

Penerapan Fuzzy Logic untuk Meningkatkan Efisiensi Proses Pembuatan Garam

Fitri¹, Sidik Nurcahyo², Dinda Ayu Permatasari³, Arik Mahesa Wiradana⁴

e-mail: fitri@polinema.ac.id, sidik.nurcahyo@polinema.ac.id, dinda_ayu@polinema.ac.id,
arikwdn123@gmail.com

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 23 Mei 2024
Direvisi 29 September 2024
Diterbitkan 30 September 2024

Kata kunci:

Garam
metode konvensional
pelat pemanas
fuzzy
produksi efisien.

Keywords:

salt
conventional techniques
plate heater
fuzzy logic
efficient production

ABSTRAK

Garam merupakan komponen krusial dalam kehidupan sehari-hari manusia. Biasanya, produksi garam masih mengandalkan teknik konvensional yang memerlukan banyak waktu dan tenaga manual. Selain itu, variabel cuaca dan musiman dapat mempengaruhi produktivitas dan efektivitas produksi garam. Untuk meningkatkan efisiensi produksi garam dan memastikan produksi garam berkualitas tinggi dalam jangka waktu yang lebih singkat, perlu digunakan alat pembuat garam yang menggunakan pelat pemanas untuk memanaskan air laut. Teknologi ini menggunakan metode logika fuzzy untuk mengontrol suhu secara akurat dan dinamis. Penerapan metode logika fuzzy memungkinkan pengolahan data yang tidak pasti dengan memanfaatkan himpunan fuzzy, sehingga meningkatkan efisiensi instrumen penghasil garam. Temuan penelitian menunjukkan bahwa pembuat garam ini memiliki banyak keunggulan, termasuk pengurangan biaya tenaga kerja, peningkatan efisiensi, dan kemampuan memproduksi garam berkualitas tinggi dalam jangka waktu 7 jam. Hal ini dicapai melalui fungsi optimal sensor, metode fuzzy, dan pemanas, yang memberikan manfaat besar bagi pembuat garam.

ABSTRACT

Salt is a crucial component in the daily lives of humans. Typically, the production of salt still relies on conventional techniques that necessitate a significant amount of time and manual effort. In addition, weather and seasonal variables can impact the productivity and effectiveness of salt production. In order to enhance the efficiency of salt production and ensure the manufacture of high-quality salt within a shorter timeframe, it is necessary to employ a salt maker that utilizes a heating plate to heat seawater. This technology utilizes a fuzzy logic method to accurately and dynamically control temperature. The application of the fuzzy logic method enables the processing of uncertain data by utilizing fuzzy sets, hence enhancing the efficiency of the salt producing instrument. The research findings demonstrate that this salt maker has multiple advantages, including reduced labor expenses, improved efficiency, and the ability to manufacture high-quality salt within a 7-hour timeframe. This is achieved through the optimal functioning of sensors, fuzzy methods, and heaters, which provide substantial benefits for salt makers.

Penulis Korespondensi:

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



Fitri,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jl. Soekarno Hatta No. 9,
Malang, Jawa Timur,
Indonesia, Kode Pos. 65141
Email: fitri@polinema.ac.id
Nomor HP/WA aktif: +62
812-3365-230

1. PENDAHULUAN

Proses pembuatan garam dari air laut di Indonesia menggunakan metode penguapan dengan sinar matahari di atas permukaan tanah. Ini melibatkan tahap pemetakan air laut dan pemisahan garam melalui kristalisasi. Saat terjadi proses kristalisasi, komponen garam bahan baku ditempatkan secara berturut-turut di tempat yang berbeda untuk memungkinkan pemisahan komponen garam yang lebih murni [1].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan efektivitas produksi garam melalui pembuatan alat yang memanfaatkan pelat pemanas yang diatur dengan pendekatan logika fuzzy. Alat ini akan memungkinkan optimalisasi proses penguapan air laut dan kristalisasi garam secara dinamis dan tepat. [2] menemukan bahwa metode logika fuzzy mampu menangani data yang tidak pasti dan rumit, sehingga meningkatkan efisiensi pengendalian suhu di banyak aplikasi industri. Teknik ini diharapkan dapat secara efektif mengatasi dampak fluktuasi cuaca dan musiman yang sering menghambat efisiensi metode konvensional. [3] Produksi garam tradisional sangat rentan terhadap cuaca dan perubahan musim. Produksi garam berkualitas tinggi secara efisien dalam jangka waktu terbatas merupakan prioritas utama, selaras dengan temuan yang menunjukkan penerapan teknologi pemanasan dapat mempercepat proses kristalisasi garam. [4] Oleh karena itu, teknologi ini tidak hanya mengurangi biaya yang berkaitan dengan tenaga kerja manusia tetapi juga meningkatkan ketergantungan dan keseragaman produksi. Hal ini dapat menyebabkan penerapan otomatisasi pada produksi garam menyebabkan peningkatan efisiensi operasional dan kualitas produk. [5]

