

Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan dalam Kulkas untuk Proses *Dry Aging* pada Daging Sapi Menggunakan Logika Fuzzy

Prajna Wirya Kencana Putra¹, Djoko Purwanto¹, dan Enny Zulaika²

¹Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

²Departemen Biologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: djoko@ee.its.ac.id

Abstrak—*Dry aging* adalah proses menyimpan potongan daging sapi dalam waktu lama untuk mengkonsentrasikan rasa daging. Hal ini terjadi karena adanya proses proteolysis dalam daging sapi, dimana enzim natural dalam daging akan memecah jaringan pengikat dalam daging sehingga daging menjadi lebih lembut dan memiliki cita rasa yang khas. *Dry aged steak* hampir tidak pernah ditemukan di Indonesia, sebagian besar rakyat Indonesia bahkan tidak mengenal istilah tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat yang dapat dipakai dalam setting perumahan, yang dapat mengontrol suhu dan kelembapan dalam kulkas agar kulkas tersebut menjadi ruangan ideal untuk proses *dry aging*. Sistem kontrol berbasis logika fuzzy ini akan diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ATmega328P. Penggunaan logika fuzzy pada mikrokontroler ATmega328P memiliki nilai konstanta korelasi sebesar 99.9% dengan simulasi menggunakan MATLAB. Alat ini mengontrol suhu dan kelembapan di sekitar daging untuk mendapatkan daging *dry aged* dalam waktu 8 hari. Alat yang dirancang berhasil mengontrol suhu dalam kulkas dengan *steady state error* suhu dan kelembapan sebesar $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ dan $\pm 3\%$. Nilai pH daging yang dihasilkan tidak berubah drastis, yang membuktikan tidak terjadi kebusukan pada daging. Daging ini memiliki rasa sapi yang lebih pekat dan cita rasa dan bau yang unik, dengan kelembutan yang jauh lebih baik.

Kata Kunci—Atmega328P, Control System, Dry Age Steak, Fuzzy Logic.

I. PENDAHULUAN

STEAK adalah potongan daging (terutama daging sapi) yang tebal dan dimasak dengan dipanggang atau di *pan fry*. Sebuah sumber menyebutkan bahwa daging steak sapi diperkenalkan oleh bangsa Spanyol ke Meksiko pada abad ke-15. Makanan khas Barat ini telah lama digemari oleh orang Indonesia. Besar kemungkinan bahwa Belanda yang pernah menjajah Indonesia menurunkan resep steak kepada para koki yang Sebagian adalah orang Indonesia. Konsumsi produk daging pada negara di Asia seperti RRC, Jepang, Korea, dan negara-negara di Asia Tenggara seperti Vietnam per kapita berkisar antara 27,8 hingga 48,0 kg di tahun 2002 [1].

Walaupun budaya *Steak* di Indonesia sudah cukup terkenal, namun tidak banyak masyarakat Indonesia yang mengenal proses *dry aging* pada *Steak*. *Dry aging* adalah proses menggantung daging sapi atau menaruh potongan daging sapi tanpa di bungkus pada ruangan yang didinginkan lalu ditinggal untuk menua (*aging*) untuk beberapa minggu bahkan bulan pada ruangan terkontrol [2]. Berbeda dengan pengawetan, proses *dry aging* lebih menuju kepada proses fermentasi untuk meningkatkan rasa dan tekstur daging sapi. Beberapa pembelajaran menemukan bahwa proses *dry aging*

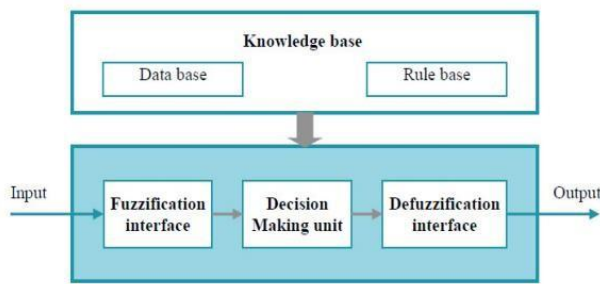
menghasilkan peningkatan dalam atribut palatibilitas pada daging, terutama rasa, menghasilkan determinan yang khas. Selain rasa, peningkatan dalam kelembutan dan kesegaran oleh *dry aging* juga dapat diamati. Kim et al., 2016, menemukan kadar glutamat yang lebih tinggi pada sampel daging *dry age*, yang biasa diasosiasikan dengan rasa umami yang digemari [3]. Survey menunjukkan bahwa nilai OAL (*Sensory Acceptance Test*) yang berisi variabel rasa, bau, kelembutan, dan kesegaran daging *dry age* memiliki nilai rata-rata 6,18 sedangkan daging tanpa label memiliki nilai 4,56 [4].

