

Penerapan Kontrol Logika *Fuzzy* untuk Sistem Pengering Ikan dengan Teknologi Inframerah

Khairunnisa Nurhandayani¹, Mayda Waruni Kasrani²

^{1,2}Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan
Jln. Pupuk Raya Gn. Bahagia Balikpapan 76114 INDONESIA
Email: ¹khairunnisa@uniba-bpn.ac.id

Abstract- Indonesia has abundant marine resources. Many countries rely on fishery exports from Indonesia. Proper management of these resources can improve the economy and welfare of the community. One way to process these resources is by drying them so that the raw materials from these resources can last long enough at room temperature. Drying with manual techniques or under the sun is less able to produce optimal drying because it depends on the weather. Therefore, this study will focus on a seafood drying system with an infrared heating source, a fuzzy logic control system, and a cloud monitoring system. Testing was carried out using mackerel with varying weights. The results showed that the use of a drying system with a 100-watt infrared LED bank can work five times faster than using conventional methods. The speed of weight reduction with this system is an average of 5.7% per hour. However, the placement of the position of the dried object can affect the drying speed. The closer the object is to the infrared heating source, the higher the drying speed. Meanwhile, the fuzzy logic control system can work according to the input data and fuzzy rules that have been made so that the intensity of the infrared heater can be adjusted. In addition, drying results can be monitored in real time via the Blynk application.

Intisari- Indonesia memiliki sumber daya kelautan yang sangat melimpah dimana banyak negara – negara yang mengandalkan hasil ekspor perikanan dari Indonesia. Pengelolaan yang tepat hasil sumber daya tersebut dapat meningkatkan perekonomian dan kesejahteraan masyarakat. Salah satu cara untuk mengolah hasil sumber daya tersebut yaitu dilakukan pengeringan agar bahan mentah dari sumber daya tersebut dapat bertahan cukup lama di suhu ruang. Pengeringan dengan teknik manual atau penjemuran di bawah matahari kurang mampu menghasilkan pengeringan yang optimal karena sangat bergantung pada cuaca. Oleh karena itu, penelitian ini akan berfokus pada sistem pengering hasil laut dengan sumber pemanas inframerah, bersifat otomatis dengan menerapkan sistem logika *fuzzy*, dan dapat dipantau melalui koneksi internet. Pengujian dilakukan dengan menggunakan ikan layang dengan berat bervariasi. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan sistem pengering dengan LED bank inframerah berdaya 100 watt dapat bekerja lima kali lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan metode konvensional. Kecepatan pengurangan berat dengan sistem ini yaitu rata – rata 5,7% per jam. Namun, penempatan posisi objek yang dikeringkan dapat mempengaruhi kecepatan pengeringan. Jika objek semakin dekat ke sumber pemanas inframerah, maka kecepatan pengeringan lebih tinggi. Sementara sistem kontrol logika *fuzzy* dapat berkerja sesuai dengan data masukan dan *fuzzy rule* yang telah dibuat sehingga pengaturan intensitas pemanas inframerah berhasil dilakukan. Selain itu, hasil pengeringan dapat dipantau secara *real time* melalui aplikasi Blynk.

Kata Kunci: Hasil laut, Inframerah, Logika fuzzy, Internet of Things, Sistem pengering

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dimana wilayah negara didominasi oleh lautan. Kondisi lautan yang dominan menyebabkan Indonesia memiliki sumber daya kelautan yang tinggi. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan peningkatan produksi perikanan dari 21,83 juta ton pada tahun 2020 ke 24,87 juta ton pada tahun 2022 [1]. Kemudian di tahun 2023, sebanyak 87.746,3 ton dari hasil perikanan tangkap tersebut diekspor ke berbagai negara yang mana lebih besar 4,89% dari tahun 2022 [1], [2]. Para nelayan dan para distributor hasil melakukan pengawetan agar hasil laut tersebut tetap layak konsumsi hingga waktu tertentu. Ada beberapa cara pengolahan hasil laut agar tetap awet yaitu pendinginan untuk mempertahankan kelembapan dan pengeringan untuk mengurangi kelembapan.