Proses pembuatan garam tradisional melibatkan penggunaan penguapan alami, yang difasilitasi oleh sinar matahari, untuk memisahkan garam dari air laut. Prosedur ini dimulai dengan pengelolaan asupan air laut dan diakhiri dengan pengumpulan garam, yang berlangsung selama kurang lebih satu bulan. Selama musim hujan, terutama dengan pola cuaca yang tidak dapat diprediksi dan sering mengakibatkan curah hujan sepanjang tahun, terjadi penurunan produksi garam secara signifikan. [6]. Penurunan produksi memerlukan penerapan teknik pembuatan garam yang inovatif guna meningkatkan produktivitas dan pendapatan petani.

Untuk meningkatkan produksi garam, digunakan teknik yang dikenal sebagai pendekatan "pemanasan", yang mengandalkan prinsip suhu. Eksperimen tersebut melibatkan penerapan air laut dalam lingkungan terbatas dan panas, untuk melihat bagaimana perbedaan suhu mempengaruhi penguapan air dari air laut. Akibatnya salinitas air laut meningkat [7]. Manipulasi suhu terbukti mempercepat proses penguapan dan meningkatkan efisiensi produksi garam.



Proses Teknologi Multi Level *Sprinkle* mempercepat produksi garam hingga 25 hari dibandingkan proses standar yang memakan waktu satu bulan.[8] Penerapan teknik ini menghasilkan peningkatan hasil garam yang signifikan, yaitu meningkat dari 30 ton per panen atau 300 ton per musim menjadi 60 ton per panen atau 600 ton per musim produksi garam [9] . Selain itu, metode ini mudah diterapkan karena merupakan kemajuan teknis dalam produksi garam, dan biaya untuk menyertakan *sprinkler* sebagai peralatan tidak mahal [10].

Proses pembuatan garam kristal dari udara laut dengan Metode Teknologi *Multilevel Sprinkling* terdiri dari beberapa tahapan. Prosedurnya dimulai dengan mengumpulkan udara laut dengan berat jenis 3 *Baume*, yang selanjutnya melalui serangkaian tahapan yaitu SP1, SP2, SP3, dan SP4, dengan jeda waktu dua jam antara setiap tahapan [11] . Air laut desalinasi selanjutnya diarahkan ke meja kristalisasi untuk menghasilkan garam kristal. Faktor penelitian seperti berat jenis *Baume* diukur setiap dua jam pada setiap tingkat [12].

Dalam penelitian lain dikatakan bahwa proses pembuatan garam dengan teknik *multistage sprinkle* dapat menghasilkan garam dengan konsentrasi udara yang optimal untuk kristalisasi yaitu berkisar antara 25 hingga 29 derajat *Baume* [13] . Pendekatan ini juga menunjukkan peningkatan kemanjuran dalam prosedur kristalisasi, sehingga dapat diterapkan dalam skala besar dalam bisnis garam untuk meningkatkan kaliber dan volume produksi [14].

