

Perancangan Kendali Temperatur Ruangan Penyimpanan Menggunakan Logika Fuzzy

Irma Husnaini¹, Alham Ali^{*)2}, Muldi Yuhendri³, Risfendra⁴

^{1,2}Departemen Teknik Elektro, Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

^{*)}Corresponding author, alham.ali2110@gmail.com

Abstrak	INFO.
<p>Setiap produk makanan pasti akan mengalami proses kimiawi disebabkan oleh aksi penuaan, bakteri, dan jamur yang menghasilkan panas respirasi dan pembusukan. Usaha untuk memperlambat proses tersebut adalah dengan menurunkan suhu ruangan penyimpanan produk makanan. Untuk mengatasi hal tersebut dirancanglah ruangan penyimpanan yang dapat menjaga suhu stabil dan akurat. Untuk menggapainya, diperlukan suatu komponen utama dimana <i>input</i> berupa sensor suhu DS18B20 dan potensiometer, <i>output</i> berupa Peltier dan kipas pendingin serta Arduino Mega sebagai pusat kendali. Untuk interface menggunakan LCD 16x2 dan dapat juga dengan Visual Basic sebagai antarmuka yang mampu memonitoring dan mengendalikan suhu ruang dengan menggunakan koneksi serial USB. Sistem yang digunakan untuk menjaga kestabilan suhu adalah menggunakan logika <i>fuzzy</i> model Mamdani dengan bantuan Matlab. Untuk <i>input fuzzy</i> berupa beda suhu ruang yang didapat dari sensor suhu dan suhu referensi dari potensiometer. Untuk <i>output fuzzy</i> berupa nilai PWM peltier dan kipas pendingin. Dari hasil pengujian, <i>error ripple</i> sebesar 0.93 % yang mampu mencapai suhu terendah 18.16°C dari suhu lingkungan 24.7 °C dengan ΔT maksimal 6.54 °C dalam waktu 11 menit. Dengan daya total dua buah peltier 65.5 W dan volume ruang 28x28x38 cm menghasilkan nilai COP 3.54. Namun pada pengujian pembebanan 750 gr coklat membutuhkan waktu hingga 18 menit dengan <i>error</i> 0.95% dan ΔT 5.5 °C, tetapi alat ini bekerja dengan baik dan efisien.</p>	<p>Info. Artikel: No. 332 Received. January, 08, 2023 Revised. January, 11, 2023 Accepted. January, 26, 2023 Page. 40 – 49</p> <p>Kata kunci: ✓ Temperature ✓ DS18B20 ✓ Peltier ✓ Control System ✓ Fuzzy Logic</p>

Abstract
<p><i>Every food product is subject to chemical processing due to the action of aging, bacteria, and fungi which produce heat of respiration and decay. The effort to slow down the process is to lower the temperature of the food product storage room. To overcome this, a storage room was designed that can maintain a stable and accurate temperature. To achieve this, a main component is needed where the input is a temperature sensor DS18B20 and a potentiometer, the output is a Peltier and a cooling fan and the Arduino Mega is the control center. The interface uses a 16x2 LCD and can also use Visual Basic as an interface that is capable of monitoring and controlling room temperature using a USB serial connection. The system used to maintain temperature stability is using the Mamdani fuzzy logic model with the help of Matlab. The fuzzy input is the difference in room temperature obtained from the temperature sensor and the reference temperature from the potentiometer. For fuzzy output in the form of Peltier PWM values and cooling fans. From the test results, the ripple error is 0.93% which can reach the lowest temperature of 18.16°C from an ambient temperature of 24.7°C with a maximum ΔT of 6.54°C in 11 minutes. With a total power of two peltiers of 65.5 W and a volume of 28x28x38 cm, the COP value is 3.54. However, the loading test for 750 gr chocolate takes up to 18 minutes with an error of 0.95% and ΔT 5.5 °C, but this tool works well and efficiently.</i></p>

PENDAHULUAN

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi ketahanan produk makanan seperti aksi penuaan, aksi respirasi, bakteri dan jamur. Untuk mengatasi hal tersebut, aktifitas pertumbuhan jamur dan bakteri dapat diperlambat dengan menurunkan suhu produk. Meskipun pertumbuhan jamur dan

bakteri telah berhenti, tetapi mereka tetap tidak mati. Aktifitas jamur dan bakteri akan berlanjut setelah mencair atau meningkatnya suhu [1]. Dikarenakan begitu banyaknya perubahan produk makanan tanpa pendinginan, untuk itu dibutuhkanlah *Cold Storage* (ruang pendingin) yang sudah menjadi keharusan bagi banyak jenis produk makanan [2]. Penambahan dan pengurangan produk pada ruang penyimpanan yang akan berakibat pada ketidakstabilannya suhu ruangan [3]. Maka dibutuhkanlah sistem kendali yang mampu mengendalikan suhu ruang penyimpanan secara efisien dan akurat. Untuk mewujudkannya, digunakanlah metode sistem inferensi *fuzzy* model mamdani dengan bantuan Matlab [4]-[5].