Dry aged steak sangat langka ditemukan di Indonesia, dan biasa hanya disajikan pada restoran ternama dengan harga yang sangat mahal. Proses *dry aging* juga sangat sulit dilakukan di rumah dan dapat menghasilkan daging yang busuk jika tidak diawasi dengan baik. Oleh karena itu, dibutuhkan alat untuk dapat meregulasi ruangan dalam kulkas agar dapat mengubah kulkas menjadi ruangan terkontrol untuk proses *dry aging* agar lebih banyak orang dapat menikmati *dry aged meat* tanpa mengunjungi restoran ternama.

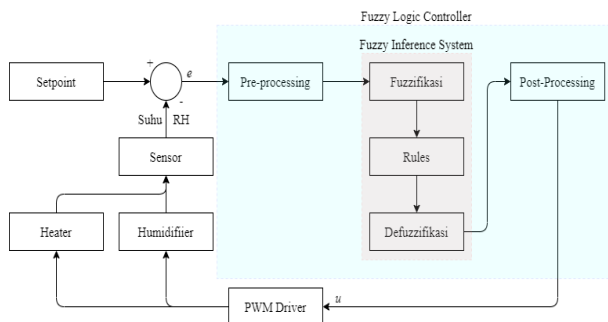
II. DASAR TEORI

A. *Dry aging*

Dry aging adalah proses menggantung daging sapi atau menaruh potongan daging sapi tanpa di bungkus pada ruangan yang didinginkan lalu ditinggal untuk menua (*aging*) untuk beberapa minggu bahkan bulan pada ruangan terkontrol untuk mengkonsentrasikan cita rasa daging sapi dan menghasilkan rasa yang baru [2]. Ini terjadi karena enzim dalam daging sapi akan menyerang molekul dalam sel sapi, memecah protein menjadi asam amino [5]. Proses ini disebut dengan proses proteolysis dan menghasilkan beberapa asam amino yang terhubung dengan aroma daging sapi yang dimasak (*isoleucine, leucine, phenylalanine, and valine*) dan asam glutamic yang terhubung dengan rasa umami [6-7]. Proses *dry aging* juga meningkatkan tingkat kelembutan daging oleh karena enzim yang memecah kolagen yang keras. Tentu saja terdapat banyak macam enzim yang memiliki peran dalam pelembutan daging dalam proses *dry aging* [5]. Tidak hanya peningkatan rasa baru, rasa daging akan semakin terkonsentrasi karena adanya kehilangan cairan terhadap waktu. Kehilangan massa cairan dan kebusukan kulit luar daging adalah kerugian utama dalam melakukan proses *dry aging*. Oleh karena itu Sebagian besar proses dilakukan pada potongan daging besar untuk meminimalisir kerugian ini.



Gambar 1. Block diagram of a fuzzy controller.



Gambar 2. Diagram blok FLC.

Terdapat beberapa parameter dalam melakukan proses *dry aging*, diantaranya:

1) Waktu (Time)

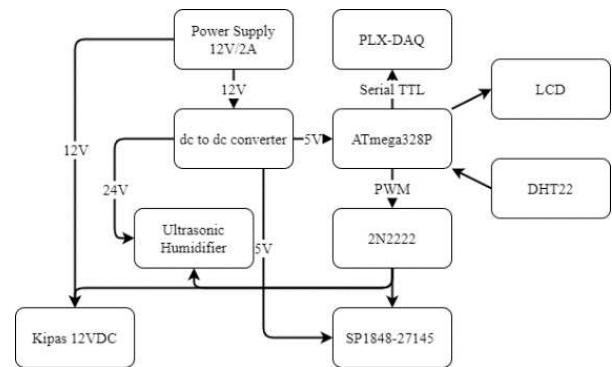
Tentu saja seperti proses fermentasi, semakin lama daging dibiarkan, maka konsentrasi cita rasa pun akan semakin tinggi. Seiring bertambahnya waktu, daging pun akan semakin lembut karena enzyme natural yang memakan protein penghubung pada daging. Banyak peneliti telah melaporkan bahwa *dry aging* dilakukan paling banyak pada jangka waktu 14 sampai 40 hari. Namun proses aging yang dilakukan lebih dari 21 hari tidak memiliki peningkatan signifikan dalam rasa [2]. Nilai aging juga sangat terhubung dengan suhu ruangan. Tergantung dengan suhu, laju peningkatan dalam kelembutan paling tinggi pada tahap awal proses *dry aging*, dan berkurang seiring waktu.