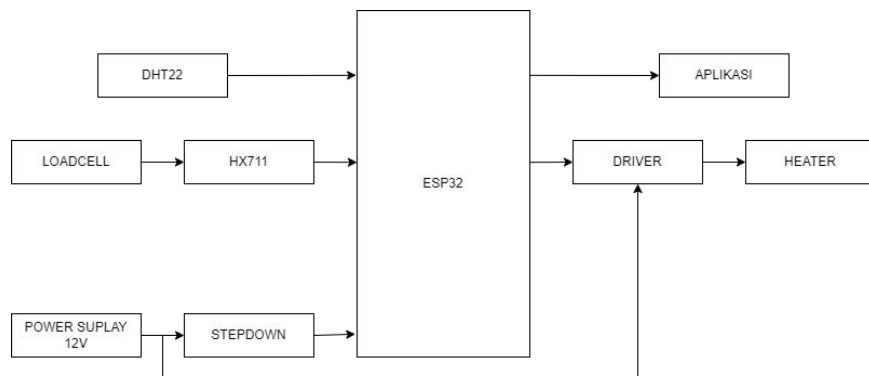
Selain itu, efektivitas pendekatan percikan *multilayer* dapat ditingkatkan dengan menerapkan logika *fuzzy* untuk mengatur distribusi panas. Sistem logika *fuzzy* dapat mengontrol pemanas secara otomatis pada proses penguapan untuk mencapai keadaan ideal dengan menggunakan masukan suhu dan berat jenis [15] . Penerapan sistem logika *fuzzy* ini dapat meningkatkan efektivitas dan keseragaman produksi garam, sekaligus mengurangi ketergantungan pada kondisi cuaca [10].

Hasil, menunjukkan bahwa penggunaan alat pembuat garam yang dilengkapi pelat pemanas yang diatur dengan pendekatan logika *fuzzy* menawarkan beberapa manfaat penting. Teknologi ini secara efektif mengurangi biaya tenaga kerja dengan meminimalkan ketergantungan pada prosedur manual. Selain itu, terdapat peningkatan signifikan dalam efisiensi produksi, yang menghasilkan kemampuan mesin ini untuk memproduksi garam terbaik dalam jangka waktu yang lebih singkat, yaitu sekitar 7 jam. Dengan menggunakan sensor yang tepat dan pengaturan suhu yang tepat menggunakan teknik logika *fuzzy*, proses produksi dijamin dapat beroperasi dengan lancar dan efektif, sehingga menghasilkan garam berkualitas tinggi yang dapat diandalkan.

2. METODE PENELITIAN

Pembuatan garam dengan menggunakan *sprinkle* bertingkat dan digabungkan dengan *fuzzy* akan meningkatkan efisiensi produksi garam. Alat pembuatan garam ini menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler, DHT22 sebagai sensor suhu, *Loadcell* diimplementasikan untuk mengukur berat jenis dan heater sebagai pemanasnya. Untuk lebih jelasnya lihat blok diagram pada Gambar 1.

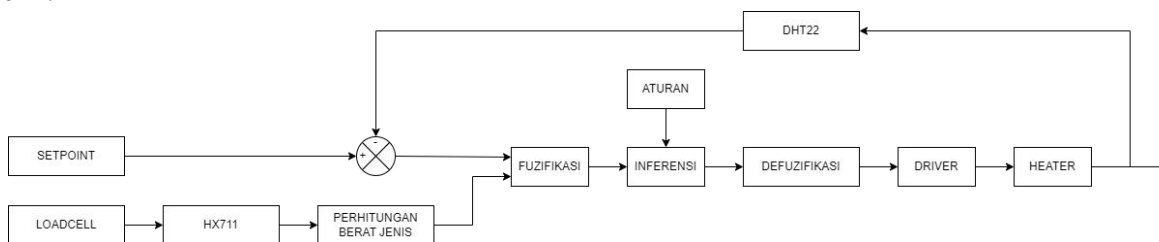




Gambar 1: Blok diagram

Diagram blok sistem pada Gambar 1 memberikan gambaran komprehensif tentang keterkaitan antar komponen berbeda yang penting dalam konteks sistem produksi garam. Data pertama dikumpulkan dari dua yaitu sensor DHT22 yang digunakan untuk mengukur suhu dan sensor *loadcell* yang digunakan untuk implementasi sensor berat jenis garam. Prosedur selanjutnya meliputi modifikasi tegangan catu daya primer menggunakan peralatan *stepdown*, dengan tujuan menyelaraskan tegangan dengan spesifikasi pengoperasian mikrokontroler ESP32, yang berfungsi sebagai unit kendali pusat sistem. ESP32 memainkan peran penting dalam integrasi dan pemrosesan data masukan, serta menghasilkan instruksi keluaran yang sesuai. Elemen terakhir dari sistem ini terdiri dari pengaturan pemanasan yang dikontrol oleh pemanas penggerak, yang berupaya menyediakan kondisi suhu yang sesuai selama proses produksi garam. Selain itu, koneksi internet ESP32 memainkan peran penting dalam memfasilitasi pemantauan jarak jauh dan pengendalian sistem melalui aplikasi yang sesuai.

