

Sistem Klasifikasi Kualitas Bunga Cengkeh Kering berbasis Website menggunakan Logika Fuzzy Metode Tsukamoto

Arifa Farras Fadhila^{1,*}, Donny Avianto¹

¹ Program Studi Informatika, Universitas Teknologi Yogyakarta, Indonesia

* Correspondence: arifafadhila22@gmail.com

Copyright: © 2024 by the authors

Received: 30 Oktober 2024 | Revised: 6 November 2024 | Accepted: 2 Desember 2024 | Published: 19 Desember 2024

Abstrak

Cengkeh Indonesia memiliki daya saing kuat di pasar utama berkat manfaat ekonomisnya, yaitu sebagai bahan baku rokok kretek, rempah-rempah, dan industri parfum, namun tingginya persaingan global menuntut peningkatan kualitas dan konsistensi produk. Penyortiran cengkeh yang masih manual dan subjektif sering kali menyebabkan ketidakakuratan dan inkonsistensi kualitas, yang dapat merugikan petani terutama di perkebunan rakyat. Tujuan penelitian kami adalah untuk mengembangkan sistem berbasis *website* untuk klasifikasi kualitas bunga cengkeh kering menggunakan logika fuzzy metode Tsukamoto. Tahapan pengembangan sistem menggunakan metode waterfall meliputi analisis kebutuhan sistem, desain arsitektur dan antarmuka, implementasi website dengan metode fuzzy Tsukamoto, serta pengujian. Metode implementasi logika *fuzzy* tsukamoto dipilih karena kemampuannya dalam mengolah data tidak pasti dan menghasilkan output yang konsisten. Temuan kami berhasil menghasilkan sistem yang dinamakan 'Clove Tester' berbasis web, dengan rata-rata sensitivitas dari pengujian sensitivitas berdasarkan modifikasi fungsi keanggotaan variabel kondisi dan kualitas sebesar 45,99%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap variasi data input, sehingga cocok untuk diterapkan pada data yang memiliki tingkat ketidakpastian atau ambiguitas tinggi pada penelitian ini.

Kata kunci: *clove tester; klasifikasi cengkeh; kualitas cengkeh; logika fuzzy; metode tsukamoto*

Abstract

Indonesian cloves have strong competitiveness in the main market due to their economic benefits, such as being raw materials for kretek cigarettes, spices, and the perfume industry. However, high global competition demands improvements in product quality and consistency. The manual and subjective sorting of cloves often leads to inaccuracies and inconsistencies in quality, which can be detrimental to farmers, especially in smallholdings. The objective of our research is to develop a web-based system for classifying the quality of dried clove flowers using the Tsukamoto fuzzy logic method. The stages of system development using the waterfall method include system requirements analysis, architecture and interface design, website implementation with the Tsukamoto fuzzy method, and testing. The Tsukamoto fuzzy logic implementation method was chosen due to its ability to process uncertain data and produce consistent output. Our findings successfully produced a web-based system called 'Clove Tester', with an average sensitivity of 45.99% from sensitivity testing based on modifications to the membership function of condition and quality variables. These results indicate that the system has a good adaptability to variations in input data, making it suitable for application to data with a high level of uncertainty or ambiguity in this research.

Keywords: *clove tester; clove classification; clove quality; fuzzy logic; tsukamoto method*



PENDAHULUAN

Cengkeh merupakan komoditas penting bagi Indonesia yang diakui sebagai negara penghasil cengkeh terbesar di dunia (Mellinia et al., 2024; Wijayanti et al., 2023). Secara umum, cengkeh Indonesia memiliki daya saing yang kuat di pasar utama, menurut hasil penelitian yang mempertimbangkan analisis metode *Revealed Comparative Advantages* (RCA) dan *Export Product Dynamisc* (EPD) (Hidayah et al., 2022). Bagian cengkeh yang memiliki nilai ekonomi tinggi terletak pada bagian bunga, tangkai bunga, dan daun cengkeh. Bagian tersebut digunakan sebagai bahan baku campuran tembakau dalam pembuatan rokok kretek, rempah-rempah, minyak atsiri, bahan baku industri farmasi, parfum, bahkan aneka makanan (Mellinia et al., 2024). Tingginya tingkat persaingan seiring dengan meningkatnya ekspor cengkeh dunia, mengharuskan Indonesia meningkatkan daya saingnya (Dewi et al., 2021). Menurut Yaspin et al., (2020) berkurangnya kualitas hasil panen tanaman cengkeh mengakibatkan kerugian bagi banyak masyarakat, terutama bagi masyarakat pedesaan yang hidupnya bergantung pada hasil panen cengkeh, karena sebagian besar perkebunan cengkeh dikelola oleh perkebunan rakyat (Talib et al., 2024). Menurut Chalik et al., (2021), industri cengkeh menginginkan kualitas tinggi dan konsisten, namun penyortiran cengkeh masih menggunakan tenaga manual sehingga ketelitian dalam penyortiran cengkeh kurang dapat diandalkan. Dikarenakan pemilahan kualitas cengkeh saat ini masih dilakukan secara manual yang seringkali bersifat subjektif dan tergantung pada pengalaman individu, sehingga besar kemungkinan dapat mengakibatkan kualitas bunga cengkeh tidak konsisten dan terdapat ketidakakuratan.