2) Suhu (Temperature)

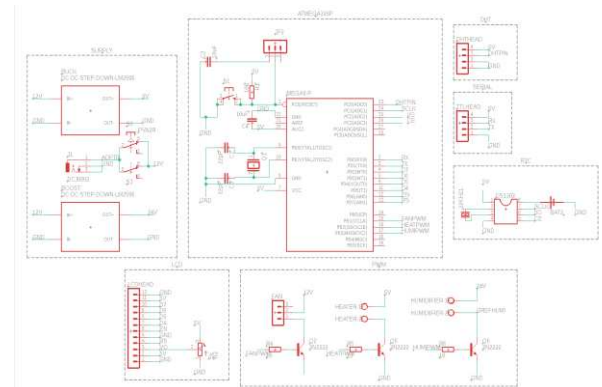
Suhu ruangan sangat penting dalam proses *dry aging*, karena diperlukan suhu yang cukup tinggi untuk proses enzyme dalam daging dapat bekerja dengan optimal, namun cukup rendah agar bakteri pembusuk berkembang dengan cepat. Oleh karena itu, proses *aging* dilakukan pada suhu serendah mungkin tanpa membekukan daging. Penelitian dalam proses *dry aging* Sebagian besar melaporkan bahwa suhu optimal pada proses *dry aging* adalah 0 – 4 °C [2]. Menurut penelitian oleh Ashleigh K. Kilgannon, et. al berkesimpulan bahwa nilai TTC (temperature-time combination) tidak berpengaruh banyak pada opini konsumen yang tidak terlatih, namun proses *dry aging* pada suhu 3 °C selama 6 hari akan menghasilkan nilai cita rasa dan kelembutan daging yang tidak berbeda jauh dibandingkan dengan proses *dry aging* konvensional [5]. Melakukan proses *dry aging* pada suhu 5 °C selama 8 hari akan menghasilkan kualitas yang tidak jauh dari cara konvensional (1 °C, 14 hari) tanpa merusak standar kesehatan juga [8].

3) Kelembapan Relative (Relative humidity (RH))

Kelembapan udara juga sangat penting dalam proses *dry*



Gambar 3. Diagram komponen secara keseluruhan.

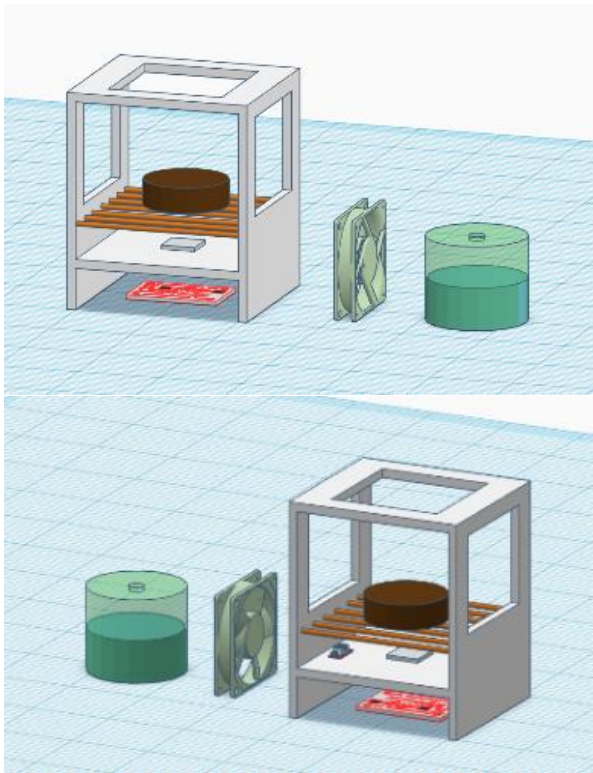


Gambar 4. Skematik elektronik menggunakan autodesk eagle.