Untuk sistem kendali dalam sebuah alat pembuatan garam ini menggunakan metode *fuzzy logic* di dalam sistemnya. Hal ini lebih baik daripada menggunakan PID karena dalam alat pembuatan ini membutuhkan kontrol adaptif dan bukan kontrol stabilitas. Untuk blok sistem alat ini bisa di lihat di Gambar 2.

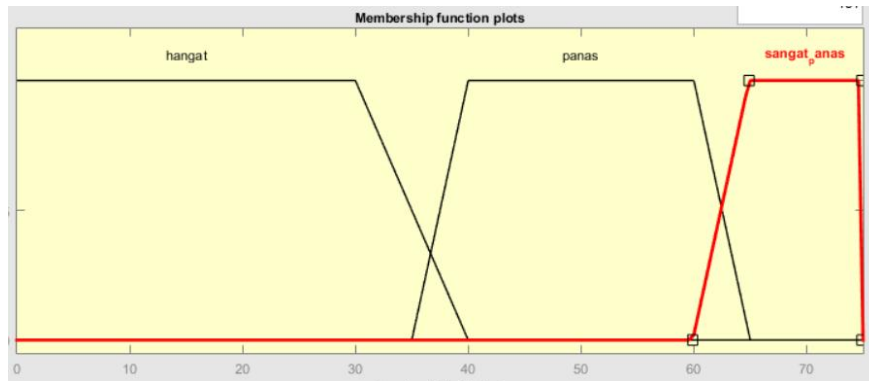


Gambar 2: Blok sistem

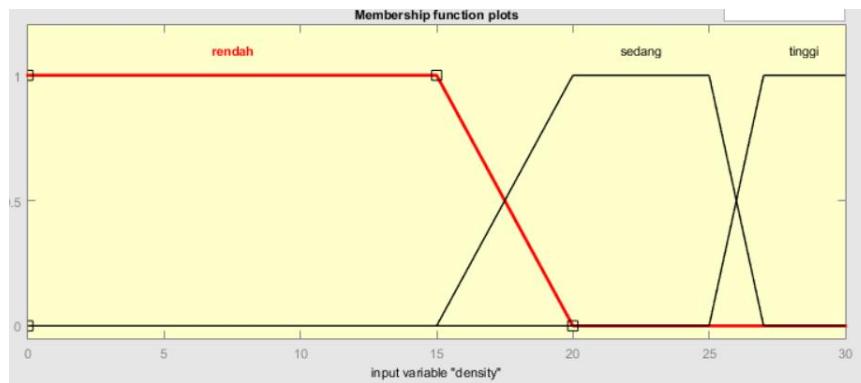
Berdasarkan Gambar 2 merupakan blok diagram kontrol sistem yang dapat diketahui prinsip kerja alat pembuat garam melalui 3 tahap yaitu masukan, proses dan keluaran. ESP32 sebagai proses pengendalian yang akan mengontrol *heater*. Dalam blok sistem pada Gambar 2 terdapat perancangan *fuzzy*. Perancangan logika *fuzzy* dalam alat pembuat garam ini melibatkan beberapa langkah penting yang bertujuan untuk mengoptimalkan kontrol suhu dan berat jenis garam selama proses produksi.



Perancangan fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk DHT22 terdapat pada Gambar 3 dan Perancangan fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk berat jenis ada pada Gambar 4.



Gambar 3: Fungsi keanggotaan untuk suhu



Gambar 4: Fungsi keanggotaan untuk berat jenis

Fungsi keanggotaan ditetapkan untuk setiap variabel masukan dalam sistem. Suhu (T) dan berat jenis (B) berfungsi sebagai variabel masukan penting dalam proses pembuatan garam. Fungsi keanggotaan menunjukkan derajat keanggotaan setiap nilai dalam rentang variabel. Kemudian akan diseleksi menggunakan aturan-aturan yang dibuat dalam inferensi. Inferensi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.