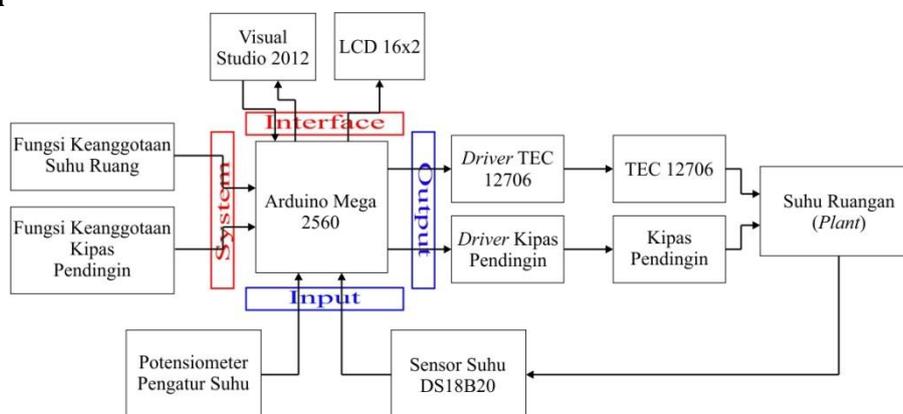
Fuzzy merupakan sebuah logika yang memiliki derajat keanggotaan diantara 0 dan 1 dimana berbeda dengan logika klasik boolean yang memiliki nilai 0 dan 1 saja [6]. *Fuzzy logic controller* digunakan sebagai pengambilan keputusan dari suatu *input* menggunakan *loop* tertutup dimana program sistem kendali *fuzzy* ini akan dirancang di Arduino IDE [7]-[8]. Komponen yang digunakan untuk mengendalikan suhu pada industri adalah *chiller*. Namun pada perancangan ini menggunakan TEC atau *Thermoelectric cooler* yang menggunakan efek peltier [9]-[10]. Efek peltier berupa fenomena dimana energi panas dapat diserap oleh salah satu sambungan konduktor dan dilepaskan pada sambungan konduktor lainnya ketika arus listrik dialirkan pada suatu rangkaian tertutup [11]. TEC ini masih memiliki *repeatability* yang belum baik serta dipengaruhi oleh arus, suhu lingkungan dan dimensi ruang [12].

Komponen yang digunakan pada sistem ini berupa Arduino Mega, sensor suhu DS18B20, *driver* TEC, *driver* kipas pendingin, TEC, kipas pendingin, LCD 16x2, catu daya, dan potensiometer. Sensor DS18B20 terbukti paling unggul dibandingkan sensor lainnya dengan *error* rata - rata 1.6% [13]. Pada penelitian ini digunakannya visual basic sebagai perangkat monitoring dan kendali suhu. Sistem ini akan membaca nilai *input* sensor suhu sebagai suhu ruang dan suhu referensi sebagai suhu yang diinginkan, hasil perbedaan suhu tersebut akan menjadi *input fuzzy* dan nilai *output* berupa sinyal PWM untuk kendali TEC dan kipas pendingin [14]. Nilai suhu referensi dan suhu ruang akan ditampilkan di LCD. pada penelitian ini dipilihlah cokelat batangan sebagai objek penelitian pembebanan dan ketahanan produk. Cokelat dianjurkan disimpan pada suhu 16 hingga 24 °C. dari berbagai kelemahan pada penelitian sebelumnya diharapkan mampu diperbaiki pada penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Pada perancangan alat yang diusulkan pada penelitian ini dilakukan dengan metode penelitian eksperimen (*experiment research*). Metode ini mencakup perancangan, pembuatan *hardware* serta *software*, dan pengujian kinerja alat.