aging. Kelembapan udara yang terlalu tinggi akan mempercepat pertumbuhan bakteri pembusuk, dan kelembapan udara yang terlalu rendah akan meningkatkan pengurangan cairan terlalu cepat hingga daging dapat kehilangan nilai *juiciness*. Rekomendasi nilai RH pada proses *dry aging* adalah 61% - 85% dan dikontrol agar tetap stabil [2]. Beberapa pembelajaran menunjukkan bahwa nilai RH yang biasa digunakan adalah $78 \pm 3\%$. Pembelajaran yang dilakukan salah satu penelitian menunjukkan bahwa nilai RH yang rendah meningkatkan nilai pengurangan cairan pada daging pada 3 hari pertama proses dan berkesimpulan bahwa nilai perubahan *moisture loss* oleh RH tidak memiliki dampak signifikan pada kualitas daging *dry aged* (28 hari) [9]. Peningkatan signifikan dalam asam amino terjadi pada tujuh hari pertama (peningkatan sebesar 200%) lalu berkurang secara lambat hingga 21 hari proses aging [10].

4) Aliran Udara (Air Flow)

Aliran udara berbanding lurus dengan kelembapan relative (RH) dimana aliran udara yang sehat dan konstan akan menghasilkan daging yang dapat melepaskan cairan dengan baik, tanpa mengering terlalu banyak dan mengurangi nilai *juiciness*. Kecepatan aliran udara harus dijaga agar bernilai tetap pada seluruh durasi proses *dry aging*, dan adalah variable paling kritical pada awal proses [2]. Adanya aliran udara yang sehat dapat mengubah komposisi microbial pada kulit luar daging dan meningkatkan kualitas rasa dari daging *dry aged* [6]. Rekomendasi kecepatan aliran udara pada sistem untuk proses *dry aging* adalah 0,5 – 2 m/s. Nilai ini dapat dikontrol dengan menggunakan kipas tambahan, penyangkai udara, dan sinar ultraviolet untuk memastikan udara bersirkulasi konstan pada daging tanpa menambahkan bakteri external pada kulit daging.



Gambar 5. Desain 3D body alat menggunakan Tinkercad.

B. Sensor dan Aktuator

Sebuah sensor adalah suatu divais yang menerima dan merespon pada suatu sinyal. Sinyal ini harus diproduksi oleh suatu bentuk energi, seperti panas, cahaya, mekanik, ataupun reaksi kimia. Sinyal ini pun akan dideteksi oleh sensor dan dikonversi menjadi representasi analog maupun digital dari sinyal energi tersebut. Sebuah Aktuator adalah suatu divais yang mengaktuator atau menggerakkan sesuatu. Sebagai kebalikan dari sensor, aktuator menggunakan suatu energy untuk melakukan suatu gerak [11].

Pada system control suhu dan kelembapan, diperlukan sensor untuk mendeteksi input berupa suhu dan kelembapan. Terdapat juga actuator alat yang harus dapat mengubah nilai suhu dan kelembapan di dalam kulkas. Komponen sensor dan aktuator yang akan digunakan pada perancangan alat ini antara lain:

1) Sensor Suhu dan Kelembapan

Sensor suhu dan kelembapan DHT22 menawarkan sinyal output digital yang terkalibrasi. Sensor ini menggunakan teknik pengumpulan sinyal digital eksklusif dan teknologi perasa kelembapan, memastikan stabilitas yang dapat diandalkan. Elemen perasanya terkoneksi dengan komputer single-chip 8-bit.

2) Kipas 12 VDC

Kipas DC adalah sebuah kipas yang dihubungkan dengan motor, dan diberi arus DC untuk memutar motor, mendorong angin yang ada di belakang kipas ke depan. Kipas dapat dibagi menjadi beberapa tipe, tergantung tipe bearing yang digunakan, serta banyaknya pin pada kipas