Pengeringan merupakan salah satu cara pengawetan bahan mentah dengan cara mengurangi atau menghilangkan kadar air untuk memperlambat pertumbuhan mikroorganisme pengurai pada bahan tersebut [3], [4]. Metode pengeringan dapat dilakukan dengan teknik manual dengan menggunakan panas matahari, pengeringan tray dengan udara panas, penggunaan asap, penggunaan microwave, penggunaan ultrasonic, dan penggunaan inframerah [3]. Kebanyakan nelayan di Indonesia yang mengawetkan hasil laut menggunakan teknik pengeringan dengan panas matahari. Teknik pengeringan ini memiliki kekurangan yaitu pengeringan tidak optimal bahkan dapat mengalami kegagalan karena kondisi cuaca tidak menentu. Variabel – variabel yang lain yang perlu diperhatikan dalam proses pengeringan antara lain temperatur, kelembapan udara dan waktu pengeringan. Pengeringan dengan metode ini membutuhkan waktu pengeringan yang cukup lama [5], [6], [7], [8]. Sementara variabel yang mempengaruhi proses tidak bisa dipantau secara kontinu [7], [9]. Hal tersebut berdampak terhadap penghasil nelayan yang melakukan pengeringan hasil laut untuk memenuhi kebutuhan rumah tangganya. Selain hal tersebut, pengeringan dengan bantuan matahari tidak bisa menjamin higienitas hasil.

Terdapat penelitian dengan metode non konvensional pengeringan hasil laut. Penelitian yang dilakukan tahun 2019 terkait pengering microwave pada pengering osmosis. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kombinasi proses osmosis dan pengeringan microwave membutuhkan waktu 3 – 11 menit dengan penggunaan sumber tegangan 160 – 200 V [10]. Namun, kekurangan dari sistem ini yaitu membutuhkan banyak daya dan tidak dapat dipantau secara real time.

Pada tahun yang sama, penelitian dari pengeringan dengan heater berbahan gas yang dilakukan selama 12 jam dan

temperatur 70°C menunjukkan kualitas ikan kering dengan nutrisi terbaik dibandingkan dengan waktu atau temperatur yang lain [8]. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa semakin lama pengeringan, maka kualitas nutrisi hasil pengeringan akan menurun. Variabel temperatur dan lamanya proses pengeringan menunjukkan bahwa sistem tidak bekerja secara otomatis dan tidak dapat dipantau dari lokasi lain.

Sementara itu, penelitian terkait pengering makanan dengan Internet of Things (IoT) pernah dilakukan. Hasil penelitian dengan pengeringan osmosis menunjukkan pengurangan kadar air yang cukup baik antara 53% - 75% dan pemantauan dilakukan secara real time [11]. Terdapat kekurangan dari penelitian ini yaitu sistem kontrol pemanas yang tidak otomatis.

Selain penelitian – penelitian yang telah disebutkan, penelitian pengering dengan menggunakan sumber panas dari inframerah pernah dilakukan. Pengeringan dilakukan menggunakan Light Emitted Diode (LED) inframerah dan menggunakan kontrol Proportional, Integral, and Derivative (PID) terhadap berat pengurangan kandungan air pada bahan mentah. Penelitian tersebut menjelaskan berat pengurangan kandungan air sebesar 39% - 53% dalam waktu dua jam dan penggunaan daya sebesar 31,72 watt [12]. Penelitian sistem pengering dengan memanfaatkan logika fuzzy sudah dilakukan untuk mengendalikan temperatur dan kelembapan [13], [14].

Pada penelitian yang dilakukan penulis, sistem pengering menggunakan gelombang cahaya inframerah karena gelombang tersebut termasuk jenis pengering yang mulai mendapatkan popularitas di bidang teknologi hijau pertanian atau pangan [15]. Alasan yang lain yaitu objek yang disinari dengan inframerah akan memgetarkan molekul yang dapat menghasilkan panas [16], [17]. Pergerakan molekul tersebut dapat membantu mempertahankan nutrisi dari hasil pengeringan karena tidak ada pelepasan molekul dan pemanasan berlebihan. Selain itu, pemilihan sumber pemanas dengan LED inframerah karena daya yang digunakan tidak terlalu besar [12].

II. PERANCANGAN SISTEM PENGERING HASIL LAUT

A. Pengeringan Hasil Laut

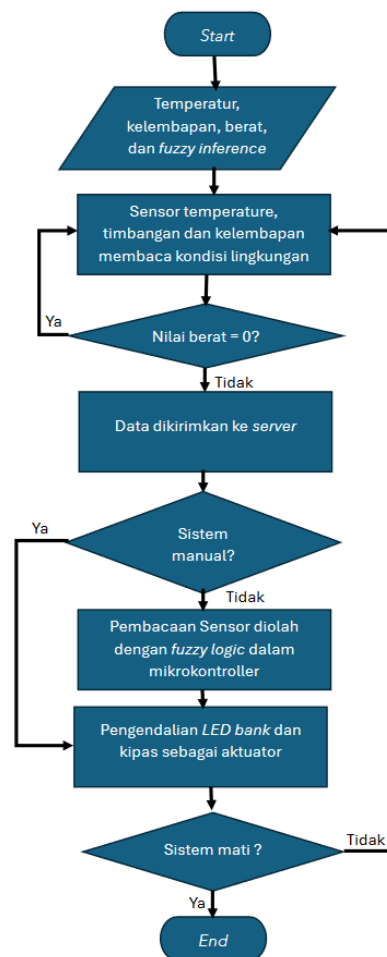
Pengeringan hasil laut dilakukan untuk mengurangi kandungan air dan aktifitas mikroorganisme terkait pada objek. Pada pengeringan hasil laut berupa ikan, kondisi yang harus diperhatikan seperti temperatur, lingkungan pengeringan, dan lama pengeringan [18]. Pencegahan proses pembusukan saat pengeringan dilakukan dengan menggunakan pemanasan temperatur diantara 60°C - 90°C [19], [20]. Hal tersebut menjadi batasan parameter temperatur yang digunakan pada penelitian ini.