Blok Diagram



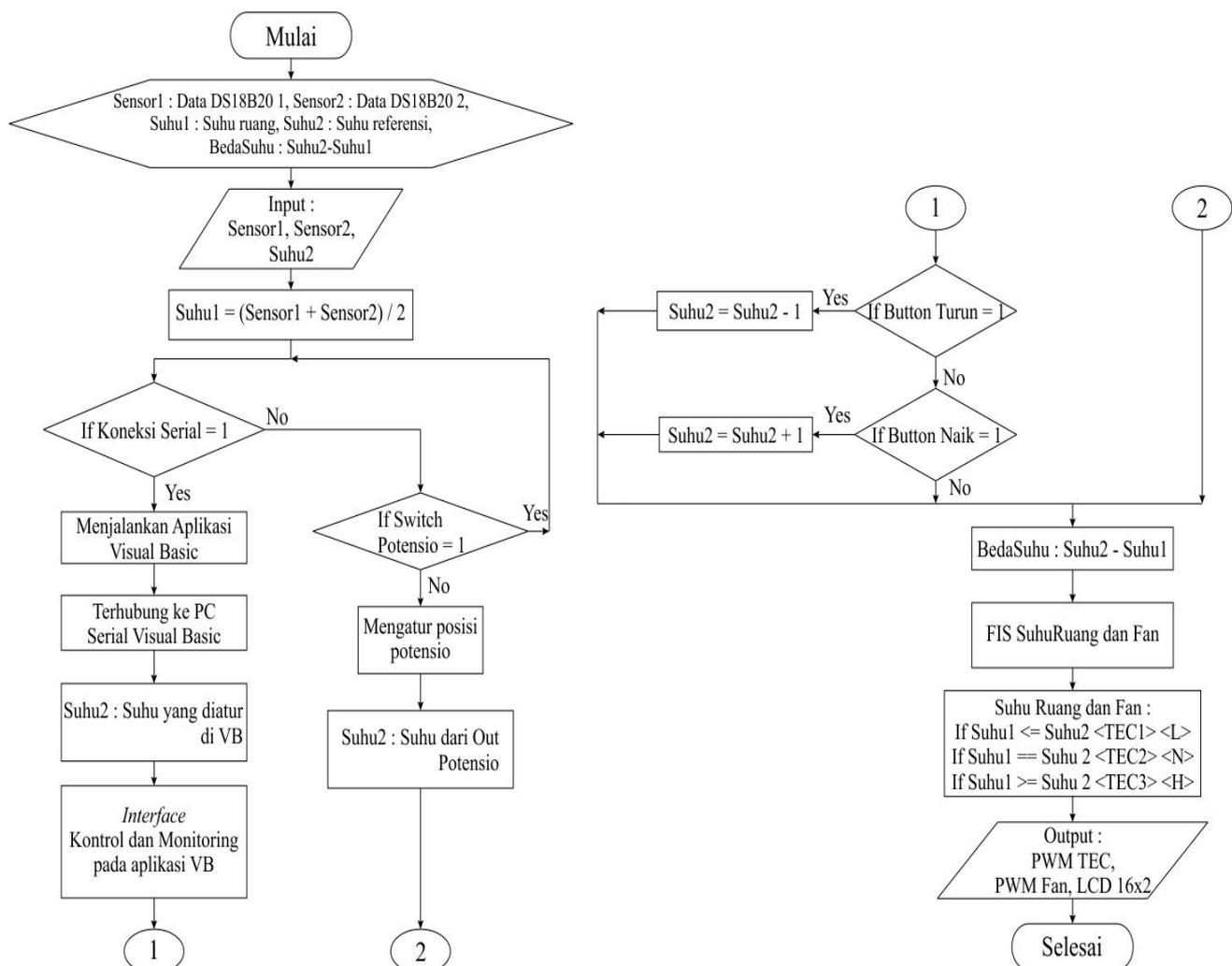
Gambar 1. Blok diagram

Blok diagram perancangan alat ini dapat dilihat pada gambar 1 di atas. Arduino mega sebagai pusat kendali yang berfungsi untuk memproses nilai input dan output. Fungsi keanggotaan suhu ruang

dan kipas pendingin sebagai algoritma sistem kendali disertai program arduino yang akan menentukan hasil *output* PWM. Visual Studio dan LCD sebagai interface hasil pengolahan data dari arduino. Potensiometer dan sensor suhu DS18B20 sebagai input data suhu referensi dan suhu ruang. Peltier atau TEC 12706 dan kipas pendingin sebagai *output* yang dikendalikan menggunakan nilai PWM. sedangkan suhu ruangan sebagai *plant* atau objek yang dikendalikan.

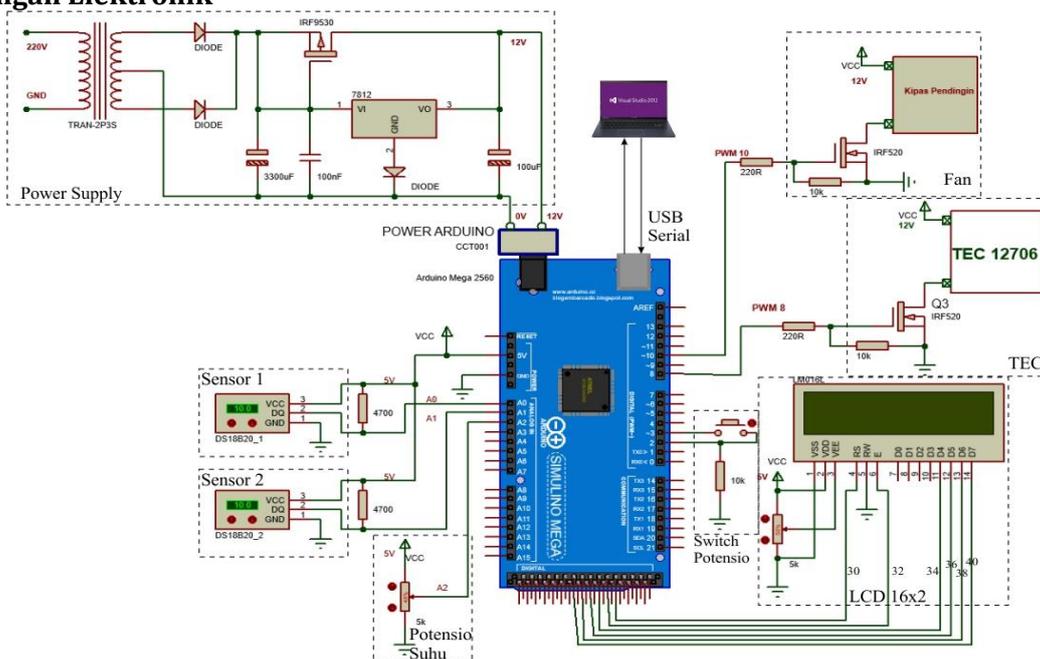
Prinsip Kerja

Prinsip kerja dari alat ini berawal dari menyalakan daya pada catu daya yang terhubung ke rangkaian keseluruhan menggunakan *switch* sehingga Arduino dalam kondisi aktif langsung segera menghitung suhu ruangan yang didapati dari hasil jumlah rata - rata sensor 1 dan sensor 2 serta suhu yang di atur potensiometer menggunakan fitur ADC (Analog to Digital Converter). Bila suhu ruang lebih rendah dibandingkan suhu referensi, maka TEC dan kipas dalam posisi L (*Low*). Bila suhu ruang sama dengan suhu yang diinginkan maka TEC dan kipas pendingin akan berada pada kondisi N (*Normal*). Dan bila suhu ruang lebih besar daripada suhu yang diinginkan maka TEC dan kipas pendingin akan berada dalam kondisi H (*Hot*). Kondisi ini didapat dari feedback sensor suhu DS18B20. Selanjutnya, data dari perhitungan suhu ruang dan suhu yang diinginkan akan ditampilkan pada LCD 16x2 dan pada Visual Basic yang dapat memonitoring suhu ruang, suhu referensi dan kontrol suhu ruang. Proses akan terus berlangsung hingga tombol daya dimatikan. Pada perancangan alat ini memiliki diagram alir pada gambar 2 sebagai berikut.