Pada bidang teknologi informasi, sistem cerdas dapat digunakan untuk melakukan pengambilan keputusan terkait dengan penentuan kualitas mutu cengkeh. Logika *fuzzy* biasanya digunakan untuk memecahkan masalah yang melibatkan sejumlah tingkat ketidakpastian (Saputra et al., 2024). Pendekatan logika fuzzy telah terbukti efektif dalam melakukan klasifikasi dari masukkan gejala ke dalam hasil diagnosis (Al Hafidz et al., 2023). Penerapan logika fuzzy menggunakan metode tsukamoto dalam mengevaluasi mutu cengkeh dapat menjadi pendekatan yang berguna untuk menangani ketidakpastian dan kompleksitas dalam penilaian mutu. Pada penelitian yang kami lakukan, kualitas mutu cengkeh ditentukan berdasarkan mutu fisik.

Menurut Lumbessy (2023) mutu fisik cengkeh meliputi warna bunga, bau dan cemaran/kotoran. Namun menurut Standar Mutu Produk Bunga Cengkeh Kering (SNI 01-3392-1994), syarat mutu cengkeh berdasarkan fisiknya dapat ditentukan berdasarkan ukuran, warna, bau. Sedangkan pada jurnal milik Vicidomini et al., (2021) mengatakan bahwa cengkeh utuh, mengandung kebaikan sejumlah besar minyak di bagian dalamnya. Data yang digunakan dalam metode Tsukamoto terdiri dari faktor-faktor yang memengaruhi dan berfungsi sebagai variabel input yang akan diproses dengan metode Tsukamoto (Ramadhani et al., 2024). Sehingga variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ukuran, warna dan kondisi, yang diukur menggunakan himpunan fuzzy sebagai data input untuk penilaian dan menerapkan aturan yang telah ditetapkan sehingga bisa menghasilkan output kualitas mutu cengkeh sesuai kelasnya. Logika fuzzy digambarkan sebagai kotak hitam yang menghubungkan ruang input dengan output (Maryam et al., 2021). Pada konsep *fuzzy inference* terdapat istilah fungsi keanggotaan (*membership function*) yang digunakan untuk mengungkapkan sejauh mana suatu variabel termasuk dalam himpunan fuzzy (Zamzani et al., 2023).

Banyak penelitian mengenai klasifikasi mutu menggunakan logika *fuzzy* Tsukamoto seperti yang dilakukan oleh (Al Rivan et al., 2021) menunjukkan keberhasilan logika fuzzy Tsukamoto dalam klasifikasi kualitas pepaya, dengan akurasi yang cukup baik. Penelitian mengenai klasifikasi mutu menggunakan logika *fuzzy* tsukamoto juga dilakukan oleh (Sinuhaji et al., 2022) yang diterapkan untuk klasifikasi kualitas minyak kelapa sawit dan menyimpulkan bahwa metode ini lebih cepat dan efisien dibanding secara manual. Penelitian oleh (Sinuhaji et

al., 2022) ini akan memperluas pendekatan yang sudah ada dengan menggunakan logika fuzzy Tsukamoto untuk meningkatkan keakuratan dan konsistensi dalam klasifikasi kualitas cengkeh secara lebih efisien. Selanjutnya, penelitian oleh Yaspin et al. (2020), dengan menerapkan metode *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) untuk mengklasifikasikan kualitas cengkeh berdasarkan ukuran dan warna dengan akurasi 92,50%. Meski hasilnya baik, penelitian tersebut belum memanfaatkan logika fuzzy dalam menangani ketidakpastian data. Sehingga, untuk menutupi celah tersebut, sistem ini dirancang untuk meningkatkan keakuratan klasifikasi sekaligus mampu menangani data yang tidak pasti atau ambigu secara lebih baik dibandingkan pendekatan sebelumnya. Dengan memadukan keunggulan logika *fuzzy* dalam menangani ketidakpastian dan kecepatan pemrosesan, sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi yang lebih efisien dan akurat untuk kebutuhan klasifikasi kualitas cengkeh dalam skala industri.