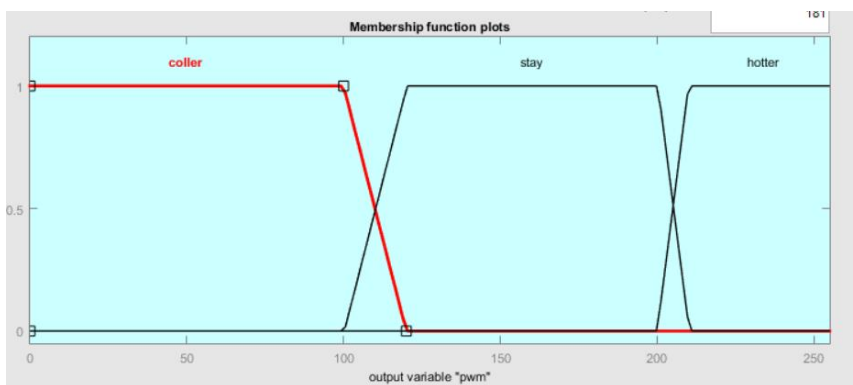
1. If (Suhu is hangat) and (density is rendah) then (pwm is hotter) (1)
2. If (Suhu is hangat) and (density is sedang) then (pwm is hotter) (1)
3. If (Suhu is hangat) and (density is tinggi) then (pwm is stay) (1)
4. If (Suhu is panas) and (density is rendah) then (pwm is stay) (1)
5. If (Suhu is panas) and (density is sedang) then (pwm is stay) (1)
6. If (Suhu is panas) and (density is tinggi) then (pwm is coller) (1)
7. If (Suhu is sangat_panas) and (density is rendah) then (pwm is hotter) (1)
8. If (Suhu is sangat_panas) and (density is sedang) then (pwm is stay) (1)
9. If (Suhu is sangat_panas) and (density is tinggi) then (pwm is coller) (1)

Gambar 5: Inferensi *fuzzy*

Hasil dari pemrosesan nilai derajat keanggotaan dalam sebuah inferensi akan didapat nilai derajat keanggotaan untuk keluaran dalam sebuah *fuzzy*. Nilai derajat keanggotaan keluaran tersebut diproses



kembali sehingga bisa digunakan untuk menggerakkan pelat pemanas menggunakan *driver*. Untuk fungsi keanggotaan keluaran dari *fuzzy* untuk proses defuzifikasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6: Fungsi keanggotaan untuk keluaran *fuzzy*

Dalam fungsi keanggotaan keluaran pada Gambar 6 merupakan nilai PWM untuk mengaktifkan *heater* sebagai pemanas pada alat pembuatan garam ini. Nilai PWM tersebut digunakan untuk mengontrol *heater* melalui *driver*. Rangkaian *driver* biasanya terdiri dari transistor pengendali (biasanya transistor bipolar atau MOSFET kecil), resistor, diode, dan kadang-kadang juga *optocoupler* untuk isolasi *galvanik*. Dalam perancangan alat ini menggunakan MOSFET IRFZ444N. Prinsip kerja pada rancangan ini dengan menggunakan transistor pengendali untuk mengontrol MOSFET dengan memberikan sinyal tegangan pada *gate* MOSFET, sedangkan resistornya berfungsi untuk membatasi arus basis transistor pengendali dan menyesuaikan level tegangan. Arus *gate* pada *Driver* MOSFET IRFZ444N sekitar 10mA hingga 20mA. Sehingga bila menggunakan tegangan 12V berdasarkan hukum ohm dengan rumus

$$V = I \times R \tag{1}$$

$$12 = 10mA \times R \tag{2}$$

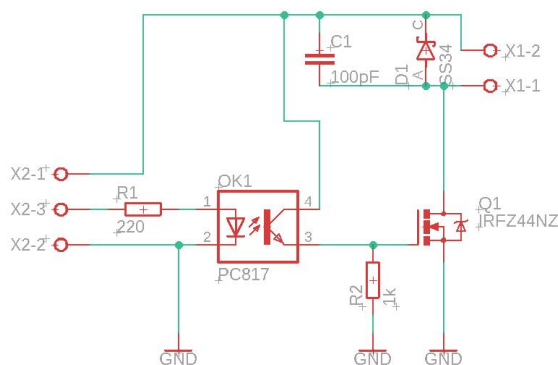
$$R = \frac{12}{10mA} \tag{3}$$

$$R = \frac{12}{0.01A} \tag{4}$$

$$R = 1200\Omega \tag{5}$$

maka resistor yang digunakan adalah 1200ohm. Akan tetapi nilai resistor 1200 tidaklah umum sehingga resistor yang digunakan adalah 1000 ohm. Sedangkan diode biasanya digunakan untuk melindungi elemen pemanas dari arus mundur, juga dikenal sebagai flyback diode. Rangkaian driver bisa dilihat pada Gambar 7





