *fuzzy* dalam menentukan fluktuasi jumlah produksi gula (juta ton/tahun) dengan variabel curah hujan (mm/tahun), rata-rata rendemen (%/tahun), Jumlah produksi tebu (juta ton/tahun) berdasarkan model triangular bertahap ketidakpastian sebagai atribut informasi pada *Fuzzy Inference System* (FIS).

2. METODE PENELITIAN

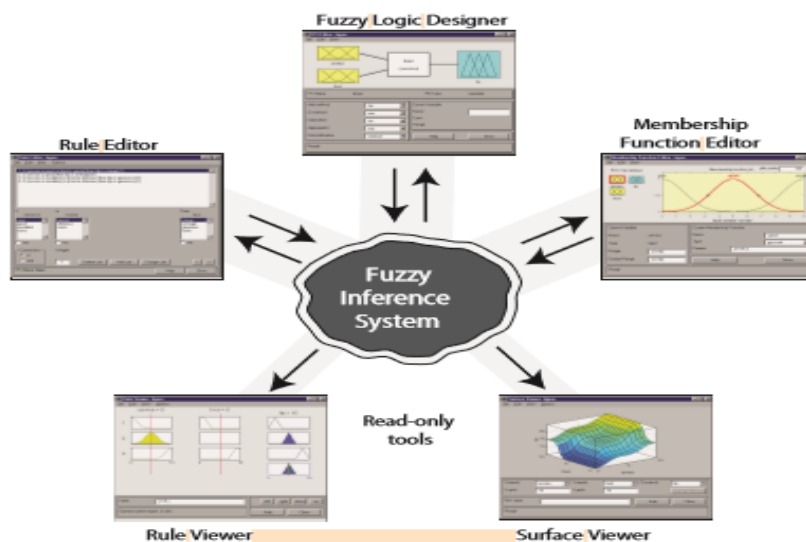
Fuzzy function triangulars (TFNs) sering digunakan dalam aplikasi karena diketahui bahwa formulasi matriks formula matematika memberikan fasilitas tambahan untuk menangani/mempelajari permasalahan. Karena adanya ketidakpastian dalam banyak formulasi matematika di berbagai cabang ilmu pengetahuan dan teknologi, maka diperkenalkan matriks *fuzzy* segitiga (TFM) [20]. Gambar keempat menunjukkan bagaimana komponen utama dari FIS dan ketiga editor tersebut bersatu.



Gambar 2. The Fuzzy Set Triangular (Low, Medium, High)



Gambar 3. Perbandingan alur proses *Fuzzy Inference System* Tahap 1 dan 2 diadopsi dari [19]



Gambar 4. *Fuzzy Inference System*

Berdasarkan [16] himpunan *fuzzy* ditandai oleh fungsi keanggotaan yang memetakan elemen domain, ruang, atau semesta wacana X ke interval unit $[0, 1]$. Himpunan *fuzzy* A dalam himpunan X didefinisikan sebagai pasangan berpasangan berikut:

$$A = \{(x, \mu_A(x)); x \in X\} \tag{1}$$

di sini $\mu_A : X [0,1]$ adalah pemetaan yang disebut derajat fungsi keanggotaan *fuzzy* set A dan $\mu_A(x)$ disebut nilai keanggotaan $x \in X$ dalam *fuzzy* set A . Nilai keanggotaan ini sering diwakili oleh bilangan real mulai dari $[0,1]$. Berdasarkan [17]. Angka segitiga *fuzzy* dilambangkan dengan $M = m, \alpha, \beta$, yang memiliki fungsi keanggotaan seperti dibawah ini:

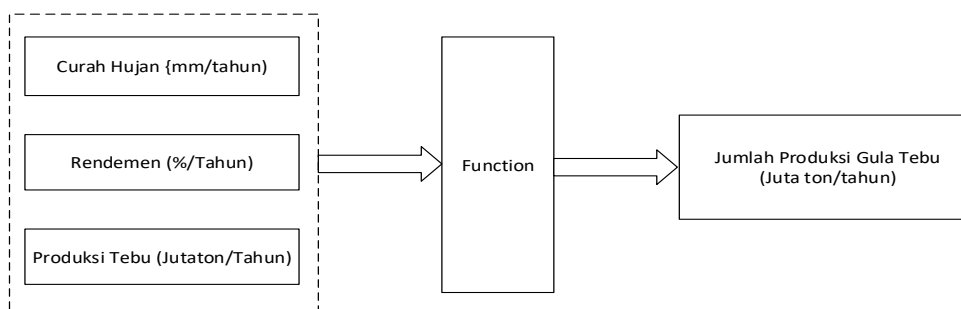
$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x \leq m - \alpha \\ 1 - \frac{m - x}{\alpha} & \text{for } m - \alpha < x < m \\ 1 & \text{for } x = m \\ 1 - \frac{x - m}{\beta} & \text{for } m < x < m + \beta \\ 0 & \text{for } x \geq m + \beta \end{cases} \tag{2}$$

Untuk nilai apa pun dalam keanggotaan, fungsi keanggotaan tipe-1 tradisional memiliki nilai keanggotaan tunggal. Oleh karena itu, sementara fungsi

keanggotaan tipe-1 memodelkan tingkat keanggotaan dalam set linguistik tertentu, itu tidak memodelkan ketidakpastian dalam tingkat keanggotaan. Untuk memodelkan ketidakpastian seperti itu, dapat menggunakan fungsi keanggotaan tipe-2 interval. Dalam fungsi keanggotaan tipe-2 seperti itu, derajat keanggotaan dapat memiliki rentang nilai [20].

Tabel 1. Asosiasi domain *fuzzy*

Keterangan	Klasifikasi	Satuan Per Tahun
Curah hujan	Ringan	< 20 mm
	Sedang	15-50 mm
	Lebat	< 51 mm
Rendemen	Rendah	< 5.7 %
	Sedang	5-7.5%
	Tinggi	7.2-12 %
Produksi Tebu	Sedikit	<225 ton
	Cukup	185-680 ton
	Banyak	575-800 ton
Jumlah Produksi Gula Tebu	Sedikit	<245 ton
	Cukup	100-425 ton
	Banyak	325-535 ton



Gambar 5. Model konseptual

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fuzzy logic memodelkan perasaan atau intuisi dengan cara merubah nilai *crisp* menjadi nilai linguistik dengan fuzzification dan kemudian memasukkannya ke dalam *rule* yang dibuat berdasarkan *knowledge*.

Peraturan pembentukan aturan *fuzzy* Setelah membentuk fungsi keanggotaan, tahap selanjutnya membuat aturan *fuzzy*, karena ada tiga (3) input aturan fungsi keanggotaan *fuzzy* menghasilkan $3 \times 3 \times 3 = 27$, aturan termasuk semua variabel.

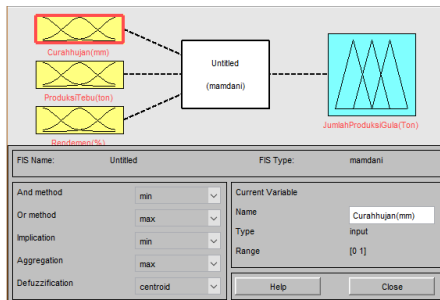
Deskripsi konseptual mengenai blok fuzzifikasi berdasarkan interpretasi, menjelaskan penerapan konsep-konsep ini dalam sistem di mana setiap variabel sesuai dengan angka dengan satu interval di setiap momen. Fungsi keanggotaan *fuzzy* T1 untuk setiap IT2MF berdasarkan efek ketidakpastian pada data untuk menghindari penggunaan prosedur berulang.