Tujuan dari penelitian kami adalah membangun sistem klasifikasi kualitas cengkeh berbasis web. Diharapkan sistem dapat meningkatkan akurasi dan konsistensi penilaian kualitas cengkeh, sehingga dapat membantu para petani mendapatkan harga jual yang sesuai dengan kualitas produk mereka. Selain itu, penelitian ini akan membantu industri dalam memastikan pasokan cengkeh berkualitas yang diharapkan secara konsisten, yang akan berimplikasi positif terhadap keberlanjutan ekspor dan stabilitas harga di pasar global. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam penerapan teknologi logika *fuzzy* di sektor pertanian, khususnya dalam penilaian kualitas komoditas, dan menjadi acuan bagi pengembangan sistem serupa untuk komoditas lain.

METODE

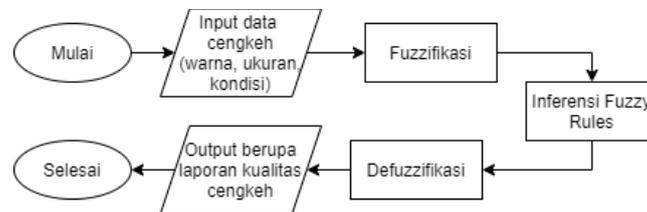
Metode yang digunakan dalam mengembangkan website penelitian kualitas cengkeh ini adalah metode *waterfall*. Metode *waterfall* merupakan salah satu metode dalam *System Development Life Cycle* (SDLC) yang pengerjaan setiap tahapan dalam metode ini harus diselesaikan sebelum melanjutkan ke fase berikutnya (Heriyanti et al., 2020). Metode *waterfall* dipilih karena memungkinkan untuk menyelesaikan setiap fase secara menyeluruh dan memastikan bahwa semua kebutuhan pengguna untuk sistem pengecekan kualitas cengkeh telah didefinisikan dengan baik sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya.



Gambar 1. Alur kerja metode *waterfall*

Pada gambar 1. semua langkah pengembangan sistem menggunakan metode *waterfall* dilakukan secara bertahap. Tahapan pertama melakukan analisis kebutuhan sistem, yaitu untuk menentukan fitur-fitur yang diperlukan, hingga menghasilkan *output* berupa klasifikasi kualitas. Setelah itu, menentukan pengguna sistem yaitu penyortir cengkeh. Lalu menentukan kebutuhan teknologi, mengenai *software* dan *hardware* yang digunakan. Berikutnya, menentukan metode yang akan digunakan untuk menentukan kualitas mutu cengkeh yaitu logika *fuzzy* metode Tsukamoto. Pada tahap desain, hasil dari analisis kebutuhan kemudian di representasikan dalam bentuk rancangan sistem dan penggambaran rencana tampilan antarmuka sebelum diimplementasikan kedalam bentuk kode pemrograman. Selanjutnya, tahap implementasi yaitu perancangan sistem untuk menentukan kualitas cengkeh

menggunakan metode *fuzzy* Tsukamoto sebagai sistem pengambilan keputusan. Metode *fuzzy* Tsukamoto dipilih karena dapat menghasilkan hasil dari data yang ambigu, kualitatif, dan tidak tepat (Fatony et al., 2023).



Gambar 2. Alur kerja sistem fuzzy tsukamoto

Berdasarkan gambar 2. sistem dimulai dengan pengumpulan data sampel cengkeh dari perkebunan rakyat dengan kondisi fisik cengkeh yang bervariasi. Pada tabel 1., fungsi keanggotaan variabel ukuran ditentukan berdasarkan ukuran umum bunga cengkeh yaitu sekitar 4 – 8 mm. Sementara untuk domain variabel Kondisi dan Warna, digunakan rentang 1 sampai 10 agar pembuatan fungsi keanggotaan lebih mudah diatur, di mana setiap tingkat dalam skala 1-10 dapat dikonversi secara linier ke nilai keanggotaan fuzzy, selain itu digunakan rentang 1-10 juga agar mudah dimengerti dan dioperasikan oleh sistem komputasi.