Gambar 7: Rangkaian driver

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam hasil penelitian, Kemajuan signifikan terlihat dalam proses produksi garam selama fase pengujian komprehensif instrumen, yang mencakup sensor dan berat jenis serta pengaturan PWM. 29°C dan nilai PWM tercatat 231 pada pukul 8 pagi, menandai tahap awal. Sepanjang durasi pengujian, Suhu diukur pada suhu menunjukkan kenaikan secara perlahan dan terus menerus hingga mencapai puncak 59°C tepatnya pada pukul 15.00. Selain itu, proses pengisian air ke dalam kotak dilakukan secara bertahap, dimulai dari satu kotak pada pukul 9 pagi dan meningkat menjadi lima kotak pada pukul 1 siang. Proses kristalisasi garam dimulai tepat pukul 13.00 ketika suhu mencapai 55°C, menandakan adanya pergeseran yang signifikan. Memanfaatkan kontrol fuzzy Mamdani untuk mengatur suhu dan berat jenis air memungkinkan tercapainya pengelolaan yang responsif dan efisien, mempertahankan nilai PWM yang konsisten sebesar 158 selama proses kristalisasi. Temuan pengujian menunjukkan peningkatan signifikan dalam efisiensi waktu dan pengendalian proses, memfasilitasi percepatan dan standarisasi produksi garam. TABEL I menampilkan temuan data pengujian sensor secara keseluruhan.

TABEL I: Hasil percobaan

waktu (jam) pagi hingga sore	suhu	density	pwm	Kotak yang terisi air
8	29	0	231	starting up
9	30	0	231	kotak 1
10	39	0	161	kotak 1 dan 2
11	44	0	158	kotak 1 hingga 3
12	50	15	158	kotak 1 hingga 4
13	55	22	158	kotak 1 hingga 5
14	57	22	158	garam mengkristal
15	59	23	158	garam sudah jadi

Berdasarkan Tabel 3.1, data menunjukkan kenaikan suhu yang stabil, yang penting untuk prosedur kristalisasi garam. Proses ini dimulai pada saat-saat penting tertentu, sehingga memberikan pengaruh pada kualitas dan besarnya hasil akhir. Penerapan kendali fuzzy Mamdani dalam pengaturan suhu dan kepadatan air menunjukkan kemampuan adaptasi yang lebih unggul dibandingkan kendali PID, efektif menangani ketidakpastian dan fluktuasi signifikan dalam proses. Metode ini memerlukan pengaturan



kategori suhu dan kepadatan air ke dalam klasifikasi *fuzzy*, dan selanjutnya merumuskan aturan jika-maka untuk mengontrol pemanasan. selanjutnya, proses inferensi Mamdani digunakan untuk menghasilkan keluaran, yang selanjutnya digunakan untuk mengatur elemen pemanas. Oleh karena itu, penggunaan metode modern dalam pembuatan garam mengalami peningkatan yang signifikan dalam kemanjurannya, sehingga hanya membutuhkan waktu delapan jam dibandingkan dengan tiga bulan yang dibutuhkan oleh prosedur tradisional. Selama prosedur ini, suhu diamati dengan cermat, secara bertahap naik dari 29°C menjadi 59°C, sementara air diisi secara terkendali menggunakan Modulasi Lebar Pulsa (PWM). Proses kristalisasi garam dimulai pada suhu 55°C dan berakhir pada pukul 15.00. Metode modern ini menawarkan pengendalian proses yang dipercepat dan terstandarisasi, sehingga sangat meningkatkan efisiensi produksi garam.