Sementara parameter selisih kelembapan objek yang dapat diwakili dengan kadar air dari hasil pengeringan berada disekitar 25% [21], [22]. Kelembapan awal dari kebanyakan spesies ikan yaitu 60% - 80% [23]. Penentuan banyak air yang hilang dari ikan dapat dilakukan dengan (1) sehingga dapat diperoleh range pengurangan berat dari parameter kelembapan [6], [22], [24].

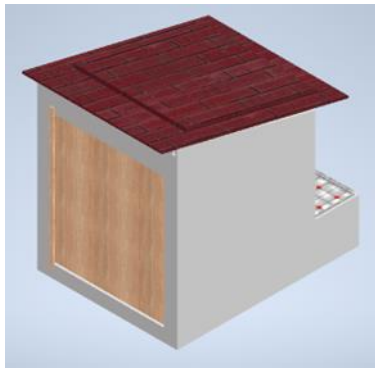
$$Besar\ perpindahan\ air = \frac{berat\ awal - berat\ akhir}{berat\ awal} \quad (1)$$

B. Sistem Pengering

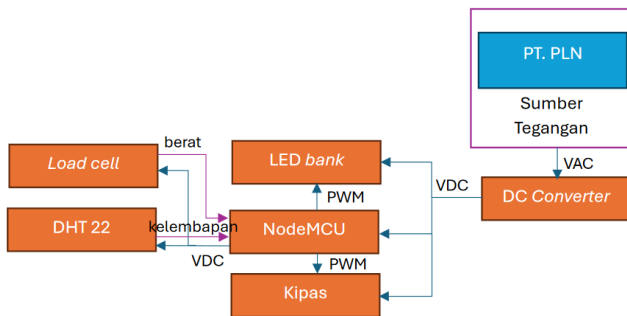
Cara kerja sistem pengering ini dapat dilihat pada Gambar. 1. Pembuatan sistem diawali dengan penentuan nilai inisial parameter temperatur, kelembapan udara, berat dan komponen fuzzy. Proses selanjutnya saat sistem dijalankan yaitu proses pembacaan sensor. Jika sensor berat membaca berat objek, maka sistem pengering LED aktif dan data dikirimkan ke server. Kemudian dilanjutkan dengan memproses data sensor – sensor ke dalam sistem logika fuzzy. Pada sistem logika fuzzy, masukan sistem yaitu berat, temperatur dan kelembapan udara. Data masukan didapatkan dari sensor loadcell dan DHT22. Sementara keluaran sistem yaitu besar duty cycle dari Pulse Wide Modulator (PWM) NodeMCE ESP8266 yang mana dapat mempengaruhi besar arus yang mengalir ke LED Inframerah bank dan kipas exhaust. LED Inframerah bank merupakan susunan berbentuk array yang terdiri dari LED inframerah. Proses tersebut terus berulang hingga diperoleh berat objek yang diinginkan dengan kondisi PWM rendah atau mendekati 0%. Kemudian sistem dapat menghentikan proses pengeringan.



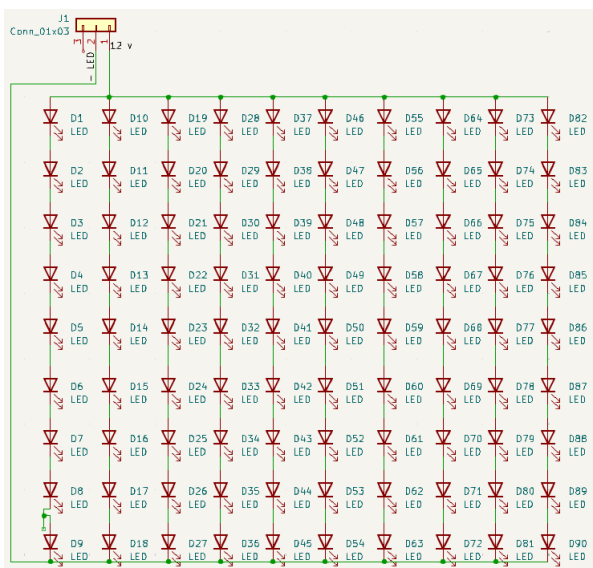
Gambar 1. Cara kerja system pengering inframerah