Tabel 1. Variabel *input fuzzy*

Variabel	Himpunan Keanggotaan	Fungsi keanggotaan
Ukuran	Kecil	4.0 – 6.0
	Sedang	5.0 – 7.0
	Besar	6.0 – 8.0
Kondisi	Tidak Utuh	0 – 5
	Utuh Tak Berkuncup	2 – 7
	Utuh Berkuncup	6 – 10
Warna	Coklat	0 – 4
	Coklat Kehitaman	3 – 8
	Kehitaman	7 – 10

Selanjutnya, variabel input berupa data *crisp*, dari ukuran, warna, dan kondisi, diubah menjadi nilai *fuzzy* berdasarkan fungsi keanggotaan, kemudian aturan *fuzzy* digunakan untuk menghubungkan kombinasi input dengan *output* yang sesuai. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan 27 inferensi *rules* yang didapatkan dari kombinasi setiap variabel input berdasarkan pada pemahaman peneliti yang didapatkan setelah melakukan studi literatur. Pada penelitian ini, proses *defuzzifikasi* dilakukan menggunakan perhitungan sistem rumus nilai Z dari perhitungan *defuzzifikasi*, nilai Z diukur menggunakan derajat keanggotaan pada variabel kualitas untuk menentukan hasil akhir klasifikasi kualitas yang tepat. Hasil akhir dari logika *fuzzy* metode Tsukamoto diperoleh menggunakan rata-rata terbobot yang dihitung menggunakan persamaan (1). Penelitian ini menghasilkan variabel output kualitas yang terdiri dari 3 kategori yaitu Mutu I, Mutu II dan Mutu III, dimana setiap kategori diukur berdasarkan hasil dari variabel input yang sudah dilakukan perhitungan *fuzzy* berdasarkan hasil *score fuzzy* pada tabel 2.

$$z = \frac{\sum(\mu_i \cdot z_i)}{\sum \mu_i} \tag{1}$$

Keterangan:

z : Output skor fuzzy

μ_i : Derajat keanggotaan (*membership degree*) untuk aturan ke-i.

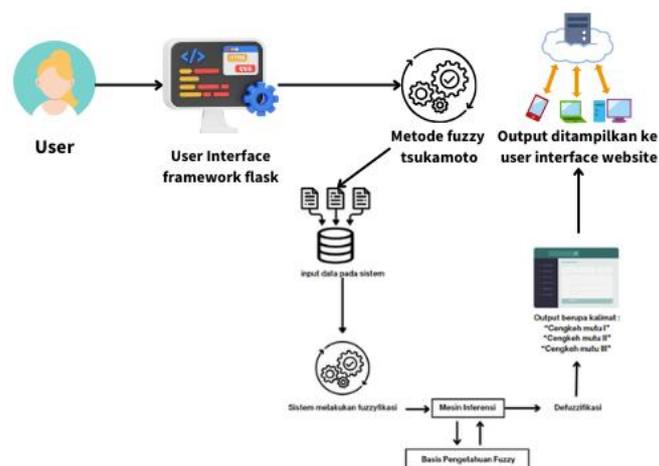
z_i : Nilai *crisp* hasil dari defuzzifikasi pada aturan ke-i.

Tabel 2. Klasifikasi *output* kualitas

Variabel	Himpunan Keanggotaan	Score Fuzzy
Kualitas	Mutu I	7.0 – 10.0
	Mutu II	4.0 – 7.0
	Mutu III	0.0 – 4.0

HASIL DAN PEMBAHASAN**Hasil**

Berdasarkan hasil analisis, terdapat kebutuhan fungsional dan non fungsional sistem. Kebutuhan fungsional dihasilkan dari analisis metode pengembangan sistem dan interaksinya dengan pengguna yaitu sistem dapat melakukan klasifikasi penentuan kualitas cengkeh. Sedangkan kebutuhan non fungsional, seperti penggunaan *framework* yaitu *framework flask* menggunakan bahasa pemrograman *python* dan menggunakan API berbasis JSON. Diagram arsitektur sistem berikut menggambarkan hubungan antar komponen dan mekanisme kerja sistem logika fuzzy metode tsukamoto pada penelitian ini.