3) Heating Element

Sebuah peltier element adalah elemen yang menggunakan fenomena thermoelektrik berupa efek Peltier dan efek Seebeck untuk menghasilkan perbedaan suhu pada dua sisi

```
BEGIN
  INPUT Humidity
  INPUT Temperature

  Now <- GET RTDateTime
  TimeAlive <- Now - InitialTime
  TimeLeft <- 8days - TimeAlive

  IF (TimeLeft <= 2days) TemperatureSetpoint = 3

  IF (TimeLeft <= 0)
    BEGIN
      PRINT "DONE"
      OUTPUT Heater, Humidifier = 0
      RETURN
    END

  WHILE (1stTime = TRUE)
    IF (Temperature > TemperatureSetpoint)
      BEGIN
        PRINT "Waiting"
        OUTPUT Heater, Humidifier = 0
        RETURN
      END
    ELSE
      1stTime = FALSE
      RETURN

  TemperatureError <- Temperature - TemperatureSetpoint
  TemperatureChange <- Temperature - TemperatureBefore
  HumidityError <- Humidity - HumiditySetpoint

  PREPROCESSING
  MAP TemperatureError, TemperatureChange, HumidityError TO 0-100

  FUZZIFICATION
  CALCULATE Heater, Humidifier

  POSTPROCESSING
  MAP Heater, Humidifier TO 0-255

  OUTPUT Heater, Humidifier
  PRINT Heater, Humidifier

END
```

Gambar 6. Pseudo code program ATmega328P.

yang berbeda. Oleh karena itu, peltier element juga sering disebut sebagai *Thermoelectric cooler* (TEC). *Thermoelectricity* adalah bidang yang mempelajari hubungan antara suhu dan listrik. Bidang ini didasarkan oleh tiga efek dasar yakni efek Seebeck, efek Peltier, dan efek Thomson [12].

4) Humidifier Ultrasonik

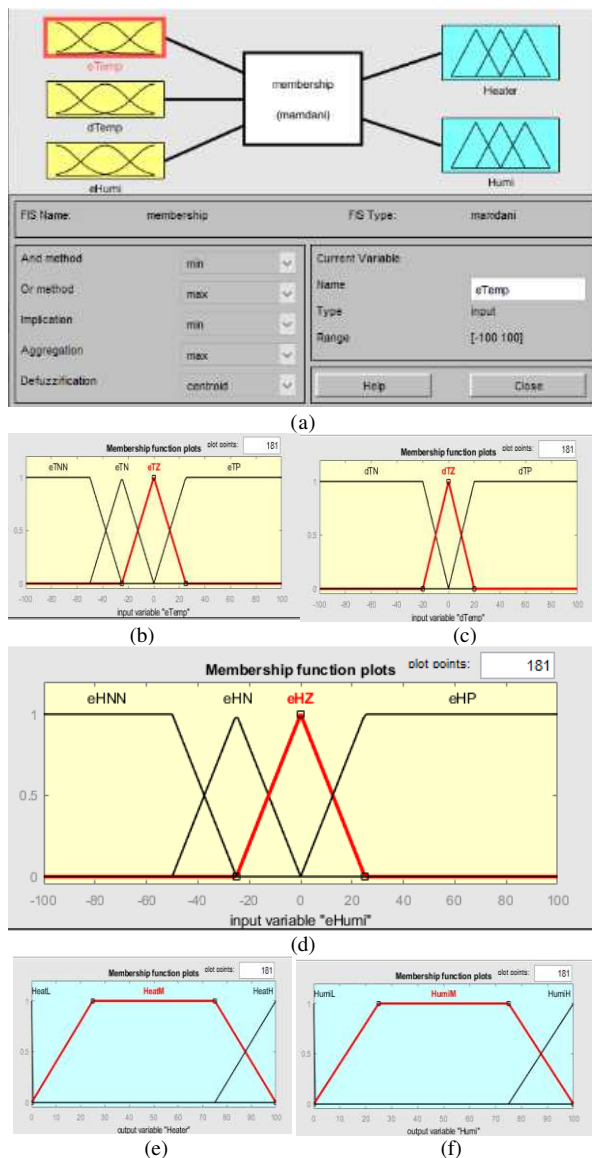
Humidifier ultrasonik menggunakan transduser piezoelektrik yang akan beresonansi pada frekuensi tinggi pada permukaan air sehingga akan menghasilkan kabut tipis dari cairan, yang akan langsung menguap, meningkatkan kelembapan udara.

Fenomena osilasi keping piezoelektrik disebut dengan resonansi. Pada keping piezoelektrik, fenomena resonansi frekwensi adalah frekwensi operasi dimana material piezoelektrik beresonansi secara maksimal, menkonversi energi listrik menjadi energi mekanik dengan efisiensi maksimum.