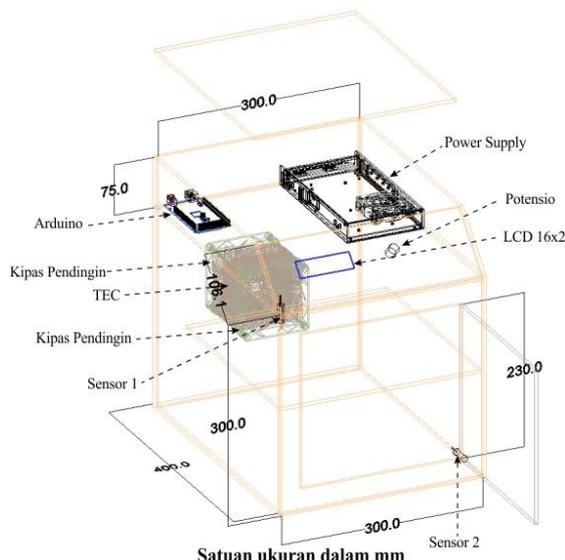
Gambar 2. Diagram alir

Perancangan Elektronik



Gambar 3. Rangkaian elektronik keseluruhan alat

Perancangan Mekanik



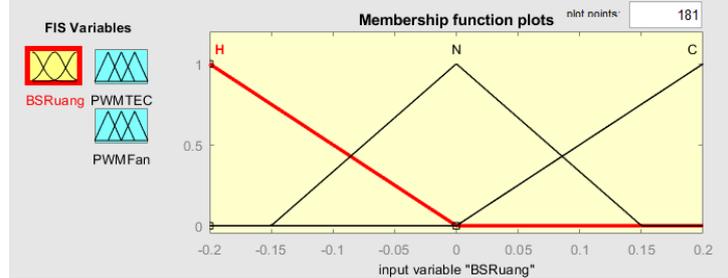
Gambar 4. Rancangan mekanik alat

Perancangan Software

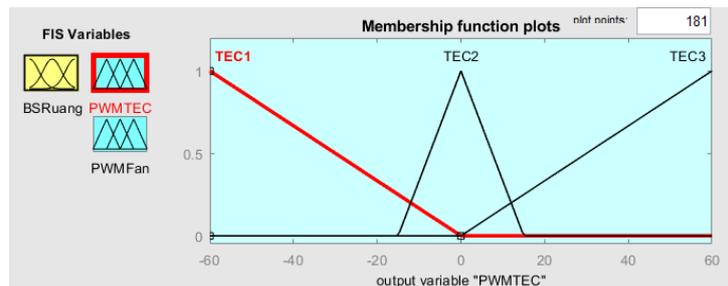
Perancangan software berupa *Fuzzy Inference System* (FIS) dengan bantuan Matlab. Pada variabel dibagi menjadi dua yakni suhu ruang dan suhu referensi. Misalnya suhu referensi bernilai 13, dan suhu ruang bernilai 13.2. Maka, suhu referensi dikurang suhu ruang adalah -0.2. Nilai -0.2 ini sebagai beda suhu ruang yang akan menjadi *range input fuzzy* TEC dan kipas pendingin. Jika nilai beda suhu ruang < -0.2, maka nilai output PWM 255. Jika nilai beda suhu ruang > 0.2, maka nilai output PWM 0. Setiap perulangan program nilai *output fuzzy* TEC dan kipas pendingin ditambah dengan nilai sebelumnya. Aturan atau rules yang digunakan adalah :

- If (BSRuang is C) Then (PWMTEC is TEC1) (PWMFan is L) (1)
- If (BSRuang is N) Then (PWMTEC is TEC2) (PWMFan is N) (1)
- If (BSRuang is H) then (PWMTEC is TEC3)(PWMFan is H) (1)

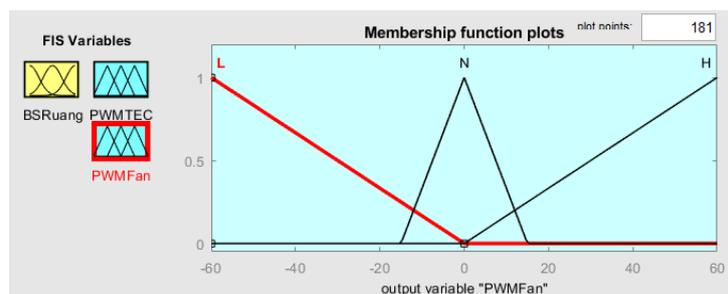
Untuk fungsi keanggotaan *input* dan *output* dapat dilihat pada gambar 5, 6, dan 7.