**Gambar 3.** Arsitektur sistem fuzzy

Berdasarkan arsitektur sistem fuzzy pada gambar 3, sistem dimulai dengan proses *input* data oleh pengguna melalui *user interface* yang telah disediakan fitur *input* data. Selanjutnya, data dikirim ke *backend*, *Flask* menerima data tersebut lalu dimasukkan ke dalam sistem fuzzy untuk diproses. Sistem fuzzy melakukan olah data berdasarkan tahapannya, lalu menampilkan *output* berupa kalimat seperti "Cengkeh mutu I", "Cengkeh mutu II", atau "Cengkeh mutu III" beserta *score fuzzy*-nya. Hasil ini kemudian dikirim kembali ke *frontend* dalam bentuk HTML yang dirender menggunakan *template engine* seperti Jinja2, atau dalam format JSON untuk aplikasi berbasis API. Data output akhirnya ditampilkan kepada pengguna melalui halaman *website*. Pada gambar 4., dan Gambar 5., merupakan tampilan antar muka dari *website* 'Clove Tester' yang memungkinkan pengguna memasukkan data tentang ukuran, warna, dan kondisi cengkeh pada gambar 4., kemudian diproses oleh sistem untuk menghasilkan penilaian kualitas yang akurat. Hasilnya menunjukkan kepada pengguna bahwa cengkeh diklasifikasikan menjadi Mutu I, II, atau III, pada gambar 5.



Gambar 4. Halaman utama website



Gambar 5. Halaman menampilkan hasil

Memastikan apakah web berjalan dengan baik maka dilakukan pengujian dengan metode *blackbox testing*. Pada penelitian ini pengujian *blackbox* dilakukan pada halaman utama website ketika pengguna melakukan input data dan mengeklik tombol hitung yang dipaparkan pada tabel 3. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, semua menunjukkan hasil yang baik, dimana setiap pengujian menghasilkan nilai ‘benar’ yang artinya tidak ada *error* dan website berjalan dengan baik sesuai yang diharapkan.

Tabel 3. Pengujian *black box*

Halaman yang di uji	Aksi Pengguna	Hasil Sistem		Keterangan Hasil
		Benar	Salah	
Halaman utama website	Input data	Menampilkan opsi input dan menampilkan tempat input untuk memasukkan rentang angka	Tidak menampilkan opsi input dan menampilkan tempat input untuk memasukkan rentang angka	Benar
Halaman hasil	Mengeklik tombol hitung	Menampilkan hasil berupa score fuzzy dan kelas kualitas	Tidak menampilkan hasil berupa score fuzzy dan kelas kualitas	Benar

Selanjutnya dilakukan percobaan untuk menguji apakah algoritma logika *fuzzy* berjalan dengan baik menggunakan 9 sampel bunga cengkeh kering dengan kondisi dan *input* yang bervariasi pada tabel 4. Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa baik sistem dapat menilai kualitas cengkeh dengan mempertimbangkan ukuran, warna, dan kondisi. Setiap sampel menerima input yang bervariasi untuk menguji fungsi keanggotaan yang digunakan. Dilakukan juga pengujian sensitivitas untuk mengevaluasi sejauh mana hasil akhir sistem

dipengaruhi oleh perubahan kecil pada parameter input berdasarkan modifikasi fungsi keanggotaan pada tabel 5.

Tabel 4. Sampel pengujian sistem fuzzy

No	Sampel bunga cengkeh	Kondisi	Keterangan	Nilai
1	A	Warna	Kehitaman	10
		Bentuk	Utuh Berkuncup	7
		Ukuran	Besar	8
2	B	Warna	Kehitaman	8
		Bentuk	Utuh tak berkuncup	6
		Ukuran	Sedang	5
3	C	Warna	Kehitaman	9
		Bentuk	Tidak utuh	3
		Ukuran	Kecil	4
4	D	Warna	Coklat Kehitaman	5
		Bentuk	Utuh tak berkuncup	7
		Ukuran	Besar	8
5	E	Warna	Coklat Kehitaman	7
		Bentuk	Utuh berkuncup	10
		Ukuran	Sedang	6
6	F	Warna	Coklat Kehitaman	6
		Bentuk	Tidak utuh	3
		Ukuran	Kecil	4
7	G	Warna	Coklat	3
		Bentuk	Utuh berkuncup	8
		Ukuran	Besar	8
8	H	Warna	Coklat	2
		Bentuk	Utuh tak berkuncup	6
		Ukuran	Sedang	5
9	I	Warna	Coklat	3
		Bentuk	Tidak utuh	2
		Ukuran	Kecil	4