Gambar 2. Rancangan mesin pengering



Gambar 3. Diagram komponen Listrik system pengering inframerah



Gambar 4. Rancangan rangkaian LED bank

Perangkat keras dari pengering ini memiliki ukuran panjang, lebar dan tinggi yaitu sekitar 80 cm, 80 cm dan 80 cm. Perangkat ini dapat menampung objek yang dikeringkan sekitar 100 liter. Penampakan rancangan badan pengering dapat dilihat pada Gambar 2. Selain itu, Gambar 3 menunjukkan komunikasi antar perangkat.

1) *Light Emitted Diode (LED) Bank*: LED bank merupakan susuna dari LED yang dirangkai seri ataupun paralel. LED bank yang digunakan pada penelitian ini dibuat dengan menggunakan sembilan LED disusun secara seri dan deret LED seri tersebut disusun secara paralel sebanyak sepuluh susun. Gambar 4 menunjukkan rancangan dari LED bank tersebut. Penggunaan rangkaian seri dan paralel bertujuan untuk mengurangi penggunaan beban dari arus pada LED bank.

Perhitungan daya yang digunakan dari perangkat ini bisa dilakukan dengan (2), dimana P, V, dan I berturut-turut adalah daya, tegangan, dan arus pada rangkaian. Tegangan maju (forward voltage) dari LED yang digunakan yaitu 1,3 V dengan arus 30 mA. Sehingga daya yang dibutuhkan untuk menyalakan satu LED bank yaitu sekitar 3,6 watt. Penelitian ini menggunakan 24 LED bank agar semua objek tercakup cahaya inframerah.

$$P = V \cdot I \tag{2}$$

2) *Sistem Logika Fuzzy*: Sistem logika fuzzy merupakan sistem kontrol dengan menerapkan keputusan yang serupa dengan perilaku manusia. Pada sistem ini, terdapat beberapa proses yaitu perubahan masukan menjadi fungsi keanggotaan fuzzy (*fuzzification*), *fuzzy inference*, dan *defuzzification*. Proses *fuzzification* mengubah nilai *crisp* menjadi nilai *fuzzy*. Hal tersebut dilakukan dengan menempatkan nilai *crisp* masukan ke keanggotaan masukan *fuzzy*. Gambar 5 menunjukkan fungsi keanggotaan tersebut. Kemudian dilanjutkan dengan memproses nilai keanggotaan setiap masukan dari sistem logika fuzzy ke *fuzzy rule* yang berada pada tahap proses *inference*. *Fuzzy rule* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel I. Tahap akhir dari sistem logika fuzzy yaitu mengubah hasil dari fuzzy rule ke bentuk keluaran fuzzy dan mengubahnya menjadi bentuk *crisp* kembali. Proses ini menggunakan fungsi keanggotaan keluaran fuzzy yang ditentukan seperti pada Gambar. 6. Metode yang digunakan pada tahap ini yaitu metode *weighted average*. Bentuk persamaan metode tersebut dapat dilihat pada (3)[25]. Variabel $\mu(y_i)$ merupakan nilai keanggotaan dari kelmopak keluaran i dan \bar{y}_i merupakan nilai y dari rata-rata keanggotaan maksimum. Niali keanggotaan $\mu(y_i)$ dapat ditentukan dengan menentukan nilai minium dari semua keanggotaan masukan yang dicari dengan (4). Persamaan (4) terdiri dari variabel x_{ib} sebagai nilai keanggotaan dari titik yang dicari, x_{1a}, x_{1b}, x_{2a} dan x_{2b} merupakan titik keanggotaan yang diketahui.

$$y^* = \frac{\sum \mu(y_i) \cdot \bar{y}_i}{\sum \mu(y_i)} \tag{3}$$

$$x_{ib} = \frac{(x_{2b} - x_{1b}) \cdot (x_{1a} - x_{1a})}{(x_{2a} - x_{1a})} + x_{1b} \tag{4}$$

3) *Sistem Internet of Things*: Sistem IoT digunakan untuk pemantauan dan kendali pengaktifan sistem pengering secara manual. Penelitian menggunakan aplikasi sederhana yang dapat digunakan pada kebanyakan kalangan yaitu aplikasi Blynk. Hal – hal yang akan ditampilkan pada aplikasi tersebut antara lain temperatur dan kelembapan ruang, presentase pengurangan dari objek yang dikeringkan, dan tombol untuk pegehntian manual sistem pengering.