Peran langsung dari ketidakpastian diperkenalkan sebagai perbedaan utama antara T1FSs dan T2FSs. Pembeneran penerapan IT2FLSs dalam sistem *fuzzy* sangat tergantung pada masalah ketidakpastian [21]. Berdasarkan [22] ada berbagai hal yang harus dibuat tentang tahapan perbandingan ini

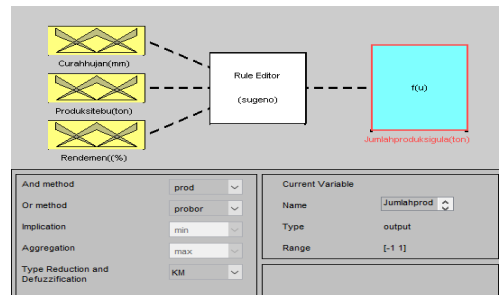
1. Representasi tipe 1 mengharuskan expert untuk melampirkan nomor atau nilai ke setiap orang untuk menggambarkan tinggi atau beratnya sedangkan pendekatan tipe 2 hanya membutuhkan *fuzzy grade*
2. Nilai *fuzzy* rendah, sedang dan tinggi adalah sama untuk yang sama baik tinggi dan berat untuk tujuan kesederhanaan yang tidak perlu
3. Nilai *fuzzy* rendah, sedang, dan tinggi adalah fungsi keanggotaan yang harus ditentukan.

Himpunan besar untuk pendekatan tipe 1 adalah himpunan tipe 1 sedangkan pendekatan tipe 2 menghasilkan solusi tipe 2.