Tabel 5. merupakan modifikasi dari fungsi keanggotaan dari sistem fuzzy untuk menguji sensitivitas yang terdiri dari variabel kondisi dan kualitas. Sementara itu, hasil pada tabel 6 merupakan hasil dari percobaan untuk input data bunga cengkeh kering yang menggunakan 9 sampel bunga cengkeh berdasarkan dari tabel 4. Sistem klasifikasi kualitas cengkeh berbasis fuzzy Tsukamoto berhasil memberikan hasil yang sesuai dengan kondisi sebenarnya dari tiap sampel.

Hasil pada tabel 6 merupakan pengujian sensitivitas yang menunjukkan adanya variasi skor yang signifikan dibandingkan hasil pengujian asli. Dengan membandingkan pengujian sensitivitas dengan uji sistem didapatkan rata-rata sensitivitas sebesar 45,99% dari modifikasi fungsi keanggotaan pada variabel kondisi dan kualitas. Pada bagian *output* pengujian sensitivitas terdapat hasil 2 jawaban salah, dimana hasil tersebut menunjukkan *output* 'mutu' yang tidak sesuai dengan yang diharapkan.

Tabel 5. Modifikasi rentang fungsi keanggotaan

Variabel	Himpunan Keanggotaan	Fungsi keanggotaan	
		Fungsi keanggotaan awal	Fungsi keanggotaan uji
Kondisi	Tidak Utuh	0 – 5	0 – 3
	Utuh tak berkuncup	5 – 7	2 - 8
	Utuh berkuncup	6 – 10	7 - 10
Kualitas	Mutu I	0.0 – 4.0	1 – 50
	Mutu II	4.0 – 7.0	26 – 75
	Mutu III	7.0 – 10.0	76 - 100

Tabel 6. Hasil pengujian sistem fuzzy

No	Sampel bunga cengkeh	Skor Fuzzy asli	Output kualitas	Skor fuzzy pengujian sensitivitas	Output kualitas Hasil pengujian	Perubahan (%)
1	A	8.67	Benar	51.75	Salah	50.75%
2	B	5.57	Benar	51.19	Benar	50.19%
3	C	3.24	Benar	25.38	Benar	24.38%
4	D	8.67	Benar	51.75	Salah	50.75%
5	E	8.73	Benar	88.31	Benar	87.31%
6	F	1.22	Benar	25.38	Benar	24.38%
7	G	5.55	Benar	51.03	Benar	50.03%
8	H	1.16	Benar	25.38	Benar	24.38%
9	I	1.32	Benar	25.44	Benar	50.75%

Pembahasan

Clove tester adalah sebuah website berbasis logika *fuzzy* dengan metode Tsukamoto, yang dirancang untuk mengklasifikasikan kualitas bunga cengkeh kering dengan menggunakan parameter warna, ukuran, dan kondisi. Sistem ini memberikan penilaian kualitas secara otomatis melalui algoritma *fuzzy* berbasis aturan, dengan menghasilkan *output* yang konsisten. Kelebihan utama dari *clove tester* meliputi akurasi yang terbukti melalui pengujian sensitivitas dengan rata-rata sensitivitas 45,99%, hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap variasi data input. Selain itu, antarmuka yang ramah pengguna, serta kemudahan akses secara *online*. Sistem ini juga memastikan objektivitas penilaian tanpa adanya bias manusia, dan memberikan hasil *real-time* setelah data diinput.

Jika dibandingkan dengan metode lain, seperti *Convolutional Neural Network* (CNN) yang sering diterapkan untuk klasifikasi gambar, seperti penelitian yang dilakukan oleh Chalik et al. (2021), Prayogi et al. (2021), dan Tempola et al. (2024) yang sama-sama mengklasifikasikan kualitas cengkeh, metode Tsukamoto memiliki keunggulan dalam interpretasi aturan yang lebih transparan dan membuatnya lebih mudah diikuti oleh ahli yang memahami sifat data. Namun, metode Tsukamoto mungkin bukan metode yang seakurat CNN dalam klasifikasi gambar yang kompleks. Klasifikasi kualitas minyak kelapa sawit oleh Sinuhaji et al. (2022) atau buah pepaya oleh Al Rivian et al. (2021) adalah dua contoh situasi di mana metode Tsukamoto sering digunakan pada kasus di mana ketidakpastian dan ambiguitas dalam data sangat tinggi, namun penelitian tersebut lebih berfokus pada implementasi metode logika fuzzy Tsukamoto dalam skenario tertentu tanpa melibatkan pengembangan sistem terintegrasi.