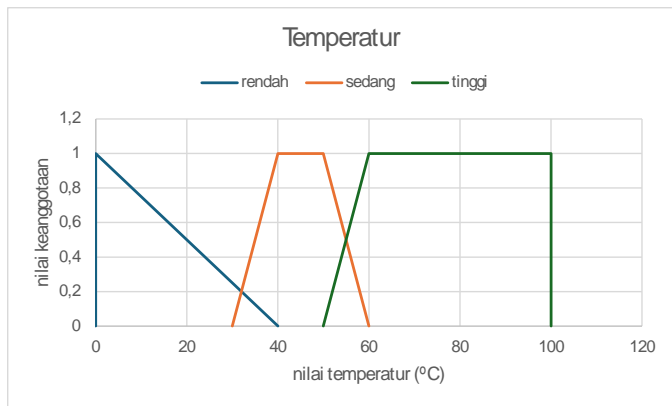
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bentuk realisasi dari ruang pengering inframerah dapat dilihat pada Gambar 7. Ruang pengering memiliki ukuran kurang lebih 80 cm x 80 cm x 80 cm. Ruang pengering tersebut berlapiskan thermal blanket agar panas tidak merabat keluar dan Cahaya inframerah dapat terpantulkan. Pengeluaran uap hasil pengeringan dapat melalui dua kipas exhaust yang berada pada celah kerangka atap bagian depan. Sementara LED bank

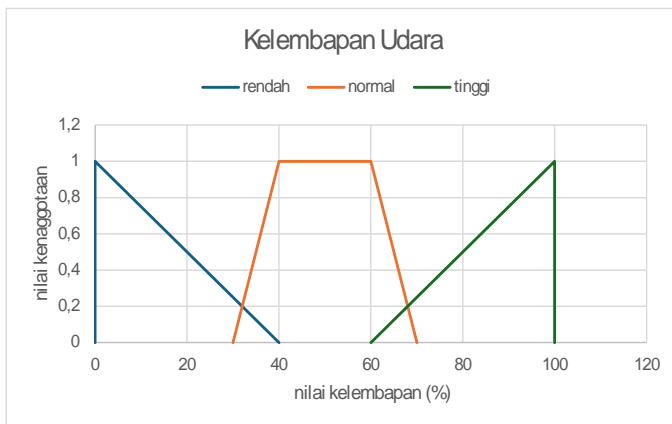
dengan total daya kurang lebih 100 watt diletakkan di langit ruangan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Grafik keanggotaan masukan fuzzy: (a) pengurangan berat, (b) temperature, (c) kelembapan udara

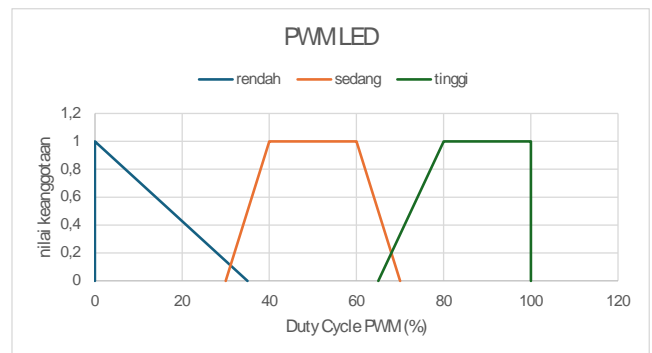
Tabel 1. Fuzzy Rule Sistem Pengering

Inframerah/ Kipas		Pengurangan Berat		
		Rendah	Cukup	Tinggi
T	Rendah/ Rendah	Tinggi/Mati	Sedang/Mati	Rendah/ Mati

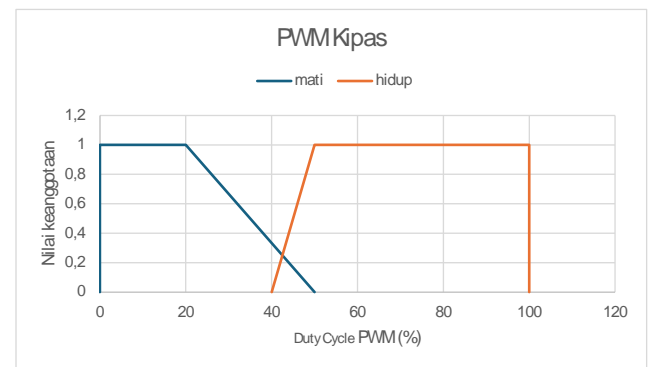
Rendah/Normal	Tinggi/Mati	Sedang/Mati	Rendah/Mati
Rendah/Tinggi	Tinggi/Mati	Sedang/Mati	Rendah/Mati
Sedang/Rendah	Tinggi/Mati	Sedang/Mati	Rendah/Mati
Sedang/Normal	Tinggi/Mati	Sedang/Mati	Rendah/Mati
Sedang/Tinggi	Tinggi/Mati	Sedang/Mati	Rendah/Mati
Tinggi/Rendah	Tinggi/Mati	Sedang/Mati	Rendah/Mati
Tinggi/Normal	Tinggi/Mati	Sedang/Mati	Rendah/Mati
Tinggi/Tinggi	Tinggi/Mati	Sedang/Mati	Rendah/Mati