Oleh karena itu, penerapan kendali *fuzzy* Mamdani menunjukkan kemampuan adaptasi dan respons yang unggul dalam mengelola fluktuasi kondisi dan parameter proses secara efektif, sehingga menghasilkan peningkatan efisiensi dan keandalan dalam aplikasi pembuatan garam.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penerapan Logika *Fuzzy* dalam pengendalian peralatan pembuatan garam mempunyai pengaruh besar dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses produksi. Dengan menggunakan kontrol *fuzzy* Mamdani, peralatan ini dapat menyesuaikan diri dengan berbagai kondisi lingkungan dan parameter proses, sehingga menghasilkan peningkatan kualitas dan kuantitas garam dalam jangka waktu yang lebih singkat. Temuan pengujian menunjukkan kenaikan suhu secara progresif, dimulai pada 29°C dan mencapai 59°C, dengan permulaan kristalisasi diamati pada 55°C. Selain itu, penggunaan metode modern dalam pembuatan garam ini hanya membutuhkan waktu delapan jam, dibandingkan dengan cara tradisional yang membutuhkan waktu hingga tiga bulan. Dengan memanfaatkan kontrol fuzzy yang adaptif dan presisi, kontrol ini melampaui kontrol PID dalam menangani ketidakpastian dan fluktuasi proses yang signifikan secara efektif. Kesimpulan ini memvalidasi potensi signifikan teknologi fuzzy dalam meningkatkan efisiensi dan standarisasi proses produksi industri skala besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Budi Widiarto, M. Hubeis, and dan Komar Sumantadinata, "Efektivitas Program Pemberdayaan Usaha Garam Rakyat di Desa Losarang, Indramayu," 2013. [Online]. Available: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnalmpi/>
- [2] M. Yusoff, "Application of Fuzzy Logic in Industrial Process Control," *Journal of Automation and Control Engineering*, vol. 8(3), pp. 45–56, 2020.
- [3] L. Zhang and Y. Li, "Implementation of fuzzy logic in industrial salt production," *Journal of Industrial Automation*, pp. 112–121, 2020.
- [4] P. Kumar, "Enhancing Salt Production Efficiency through Advanced Heating Techniques.," *Journal of Applied Thermal Engineering*, vol. 62(2), pp. 101–109, 2019.
- [5] X. Li and Y. Wang, "Automation and Optimization in Salt Production: A Review.," *Industrial Engineering Journal*, vol. 62(2), pp. 89–102, 2021.
- [6] H. Suryanto and D. Lestari, "Dampak musim hujan terhadap produksi garam tradisional," *Agritech Journal*, vol. 21(1), pp. 45–52, 2019.
- [7] S. Bagale and S. Soni, "Enhancing salt production efficiency through temperature control," *Int J Sci Res*, pp. 45–50, 2020.



- [8] A. Pranoto, "Peningkatan produksi garam dengan metode sprinkle bertingkat," *Jurnal Teknologi Pertanian*, vol. 15(2), pp. 123–130, 2020.
- [9] T. Prasetyo and B. Widodo, "Efektivitas metode sprinkle bertingkat dalam produksi garam," *Teknologi Pangan*, pp. 234–240, 2020.
- [10] S. Mairanovski and A. Vinogradov, "Technological advancements in salt production in Russia," *Russian Journal of Industrial Chemistry*, pp. 567–575, 2019.
- [11] A. K. Pranoto, A. A. Djari, R. Sewiko, L. P. Hapsari, H. Haryanto, and C. Anwar, "Percepatan Pembuatan Garam Dengan Metode Sprinkle Bertingkat," *PELAGICUS*, vol. 1, no. 3, p. 107, Sep. 2020, doi: 10.15578/plgc.v1i3.8882.
- [12] J. Zhao, X. Li, and Y. Wang, "Salt crystallization dynamics under controlled conditions," *Journal of Applied Chemistry*, pp. 678–685, 2017.
- [13] A. Yulianto and D. Hartono, "Pengukuran parameter Baume pada metode sprinkle bertingkat," *Jurnal Penelitian Pertanian*, pp. 89–97, 2019.
- [14] M. Anwar, Z. Latif, and A. Hussain, "Optimization of salt production using advanced methods," *Pak J Agric Sci*, pp. 203–210, 2018.
- [15] H. Zhang, "Impact of Weather Variability on Traditional Salt Production," *Environ Monit Assess*, vol. 190(4), p. 212, 2018.