Sehingga selain menunjukkan bahwa logika *fuzzy* Tsukamoto berhasil dalam klasifikasi kualitas cengkeh, penelitian ini juga berfokus pada pengembangan sistem berbasis web, yang dimaksudkan untuk meningkatkan aksesibilitas, efisiensi, dan otomatisasi evaluasi kualitas bunga cengkeh kering, serta kemampuan sistem untuk memberikan hasil *real-time* melalui antarmuka berbasis web. Selain itu, sistem ini telah melalui pengujian sensitivitas untuk memastikan bahwa hasil klasifikasi tetap konsisten meskipun terdapat perubahan pada input data. Dalam studi sebelumnya, aspek ini sering kali kurang disorot, terutama terkait bagaimana metode tersebut diterjemahkan menjadi alat yang dapat digunakan oleh pengguna non-teknis, sekaligus membedakan diri dari studi sebelumnya yang hanya berhenti pada tahap simulasi atau validasi metode (Chalik et al., 2021; Prayogi et al., 2021; Tempola et al., 2024). Namun, penggunaan logika *fuzzy* Tsukamoto dalam penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Variabel *input* seperti ukuran, warna, dan kondisi fisik cengkeh mungkin tidak mencakup semua variasi yang ada di lapangan, sehingga diperlukan penyesuaian atau pengujian tambahan untuk memastikan hasil yang lebih representatif.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode *fuzzy* Tsukamoto efektif dalam klasifikasi kualitas bunga cengkeh kering dengan standar yang diinginkan. Keunggulannya terletak pada kemampuan untuk menangani data ambigu, memberikan klasifikasi yang konsisten meskipun ada perbedaan dalam kondisi fisik seperti ukuran, warna, dan kondisi, dan memberikan kecepatan serta efisiensi yang lebih tinggi daripada metode manual. Kontribusi utama penelitian ini adalah pengembangan sistem klasifikasi mutu berbasis logika *fuzzy* untuk produk pertanian, khususnya cengkeh, yang dapat diterapkan lebih luas. Dalam dunia pertanian, terdapat kemungkinan pengembangan lebih lanjut jika metode *fuzzy* dan pembelajaran mesin digabungkan untuk meningkatkan ketepatan dalam kondisi yang lebih kompleks.

REFERENSI

- Al Hafidz, A. F., Dharmawan, D. P., Anggraeni, S. D., & Sari, A. P. (2023). Perbandingan Penerapan Logika Fuzzy Metode Mamdani dan Metode Tsukamoto pada Sistem Diagnosa Penyakit Tanaman Padi. *Prosiding Seminar Nasional Informatika Bela Negara*, 3, 28-36.
- Al Rivan, M. E., Octavia, A., & Wijaya, I. (2021). Desain Model Fuzzy-tsukamoto Untuk Penentuan Kualitas Buah Pepaya California (Carica Papaya L.) Berdasarkan Bentuk Fisik. *Jurnal Saintekom: Sains, Teknologi, Komputer dan Manajemen*, 11(1), 11-21. <https://doi.org/10.33020/saintekom.v11i1.155>
- Chalik, F. A., & Al Maki, W. F. (2021). Classification of dried clove flower quality using convolutional neural network. *International Conference on Data Science, Artificial Intelligence, and Business Analytics (DATABIA)* (pp. 40-45). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DATABIA53375.2021.9650199>
- Dewi, C., Achsanulnashir, A., & Widiyono, W. (2021). Analisis Daya Saing Ekspor Cengkeh Indonesia Di Pasar Internasional. *JAMBIS: Jurnal Administrasi Bisnis*, 1(1), 24-30. <https://doi.org/10.20527/frontbiz.v5i3.5925>
- Fatony, Y. R., & Nugroho, K. (2023). Penentuan Pemilihan Varitas Unggul Pada Tanaman Padi Menggunakan Logika Fuzzy Tsukamoto Berbasis Web. *Elkom: Jurnal Elektronika dan Komputer*, 16(2), 406-415.
- Heriyanti, F., & Ishak, A. (2020). Design of logistics information system in the finished product warehouse with the waterfall method: review literature. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 801(1), 012100. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/801/1/012100>