C. Fuzzy Logic Controller

Fuzzy logic muncul dalam konteks teori fuzzy sets, diperkenalkan oleh Zadeh (1965). Sebuah set menempatkan sebuah tingkat, biasanya adalah angka riil pada interval [0,1], pada elemen pada suatu universe. Fuzzy logic muncul dari penunjukan tingkatan kebenaran pada proposisi. Nilai standar untuk "tingkatan" atau nilai kebenaran adalah [0,1] dimana 0 merepresentasikan "totally false", 1 merepresentasikan "totally true", dan seluruh angka diantaranya berarti "partial truth".

Keuntungan utama dari fuzzy kontrol adalah kemungkinan mengimplementasi ilmu dan keahlian manusia dalam bentuk bahasa aturan *if – then* [13]. Fuzzy control mensimulasikan sebuah sistem yang dikontrol oleh manusia menggunakan computer. Fuzzy logic mengacu pada sekumpulan logika bernilai banyak (*many-valued logic*) yang akan menentukan nilai kebenaran (*truth value*), yang pada kasus ini akan



Gambar 7. (a) Matlab FLC (b) eTemp mf (c) dTemp mf (d) eHumid mf (e) Heater mf (f) Humid mf.

menghasilkan tingkat kebenaran dari sebuah proposisi logika. Pengertian *fuzzy logic* secara luas adalah segala macam formalism dan Teknik yang mengarah ke penanganan sistematis dari suatu “tingkatan” atau *degrees*. Dalam konteks Teknik (*engineering*) *fuzzy control* ditunjukkan pada metoda komputasi efisien yang mengurangi impresi.

Proses dari suatu controller berbasis logika *fuzzy* dimulai dari mengubah sinyal input (yang disebut dengan *crisp*) menjadi sekumpulan logika *fuzzy*. Proses ini disebut proses fuzzifikasi, lalu sebuah pilihan akan ditentukan berdasarkan *knowledge base*, yang berisi *rules* atau peraturan dan data. Pilihan ini pun akan dikonversi Kembali menjadi bentuk *crisp* dengan proses bernama defuzzifikasi. Block diagram cara kerja *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dapat dilihat pada Gambar 1.

Sebuah FIS Mamdani memiliki bentuk *rule* yang sangat mudah dimengerti. Salah satu contoh paling mudah dari suatu *rule* dalam FIS Mamdani dapat dilihat pada persamaan (1).

$$\text{IF } x_1 \text{ is } A_1^k \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^k \text{ THEN } y^k \text{ is } B^k,$$

$$\text{where } k = 1, 2, \dots, r \quad (1)$$

Tabel 1.
Fuzzy rules sistem

HEATER		dTemp		
		N	Z	P
eTemp	NN	H	M	M
	N	H	M	L
	Z	M	L	L
	P	L	L	L
HUMIDIFIER		OUTPUT		
			H	
eHumi	NN		M	
	N		L	
	Z		L	
	P		L	

Tabel 2.
Hasil pengujian logika *fuzzy*

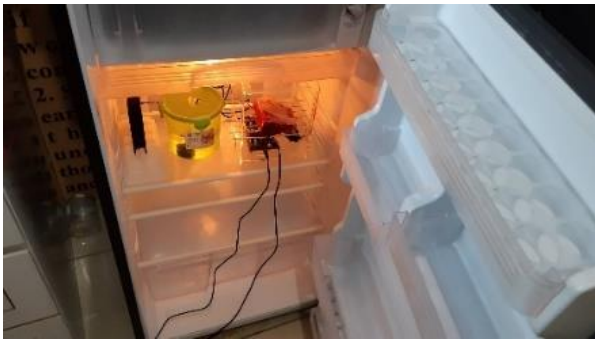
Input(eT dT eH)	Output 1 UNO	Output2 UNO	Output1 MATLAB	Output2 MATLAB
-93,33 -60,00 -45,00	92,28	63,50	92	63,4
-16,67 -10,00 7,00	53,55	0,00	52,9	0
-43,33 -20,00 -160,00	91,72	92,28	91,5	92
-50,00 80,00 -47,00	50,00	69,56	50	70
-46,67 -10,00 54,00	64,68	0,00	64,4	0
0,00 -20,00 -49,00	50,00	79,88	50	81,8
-33,33 -100,00 -31,00	91,48	53,24	91,3	50,7
-3,33 -70,00 -66,00	51,77	92,28	50,2	92
-83,33 60,00 -41,00	50,00	56,74	50	56,4
-23,33 -40,00 80,00	75,71	0,00	77	0