Gambar 5. *Input* fungsi keanggotaan beda suhu ruang



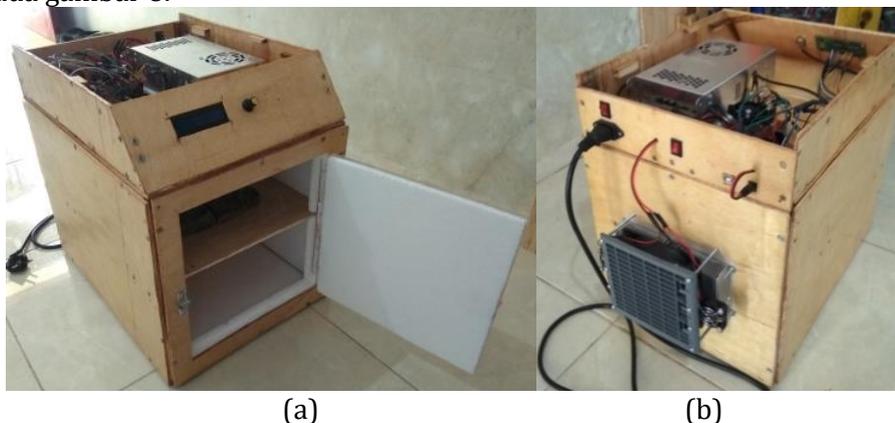
Gambar 6. *Output* fungsi keanggotaan PWM TEC



Gambar 7. *Output* fungsi keanggotaan PWM kipas pendingin

HASIL DAN PEMBAHASAN

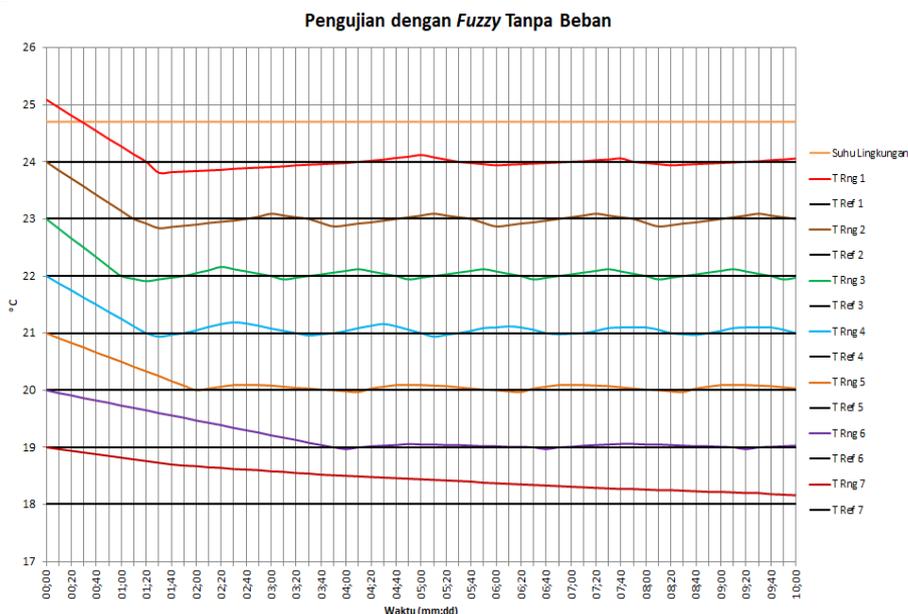
Hasil dari perancangan alat ini terbentuklah alat pengendali temperatur ruang penyimpanan yang berfungsi untuk mengendalikan suhu ruang secara efisien. Berikut hasil perancangan alat yang dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil perancangan fisik alat

Perancangan mekanik alat ini menggunakan bahan triplek 5 mm, styrofoam, dan akrilik. Volume ruang pada sisi bagian dalam berukuran $28 \times 28 \times 38 = 29792 \text{ cm}^3$ atau setara dengan 29.8

liter. Penggunaan daya seluruh sistem sebesar 91 W pada sisi *input* catu daya saat berbeban penuh. Penggunaan daya *driver* TEC bernilai 65.5 W sedangkan *driver* kipas pendingin bernilai 4.9 W. Sensor suhu DS18B20 dari 7 kali pengujian mendapatkan nilai rata – rata *error* 0.53%. Sensor suhu DS18B20 termasuk kategori sensor yang memiliki nilai *error* kecil serta akurat. Keunggulan dari penggunaan *fuzzy logic* berdasarkan riakan suhu ruang adalah tidak mengurangi kinerja dan kualitas daya catu daya dikarenakan arus total peltier dan kipas pendingin 5.85 A. Arus yang sebesar itu tidak bagus bila diterapkan pada sistem kendali *non fuzzy*. Pengujian yang dilakukan pada alat ini terdiri dari 3 yakni pengujian tanpa beban, dengan beban ,dan ketahanan produk cokelat. Pengujian tanpa beban pada gambar 9 sebagai berikut.