A. Pengujian Pengering Inframerah

Penguji dilakukan dengan menggunakan empat potongan ikan layang dengan berat total awal 158 gram yang diletakkan pada tingkat rak pengering yang berbeda. Hal tersebut dapat



(a)



(b)

Gambar 6. Grafik keanggotaan keluaran fuzzy: (a) pengurangan berat, (b) temperature, (c) kelembapan udara

dilihat pada Gambar. 8. Pengeringan dilakuakn selama delapan jam dengan temperatur maksimum yang tercapai 39,2 °C. Hasil menunjukkan bahwa potongan kepala dan badan ikan yang diletakkan pada rak teratas memiliki kecepatan pengurangan berat atau kadar air rata – rata sebesar 9,99% per jam per potongan. Sementara potongan yang lain diletakkan pada rak ditingkat yang lebih rendah, kecepatan pengurangan berat yaitu rata – rata 5,64% per jam per potongan. Gambar. 9 menunjukkan grafik penurunan berat dari setiap potongan ikan yang mana kepala 1 dan badan 1 diletakkan pada rak teratas sedangkan kepala 2 dan badan 2 diletakkan pada rak lebih

rendah. Sementara, pengujian ketika ikan dibiarkan pada suhu ruang atau konvensional, pengurangan berat hanya sekitar 1,1% per jam per potongan.

B. Pengujian Sistem Kontrol Logika Fuzzy

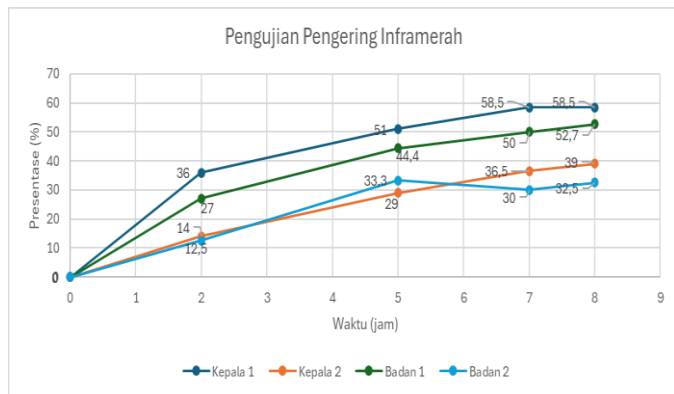
Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa kondisi pada proses pengeringan. Tabel II menunjukkan hasil pengujian dari sistem logika fuzzy yang diambil dari keluaran serial monitoring atau keluaran dari program yang dibuat dan perhitungannya dengan menggunakan (3) dan (4). Hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil perhitungan manual dan hasil dari pemrograman memiliki hasil yang sesuai. Nilai PWM LED dan PWM kipas mengendalikan intensitas cahaya inframerah seperti pada Gambar. 10.



Gambar 7. Realisasi ruang pengering inframerah



Gambar 8. Penempatan pengujian



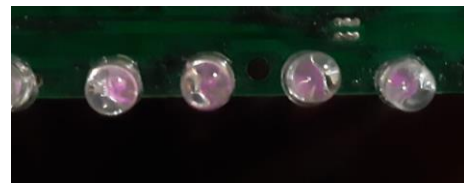
Gambar 9. Grafik perubahan berat

C. Pengujian Sistem Internet of Things

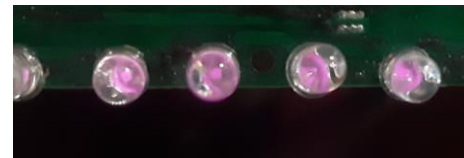
Penggunaan Blynk sebagai aplikasi monitoring melalui internet dapat mengirimkan data temperatur ruang, kelembapan ruang, presentase pengurangan berat dan presentase PWM untuk LED bank. Selain menampilkan data – data tersebut, terdapat tombol untuk mengontrol pengaktifan dari sistem kontrol pengering inframerah. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar. 11. Tampilan pengujian Blynk menunjukkan data yang dikirimkan sesuai walaupun ada sedikit keterlambatan.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Keluaran Fuzzy pada Program dan Perhitungan Manual