Fuzzy Tahap 1

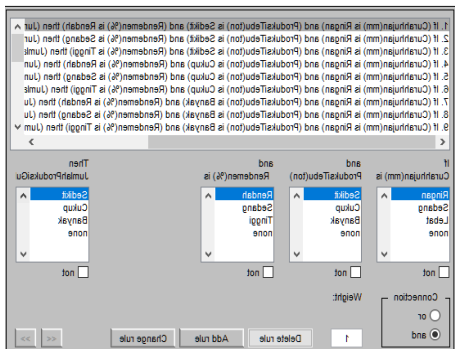


Fuzzy Tahap 2

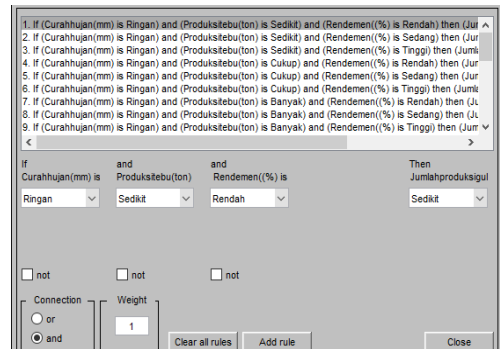


Gambar 6. Tahap awal perbandingan fuzzy inference system berdasarkan Matlab

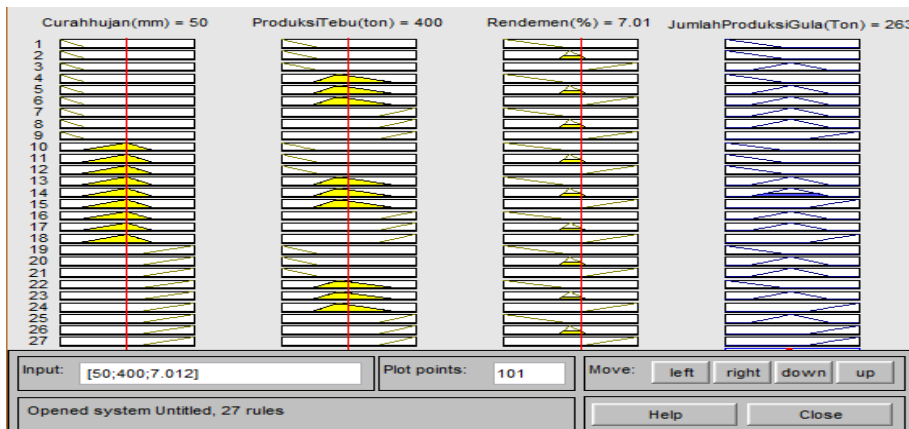
Rules Fuzzy Tahap 1



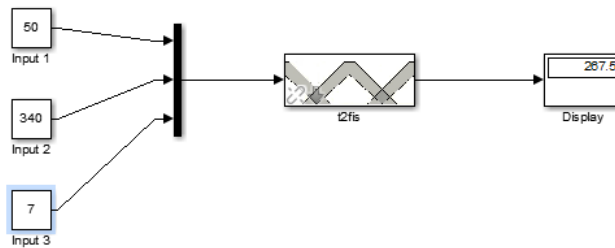
Rules Fuzzy Tahap 2



Gambar 7. Perbandingan Rules Fuzzy Inference System



My_Interval_Type_2_Model



Gambar 8. Hasil perbandingan fuzzy tahap 1 dan tahap 2

4. KESIMPULAN

Selisih hasil yang diperoleh dari *fuzzy inference system* tahap satu adalah jika input yang mempengaruhi output sebagai berikut. Rata-rata curah hujan dalam per tahun sebanyak 50 mm, rendemen tebu 7% dan jumlah produksi tebu sebanyak 400 juta ton maka perkiraan kesimpulan gula yang diperoleh sekitar 263 juta ton. Sedangkan hasil *fuzzy inference system* tahap ke dua yang diperoleh adalah jika jumlah rata-rata pertahun untuk curah hujan 50 mm, jumlah rendemen 7% dan jumlah produksi tebu sebanyak 340 juta ton maka perkiraan hasil yang diperoleh untuk produksi gula tebu adalah sebanyak 267.5 juta ton.