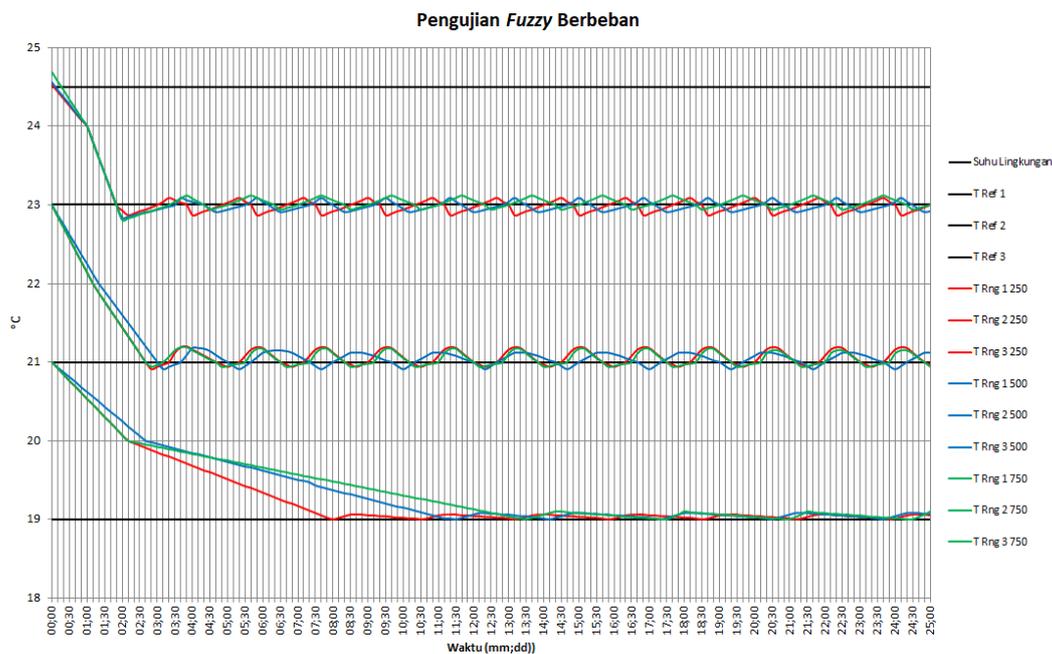


Gambar 9. Pengujian tanpa beban

Tabel 1. Data pengujian tanpa beban

NO	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Rng/ awal (°C)	Suhu Ref (°C)	Waktu (mm;dd)	Suhu Min (°C)	Suhu Maks (°C)	Error (maks-min) (°C)
1	24.7	25.09	24	01;24	23.81	24.12	0.31
2	24.6	24	23	01;09	22.84	23.09	0.25
3	24.6	23	22	01;04	21.94	22.16	0.22
4	24.7	22	21	01;20	20.94	21.19	0.25
5	24.7	21	20	01;56	19.97	20.09	0.12
6	24.9	20	19	03;48	18.97	19.06	0.09
7	25	19	18	-	18.16	-	-
Jumlah				10;41	Rata - rata		0.2

Suhu lingkungan merupakan suhu luar yang tercatat oleh sensor HTC-1. Dari tabel 1 pengujian tanpa beban didapati suhu minimal mencapai 18.16 °C dengan ΔT 6.54 °C pada suhu lingkungan 24.7 °C, error suhu sebesar $\frac{0.2}{21.5} \times 100\% = 0.93\%$. Dari data yang diperoleh bahwa semakin rendah suhu di bandingkan suhu lingkungan maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu referensi serta penyalaan peltier lebih lama. Pengujian pembebanan selanjutnya menggunakan produk cokelat batangan dengan total bobot 750 gram yang dapat dilihat pada gambar 10 sebagai berikut.



Gambar 10. Pengujian berbeban

Tabel 2. Data pengujian berbeban

No	Massa (gr)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Rng / Awal (°C)	Suhu Ref (°C)	Waktu (mm;dd)	Suhu Min (°C)	Suhu Maks (°C)	Error (maks-min) (°C)
1	250	24.5	24.53	23	01;51	22.87	23.09	0.22
2			23	21	02;40	20.91	21.19	0.28
3			21	19	08;00	19	19.06	0.06
Jumlah					12;31			
1	500	24.5	24.56	23	01;49	22.84	23.09	0.25
2			23	21	02;55	20.91	21.18	0.27
3			21	19	11;24	19	19.08	0.08
Jumlah					16;08			
1	750	24.5	24.69	23	01;48	22.81	23.12	0.31
2			23	21	02;41	20.94	21.19	0.25
3			21	19	13;35	19	19.1	0.1
Jumlah					18;04			
Rata - rata								0.2

Dari data pengujian diperoleh *error* suhu sebesar $\frac{0.2}{21} \times 100\% = 0.95\%$ dengan ΔT 5.5 °C dari suhu lingkungan. Dari data yang diperoleh kesimpulannya bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu lebih rendah berbanding lurus dengan volume ruang dan massa zat yang menjadi objek. Pengujian selanjutnya adalah ketahanan produk yang dapat dilihat pada gambar 11. Pengujian ketahanan produk bertujuan cukup penting dibandingkan pengujian sebelumnya karena akan membuktikan keberhasilan alat sebagai ruang penyimpanan. Sesuai dengan anjuran suhu penyimpanan cokelat, maka suhu diatur berkisar 21 °C.



Gambar 11. Hasil kondisi cokelat

Tabel 3. Data pengujian ketahanan produk

Hari ke-	Suhu Ruang (°C)	kondisi
0	28	Tekstur cokelat lunak, berminyak dan mudah hancur tidak terjadi <i>sugar bloom</i>
1	21.74	Tekstur padat, sedikit berminyak dan tidak terjadi <i>sugar bloom</i>
2	20.25	Tekstur padat, tidak rapuh, sedikit berminyak, tidak terjadi <i>sugar bloom</i>
3	21.8	Tekstur padat, tidak rapuh, sedikit berminyak, tidak terjadi <i>sugar bloom</i>
4	21.29	Tekstur padat, tidak rapuh, sedikit berminyak, tidak terjadi <i>sugar bloom</i>
5	20.6	Tekstur padat, tidak rapuh, sedikit berminyak, tidak terjadi <i>sugar bloom</i>
6	22.4	Tekstur padat, tidak rapuh, sedikit berminyak, tidak terjadi <i>sugar bloom</i>
7	21.5	Tekstur padat, tidak rapuh, sedikit berminyak, rasa sedikit berkurang

Dari data tabel 3, didapati hasil fisik atau tekstur pada permukaan cokelat batangan pada suhu berkisar 21°C lebih padat, sedikit berminyak, tidak terjadi keluarnya gula di permukaan cokelat, namun terjadi sedikit pengurangan rasa pada hari ke - 7. Kesimpulannya, alat ini mampu menjaga suhu ruang sesuai dengan suhu yang dianjurkan. Untuk menguji efektivitas alat ini perlu di hitung menggunakan rumus fisika sebagai pembanding untuk penelitian sebelumnya maupun kedepannya. Rumus yang digunakan sebagai berikut [15].