Pengurangan Berat (%)		10	43,7	45
Temperatur Ruang (°C)		30	39,2	38,1
Kelembapan Ruang (%)		70	53,5	55,6
PWM LED (%)	Program	90	50	50
	Manual	90	50	50
PWM Kipas (%)	Program	75	10	10
	Manual	75	10	10

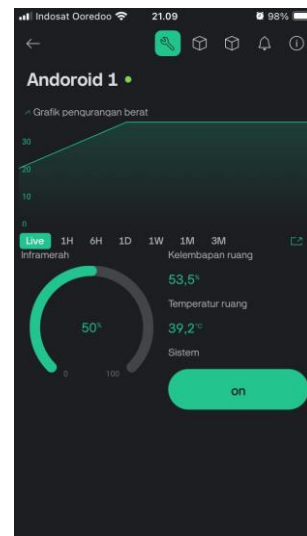


(a)



(b)

Gambar 10. Tampilan intensitas cahaya ketika PWM LED: (a) 30%, (b) 90%



Gambar 11. Tampilan interface Blynk

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian pengering inframerah dengan menggunakan sistem kontrol logika *fuzzy* menunjukkan proses pengeringan yang lebih cepat yaitu rata-rata pengurangan kadar air atau berat sebesar 45,67% dalam waktu 8 jam atau rata – rata 5,7% per jam pada keseluruhan rak. Sementara penggunaan metode konvensional atau kondisi ruang ketika cuaca mendung, pengurangan berat yaitu 1,1% per jam. Sistem kontrol logika *fuzzy* yang dirancang bekerja sesuai dengan parameter masuk dari sensor DHT 22. Hasil keluaran kontrol berupa PWM yang dapat mengatur intensitas LED dan kecepatan kipas. Kemudian, data – data yang diolah dalam NodeMCU ESP8266 berhasil dikirimkan ke Blynk sebagai interface untuk memantau kondisi proses pengeringan dan menginstruksikan sistem aktif maupun *non-aktif*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Pemerintah Indonesia yang memberikan dana penelitian melalui program BIMA 2024 kepada penulis pertama sebagai dosen di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Balikpapan.