- Hidayah, M., Fariyanti, A., & Anggraeni, L. (2022). Daya Saing Ekspor Cengkeh Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, 6(3), 930-937. <https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2022.006.03.14>
- Lumbessy, A. S. (2023, July). Kajian Penyusunan Masterplant Pengembangan Hulu–Hilir Produk Turunan Cengkeh Varietas Afo Maluku Utara. *Prosiding Seminar Nasional Pertanian*, 6(1), 76-86.
- Maryam, S., Bu'Ulolo, E., & Hatmi, E. (2021). Penerapan Metode Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Tsukamoto Dalam Menentukan Harga Mobil Bekas. *Journal of Informatics, Electrical and Electronics Engineering*, 1(1), 10-14.
- Prayogi, I. Y., & Hendrawan, Y. (2021). Image classification of different clove (*Syzygium aromaticum*) quality using deep learning method with convolutional neural network algorithm. *Conference Series: Earth and Environmental Science*, 905(1), 012018. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/905/1/012018>
- Mellinia, S. P., & Wijayanti, I. K. E. (2024). Analisis Daya Saing Ekspor Cengkeh Indonesia Di Pasar Internasional. *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 8(3), 947-958.
- Ramadhani, D. H., Srikandi, R., Ikhwan, M., & Saputra, R. A. (2024). Penerapan Logika Fuzzy Dalam Klasifikasi Status Gizi Balita Di Puskesmas Pondidaha Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(2), 903-911. <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i2.4017>
- Saputra, D., Lestanti, S., & Rahmat, M. F. (2024). Implementasi Logika Fuzzy Pada Rancang Bangun Sistem Informasi Parkir Berbasis Web Di Universitas Islam Balitar. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3), 3058-3065. <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.5087>
- Sinuhaji, N., Ginting Raheliya Br, Benar, & Lestiana Cindy. (2022). Sistem Pendukung Keputusan Untuk Menentukan Kualitas Crude Palm Oil Sebagai Bahan Baku Minyak Goreng Menggunakan Matlab Dengan Metode Fuzzy Logic Tsukamoto. *Jurnal Informatika Dan Perancangan Sistem (Jips)*, 4(2), 1-6.
- Talib, S., Sudin, S., & Suratin, M. D. (2024). Penerapan Metode Support Vector Machine (Svm) Pada Klasifikasi Jenis Cengkeh Berdasarkan Fitur Tekstur Daun. *PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Sistem Komputer*, 11(1), 26-34. <https://doi.org/10.30656/prosisko.v11i1.7911>
- Tempola, F., Wardoyo, R., Musdholifah, A., Rosihan, & Sumaryanti, L. (2024). Classification Of Clove Types Using Convolution Neural Network Algorithm With Optimizing Hyperparamters. *Bulletin Of Electrical Engineering and Informatics*, 13(1), 444–452. <https://doi.org/10.11591/eei.v13i1.5533>
- Vicidomini, C., Roviello, V., & Roviello, G. N. (2021). Molecular basis of the therapeutical potential of clove (*Syzygium aromaticum* L.) and clues to its anti-COVID-19 utility. *Molecules*, 26(7), 1880. <https://doi.org/10.3390/molecules26071880>
- Wijayanti, I. K. E., Rachmanto, A., Soedirman, J., Drsoeparno, J., & Jawa Tengah, P. (2023). Daya Saing Dan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Ekspor Cengkeh Indonesia Competitiveness and Factors That Affecting Exports of Indonesian Clove. *Jurnal Dinamika Sosial Ekonomi*, 24(2), 126–140. <https://doi.org/10.31315/jdse.v24i2.10021>
- Yaspin, Y. N., Widodo, D. W., & SETIAWAN, A. B. (2020). *Klasifikasi Kualitas Bunga Cengkeh untuk Meningkatkan Mutu Dengan Pemanfaatan Ciri Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM)* (Doctoral dissertation, Universitas Nusantara PGRI Kediri).
- Zamzani, Z. M., Nurdiansyah N.A, M. R., & Yana, B. Y. (2023). Deteksi Stres Manusia Melalui Analisis Tidur Dengan Metode Fuzzy. *Technovatar Jurnal Teknologi, Industri, Dan Informasi*, 1(1), 58–71. <https://doi.org/10.61434/technovatar.v1i1.60>