$$Q = m \times c \times \Delta T \tag{1}$$

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{2}$$

Keterangan : c = kalor jenis (J/kg°K)

ΔT = perubahan suhu (°K)

M = massa (kg)

ρ = massa jenis (kg/m³)

v = volume (m³)

Diketahui c udara = 1000J/kg°K, ΔT = 6.5 °K, ρ udara = 1.2 kg/m³, v ruang= 28 × 28 × 38 = 29792 cm³ = 0.029792 m³. Penyelesaiannya adalah.

$$m_{udara} = \rho \times v = 1.2 \frac{kg}{m^3} \times 0.029792m^3 = 0.03575 kg$$

$$Q = 0.03575 kg \times 1000 J/kg^{\circ}K \times 6.5^{\circ}K = 232.37 Joules \text{ atau } 0.22 \text{ btu}$$

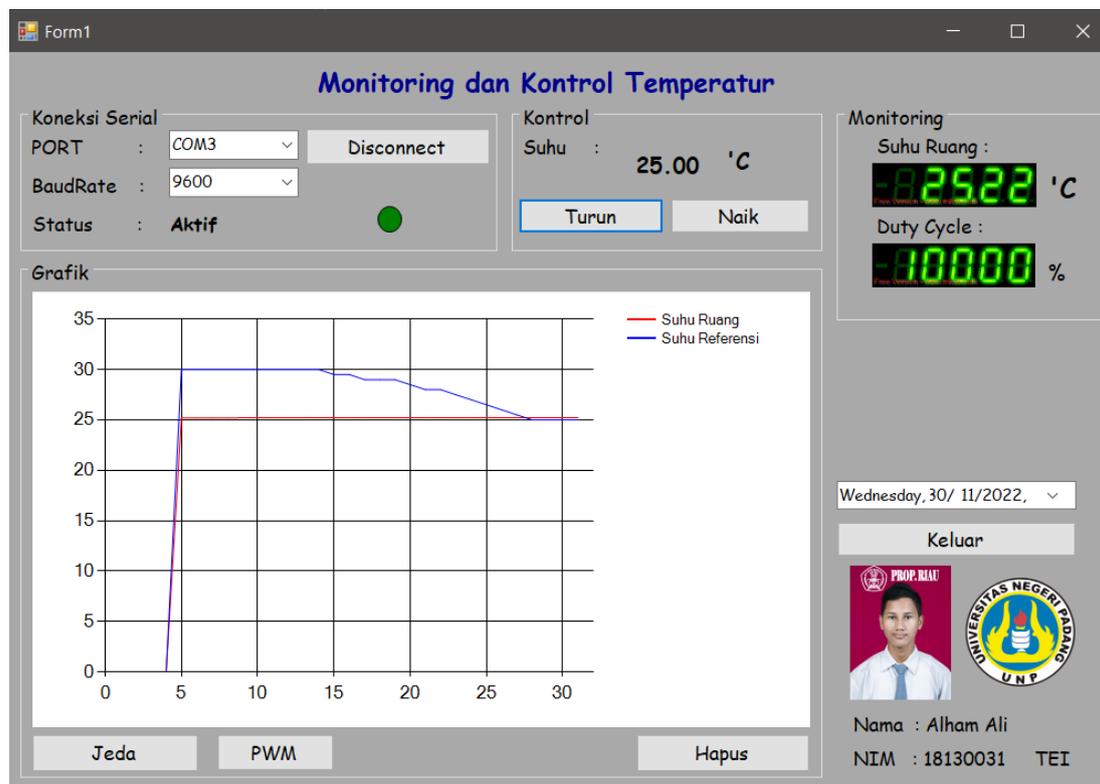
1 kal = 4.2 Joule, sedangkan 1 Joule = 0.24 kal dan 1 watt = 1 Joule/s

Maka, 232.37 × 0.24 = 55.76 kal, dan daya dua buah peltier = 65.5 Watt

$$CoP = \frac{Q}{P} = \frac{232.37}{65.5} = 3.54$$

Dari hasil perhitungan untuk mendinginkan ruangan bervolume 0.029791 m³ atau 29.79 liter, didapatkan nilai massa udara dalam ruangan sebesar 0.03575 kg, nilai kalor yang dapat diserap peltier sebesar 232.37 Joule, dengan daya nominal dua buah peltier sebesar 65.5 watt, didapatkan hasil nilai CoP sebesar 3.54 yang artinya efisiensi alat ini menggunakan energi sudah cukup bagus.

Sesuai dengan salah satu tujuan dari penelitian, pengujian aplikasi kendali suhu yang dibuat pada aplikasi visual basic 2012 tentu di analisa dimana hasil *graphical user interface* (GUI) dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. GUI aplikasi kendali suhu

Aplikasi yang dirancang memiliki proses kerja yang dimulai dari menghubungkan arduino ke PC menggunakan kabel USB lalu menyesuaikan *port* dan *baudrate* yang digunakan sehingga status menjadi aktif dengan menekan tombol *connect*. Fitur yang dimiliki yakni kendali suhu, monitoring suhu ruang, referensi dan *duty cycle* dari PWM. Hasil analisa program kendali suhu didapati bahwa aplikasi dapat bekerja dengan baik tanpa adanya *error* terjadi maupun memberatkan kinerja PC.