REFERENSI

- [1] Firdaus dkk., “SEGARA: Samudera Informasi Kelautan dan Perikanan, Layar Terkembang Ekonomi Biru,” Kementrian Kelautan dan Perikanan (KKP), vol. 4, hlm. 48, Januari 2023.
- [2] Direktorat Statistik Distribusi, “BULETIN STATISTIK PERDAGANGAN LUAR NEGERI: EKSPOR MENURUT KELOMPOK KOMODITAS DAN NEGARA DESEMBER 2023,” Badan Pusat Statistik, vol. 19, hlm. 323, 2024.
- [3] S. Riaz, A. Kabir, A. Haroon, A. Ali, dan M. Faisal Manzoor, “Food Dehydration Recent Advances and Approaches,” dalam *A Comprehensive Review of the Versatile Dehydration Processes*, J. D. Jovanovic, Ed., IntechOpen, 2023. doi: 10.5772/intechopen.108649.
- [4] H. Vega-Mercado, M. Marcela Góngora-Nieto, dan G. V. Barbosa-Cánovas, “Advances in dehydration of foods,” *Journal of Food Engineering*, vol. 49, no. 4, hlm. 271–289, Sep 2001, doi: 10.1016/S0260-8774(00)00224-7.
- [5] I. L. Waban dkk., “Penyuluhan Teknik Pengeringan Rumput Laut Melalui Metode Penjemuran Para-Para Kepada Pembudidaya Rumput Laut Di Nusa Tenggara Timur,” *JMM*, vol. 6, no. 1, hlm. 348–358, Feb 2022.
- [6] N. K. Sinha, J. S. Sidhu, J. Barta, J. S. B. Wu, dan M. P. Cano, Ed., *Handbook of Fruits and Fruit Processing*, 1 ed. Wiley, 2012. doi: 10.1002/9781118352533.
- [7] R. A. Katili, F. A. Dali, dan N. Yusuf, “Quality of dried seaweed *Kappaphycus alvarezii* with traditional drying methods from North Gorontalo,” *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 278, no. 1, hlm. 012039, Mei 2019, doi: 10.1088/1755-1315/278/1/012039.
- [8] J. Sirait, “PENGERINGAN DAN MUTU IKAN KERING THE DRYING AND THE QUALITY OF DRIED FISH,” 2019.
- [9] A. Thamrin, H. Saleh, dan H. Remmang, “Alat Pengering Rumput Laut Berbasis Arduino Uno R3 Pada Petani Rumput Laut Takalar Provinsi Sulawesi Selatan,” *Jurnal Anadara Pengabdian Kepada Masyarakat*, hlm. 7–14, 2012.
- [10] Q. Wang, B. Liu, J. Cao, C. Li, dan Z. Duan, “The impacts of vacuum microwave drying on osmosis dehydration of tilapia fillets,” *J Food Process Engineering*, vol. 42, no. 1, hlm. e12956, Feb 2019, doi: 10.1111/jfpe.12956.
- [11] L. C. F.-Mendoza, E. M. C.-Berru, dan M. S.-Chero, “IoT implemented Osmotic Dehydrator,” *Curr Res Nutr Food Sci*, vol. 11, no. 3, hlm. 1204–1217, Des 2023, doi: 10.12944/CRNFSJ.11.3.25.
- [12] K. Nurhandayani dan M. Rivai, “Sistem Kontrol Pengering Makanan Berbasis LED Inframerah,” *JTTS*, vol. 7, no. 2, hlm. 355–361, Feb 2019, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.30921.
- [13] Mulyadi dan A. E. Widodosaputra, “Pemanfaatan Logika Fuzzy Sebagai Pengendali Temperatur dan Kelembaban pada Alat Pengering Hasil Panen Rumput Laut,” *J-Eltrik*, vol. 1, no. 2, hlm. 61–65, Nov 2019.
- [14] N. U. Putri, J. P. Sembiring, dan L. R. Yuliandi, “Rancang Bangun Alat Pengering Rumput Laut Bertenaga Surya Menggunakan Metode Fuzzy,” *Jurnal ICTEE*, vol. 3, no. 2, hlm. 37–46, Jul 2022.
- [15] A. Rajan dan M. Radhakrishnan, “Green Technologies for Sustainable Food Production and Preservation: An Overview of Ohmic Heating, Infrared Heating and UV Light Technology,” dalam *Sustainable Food Science - A Comprehensive Approach*, Elsevier, 2023, hlm. 184–197. doi: 10.1016/B978-0-12-823960-5.00066-4.
- [16] M. Tasumi dan A. Sakamoto, Ed., *Introduction to experimental infrared spectroscopy*. Hoboken, N.J: Wiley, 2015.
- [17] M. U. H. Joardder dan M. F. Shahriar, “Principles of infrared heating in food processing and preservation,” dalam *Emerging Thermal Processes in the Food Industry*, Elsevier, 2023, hlm. 33–46. doi: 10.1016/B978-0-12-822107-5.00010-6.
- [18] N. Fitri dkk., “A Comprehensive Review on the Processing of Dried Fish and the Associated Chemical and Nutritional Changes,” *Foods*, vol. 11, no. 19, hlm. 2938, Sep 2022. doi: 10.3390/foods11192938.
- [19] C. A. Komolafe, I. O. Oluwaleye, A. O. D. Adejumo, dan M. O. Oladapo, “Effects of drying Temperatures on the Quality of Three Tilapia Fish Species,” vol. 1, no. 7, 2013.
- [20] A. E. Adedeji, A. P. Olalusi, T. M. A. Olayanju, dan O. C. Erinle, “Effect of Drying Parameters on the Physical Properties of Extruded Fish Feed,” *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 445, no. 1, hlm. 012011, Feb 2020, doi: 10.1088/1755-1315/445/1/012011.
- [21] F. A. Flowra, D. G. Nahar, A. S. Tumpa, dan M. T. Islam, “Biochemical analysis of Five Dried Fish species of Bangladesh,” *Univ. j. zool. Rajshahi Univ.*, vol. 31, hlm. 09–11, Jun 2013, doi: 10.3329/ujzr.v31i0.15373.
- [22] Department of Chemistry, Modibbo Adama University of Technology Yola, P.M.B 2076 Yola, Nigeria, U. U. Modibbo, S. A. Osemeahon, M. H. Shagal, dan M. Halilu, “Effect of Moisture content on the drying rate using traditional open sun and shade drying of fish from Njuwa Lake in NorthEastern Nigeria,” *IOSRJAC*, vol. 7, no. 1, hlm. 41–45, 2014, doi: 10.9790/5736-07114145.
- [23] D. Pearson dan H. E. Cox, *The chemical analysis of foods*, 7th ed. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1976.
- [24] Z. S. Ozilgen, *Cooking as a chemical reaction: culinary science with experiments*, Second edition. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2020.
- [25] B. Uzun, I. Ozsahin, V. O. Agbor, dan D. Uzun Ozsahin, “Theoretical aspects of multi-criteria decision-making (MCDM) methods,” dalam *Applications of Multi-Criteria Decision-Making Theories in Healthcare and Biomedical Engineering*, Elsevier, 2021, hlm. 3–40. doi: 10.1016/B978-0-12-824086-1.00002-5.