REFERENCES

- [1] P. Siwi and B. Handojo, "Impor Gula Mentah (Raw Sugar) Versus Swasembada Gula," *Majalah Ilmiah Bahari Jogja (MIBJ)*, vol. 17, no. 2, pp. 98–109, 2019, doi: 10.33489/mibj.v17i2.214.
- [2] D. P. R. RI, "Kemandirian dan Otonomi Revitalisasi Industri Gula," *Buletin APBN*, vol. 1, pp. 5–12, 2016.
- [3] B. K. Mk, M. Perencanaan, and P. Wilayah, "Model pengembangan kawasan agribisnis tebu," no. September, pp. 1–26, 2011.
- [4] M. Grunow, H.-O. Günther, and R. Westinner, "Supply optimization for the production of raw sugar," *International Journal of Production Economics*, vol. 110, no. 1, pp. 224–239, Oct. 2007, doi: 10.1016/j.ijpe.2007.02.019.
- [5] G. Eggleston and I. Lima, "Sustainability Issues and Opportunities in the Sugar and Sugar-Bioprodut Industries," *Sustainability*, vol. 7, no. 9, pp. 12209–12235, 2015, doi: 10.3390/su70912209.
- [6] R. Kumar and V. Nath, "IT adaptation in sugar supply chain: a study at milling level," *International Journal of Logistics Systems and Management*, vol. 35, no. 1, pp. 28–49, 2020, doi: 10.1504/IJLSM.2020.103862.
- [7] T. Jayabalan, M. Matheswaran, and S. Naina Mohammed, "Biohydrogen production from sugar industry effluents using nickel based electrode materials in microbial electrolysis cell," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 32, pp. 17381–17388, 2019, doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.09.219.
- [8] R. Meza-Palacios, A. A. Aguilar-Lasserre, L. F. Morales-Mendoza, J. R. Pérez-Gallardo, J. O. Rico-Contreras, and A. Avarado-Lassman, "Life cycle assessment of cane sugar production: The environmental contribution to human health, climate change, ecosystem quality and resources in México," *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, vol. 54, no. 7, pp. 668–678, 2019, doi: 10.1080/10934529.2019.1579537.
- [9] M. D. Lestari, "Analisa usahatani tebu (Studi Kasus di Kecamatan Ngantru Kabupaten Tulungagung)," *Jurnal AGRIBIS*, vol. 13, no. 15, pp. 48–54, 2017. Retrieved from <https://journal.unita.ac.id/index.php/agribisnis/article/view/120>
- [10] I. S. Magfiroh, "Managemen Risiko Rantai Pasok Tebu (Studi Kasus Di PTPN X)," *JURNAL PANGAN*, vol. 28, no. 3, pp. 203–212, 2019, doi: 10.33964/jp.v28i3.432.
- [11] T. D. Pratiwi, E. P. Wibowo, and H. Wibowo, "Daya Saing Usahatani Tebu terhadap Komoditas Eksisting di Wilayah Kerja Pabrik Gula Wonolangan Kabupaten Probolinggo Tahun 2018," *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, vol. 33, no. 1, pp. 57–67, 2018, doi: 10.20961/carakatani.v33i1.19562.
- [12] N. R. Rochimah, S. Soemarno, and A. W. Muhaimin, "Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Produksi Dan Rendemen Tebu di Kabupaten Malang," *Indonesian Journal of Environment and Sustainable Development*, vol. 6, no. 2, 2015.
- [13] A. S. Buana, A. H. Pratiwi, and A. Fradito, "Impact of Climate Change on Sugarcane Farmers Income and Key Factor of Adaptation Dan Faktor Penentu Adaptasi," *Gontor AGROTECH Science Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 97–114, 2020, doi: 10.21111/agrotech.v6i2.3537.
- [14] A. Kaab, M. Sharifi, H. Mobli, A. Nabavi-Pelesaraei, and K.-w. Chau, "Combined life cycle assessment and artificial intelligence for prediction of output energy and environmental impacts of sugarcane production," *Science of The Total Environment*, vol. 664, pp. 1005–1019, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.004.
- [15] T.-L. Nguyen, "Methods in Ranking Fuzzy Numbers: A Unified Index and Comparative Reviews," *Complexity*, vol. 2017, p. e3083745, 2017, doi: 10.1155/2017/3083745.
- [16] M. Lathamaheswari, D. Nagarajan, J. Kavikumar, and S. Broumi, "Triangular interval type-2 fuzzy soft set and its application," *Complex & Intelligent Systems*, vol. 6, no. 3, pp. 531–544, 2020, doi: 10.1007/s40747-020-00151-6.
- [17] A. K. Shyamal and M. Pal, "Triangular fuzzy matrices," *Iranian Journal of Fuzzy System*, vol. 4, no. 1, pp. 75–87, 2007, doi: 10.22111/IJFS.2007.359.
- [18] E. D. Arifah, M. I. Irawan, and I. Mukhlash, "Application of Fuzzy Mamdani Method in the Determination of Total Production," *Majalah Ilmiah Matematika dan Statistika*, vol. 17, no. 2, pp. 79–90, 2017. doi: <https://doi.org/10.19184/mims.v17i2.23759>.
- [19] O. Castillo, L. Amador-Angulo, J. R. Castro, and M. Garcia-Valdez, "A comparative study of type-1 fuzzy logic systems, interval type-2 fuzzy logic systems and generalized type-2 fuzzy logic systems in control problems," *Information Sciences: an International Journal*, vol. 354, no. C, pp. 257–274, 2016, doi: 10.1016/j.ins.2016.03.026.
- [20] S. N. Sivanandam, S. Sumathi, and S. N. Deepa, *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*. Berlin; New York: Springer, 2007.
- [21] S. Aminifar and A. Marzuki, "Uncertainty in Interval Type-2 Fuzzy Systems," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, p. e452780, 2013, doi: 10.1155/2013/452780.
- [22] R. John, "Type 2 fuzzy sets: an appraisal of theory and applications," *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, vol. 6, no. 6, pp. 563–576, 1998, doi: 10.1142/S0218488598000434.