Berdasarkan data hasil pengujian ini dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan peneliti sebelumnya didapatkan bahwa alat kendali temperatur ruangan penyimpanan ini dapat bekerja dengan baik terutama pada kecepatan perubahan suhu dan inovasi aplikasi dari Visual Basic. Dimana alat ini bekerja sesuai dengan fungsinya untuk mengendalikan suhu ruang dengan objek coklat. Namun, pada sisi rentang suhu yang dicapai terbilang terbatas serta pengaruh pembebanan produk berdampak pada waktu yang lebih lama dan *error* kestabilan suhu yang lebih besar.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan perancangan alat kendali temperatur ruang penyimpanan menggunakan logika *fuzzy* model mamdani dengan bantuan Matlab mampu berfungsi dengan baik dalam kendali dan monitoring suhu ruang. Perancangan alat ini menggunakan logika *fuzzy* mamdani sebagai sistem yang menentukan keluaran PWM yang digunakan sebagai kendali Peltier dan kipas pendingin dimana *input* berupa suhu referensi dari potensiometer dan *output* berupa suhu ruang. Terdapat dua mode kendali dan monitoring, yakni menggunakan *input* potensiometer dengan *interface* LCD dan menggunakan aplikasi Visual Basic. Dengan adanya fitur ini akan mempermudah kendali dan monitoring temperatur ruang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. D. D. Arini, "Faktor-Faktor Penyebab Dan Karakteristik Makanan Kadaluarsa yang Berdampak Buruk pada Kesehatan Masyarakat," *J. Teknol. dan Ind. Pangan*, vol. 2, no. 1, pp. 15-24.

-
- [2] R. Faisal, M. I. Nurulloh, and J. Harmiansyah, "Ecobox : Inovasi Penyimpan Makanan Non CFC Berbasis Peltier Termoelektrik Yang Murah, Hemat Energi dan Ramah Lingkungan," *J. Creat. Students*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2016, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jcs>
 - [3] A. Rozaq, M. J. Afroni, and S. Sugiono, "Prototipe Sistem Portable Room Cooler Menggunakan Elemen Peltier Berbasis Arduino Uno R3," *Sci. Electro*, vol. 13, no. 1, pp. 1–7, 2021.
 - [4] Sunanto, R. Firdaus, and M. S. Siregar, "Implementasi Logika Fuzzy Mamdani Pada Kendali Suhu dan Kelembapan Ruang Server," *J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 128–136, 2021, doi: <https://doi.org/10.37859/coscitech.v2i2.3362>.
 - [5] D. Prihatmoko, "Perancangan Dan Implementasi Pengontrol Suhu Ruangan Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 117–122, 2016, doi: [10.24176/simet.v7i1.495](https://doi.org/10.24176/simet.v7i1.495).
 - [6] F. Wahab, A. Sumardiono, A. R. Al Tahtawi, and A. F. A. Mulayari, "Desain dan Purwarupa Fuzzy Logic Control untuk Pengendalian Suhu Ruangan," *JTERA - J. Teknol. Rekayasa*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2017, doi: [10.31544/jtera.v2.i1.2017.1-8](https://doi.org/10.31544/jtera.v2.i1.2017.1-8).
 - [7] K. D. Kw and Z. Noviardi, "Penerapan Inferensi Fuzzy Untuk Kendali Suhu Ruangan Pada Pendingin Ruangan (AC)," *Semin. Nas. Inform.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–27, 2010.
 - [8] R. Suryoputro, A. G. P. Satwiko, and S. Prabowo, "Optimasi Smart Peltier Cooler Menggunakan Fuzzy C-Means," *e-Proceeding Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 9208–9218, 2019.
 - [9] K. B. Rohito, K. R. Dantes, and I. N. P. Nugraha, "Rancang Bangun Air Cooler Dengan Menggunakan Modul Termoelektrik Peltier Type Tec-12706," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 7, no. 3, pp. 122–128, 2019, doi: [10.23887/jptm.v7i3.26516](https://doi.org/10.23887/jptm.v7i3.26516).
 - [10] E. Novianarenti, D. Khusna, and A. Setya, "Analisis Hasil Pengujian Efek Seebeck Termoelektrik Dengan Sumber Panas Ublik Dan Variasi Pendingin Oli, Air Es, Udara," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. V 2017*, pp. 45–50, 2017.
 - [11] Y. A. Tyanto and Sujono, "Perancangan Alat Pendingin Minuman Dengan Modul Pendingin Elektrik (Peltier)," *Pros. Semin. Nas. Multidisiplin Ilmu*, pp. 91–98, 2016.
 - [12] S. Purwiyanti, "Aplikasi Efek Peltier Sebagai Kotak Penghangat dan Pendingin Berbasis Mikroprosesor Arduino Uno," *Electr. - J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 11, no. 3, pp. 99–104, 2017.
 - [13] Y. A. K. Utama, "Perbandingan Kualitas Antar Sensor Suhu dengan Menggunakan Arduino Pro Mini," *e-NARODROID*, vol. 2, no. 2, pp. 145–150, 2016, doi: [10.31090/narodroid.v2i2.210](https://doi.org/10.31090/narodroid.v2i2.210).
 - [14] D. S. Purba, P. Pangaribuan, and S. A. W, "Pengendalian Suhu Air Dengan Metode Fuzzy Logic Dan PI Kontroler," *e-Proceeding Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 4011–4018, 2018, [Online]. Available: <https://librarye-proceeding.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/viewFile/8132/8028>
 - [15] A. Suryadi and A. Firmansyah, "Rancang Bangun Kulkas Mini Portable Menggunakan Peltier," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 11–22, 2020, doi: [10.24176/simet.v11i1.3361](https://doi.org/10.24176/simet.v11i1.3361).