Sebuah FLC memiliki beberapa metoda fuzzifikasi dan defuzzifikasi, salah satu metoda fuzzifikasi yang paling sering dipakai adalah metoda inferensi Max – Min dimana jika *antecedent* terkoneksi dengan operan AND, maka akan diambil nilai membership value yang paling rendah dari *rule* tersebut untuk menentukan area output, dan kebalikannya jika *antecedent* terkoneksi dengan operan OR, maka akan diambil nilai membership value yang paling tinggi dari *rule* tersebut untuk menentukan area output. Dari proses fuzzifikasi akan ditemukan area output, yang merupakan gabungan dari seluruh area output dari setiap *rule*.

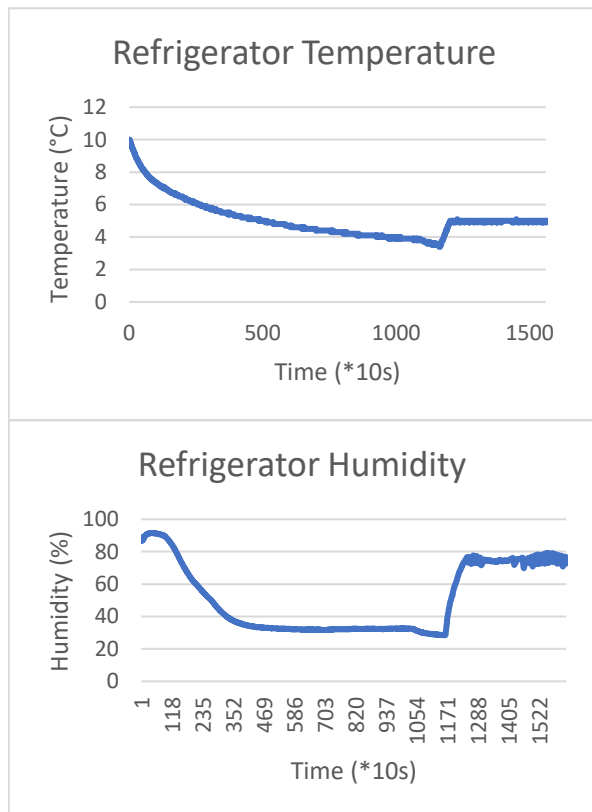
Defuzzifikasi adalah kebalikan dari fuzzifikasi, dimana proses ini akan mengubah nilai pada FIS kembali menjadi bentuk *crisp* yang dapat diolah. Metoda defuzzifikasi yang sering digunakan adalah metoda *centroid* atau *center of area*. Sesuai dengan namanya, metoda ini mencari nilai titik berat dari gabungan area output setelah fuzzifikasi. Pencarian titik berat ini dapat dilakukan secara geometris, menggunakan rumus geometri untuk menemukan nilai output.

III. PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini dijelaskan perancangan sistem secara keseluruhan. Alat yang dirancang bertujuan untuk membuat pengendali suhu dan kelembapan pada kulkas dengan menggunakan sensor suhu dan kelembapan yang mana data yang didapat dari sensor tersebut dikirim menuju mikrokontroler dengan program logika *fuzzy* untuk menentukan output yang dibutuhkan untuk menjaga suhu dan kelembapan di titik yang diinginkan (*Setpoint*). Perancangan alat berupa *printed circuit board* (PCB) dengan mikrokontroler ATmega328P sebagai controller utama, dengan program logika *fuzzy*, dimana akan tersedia *port* untuk sensor dan aktuator yakni sensor suhu dan kelembapan DHT22, kipas 12VDC DeepCool RF120W, elemen Peltier TEC1-12706, dan humidifier ultrasonik. Supply daya utama



Gambar 8. Pengujian keseluruhan sistem.



Gambar 9. Hasil pengujian keseluruhan sistem menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC).

merupakan adapter 12VDC/2A, dengan dc to dc buck converter LM2596 untuk mengkonversi 12V menjadi 5V sebagai supply mikrokontroller, dan dc to dc boost converter XL6009 untuk mengkonversi 12V menjadi 24V sebagai supply humidifier ultrasonik. Terdapat *port* untuk komunikasi serial UART untuk mempermudah monitoring dengan komputer, dan juga *port* untuk LCD 16x02 untuk monitoring visual.

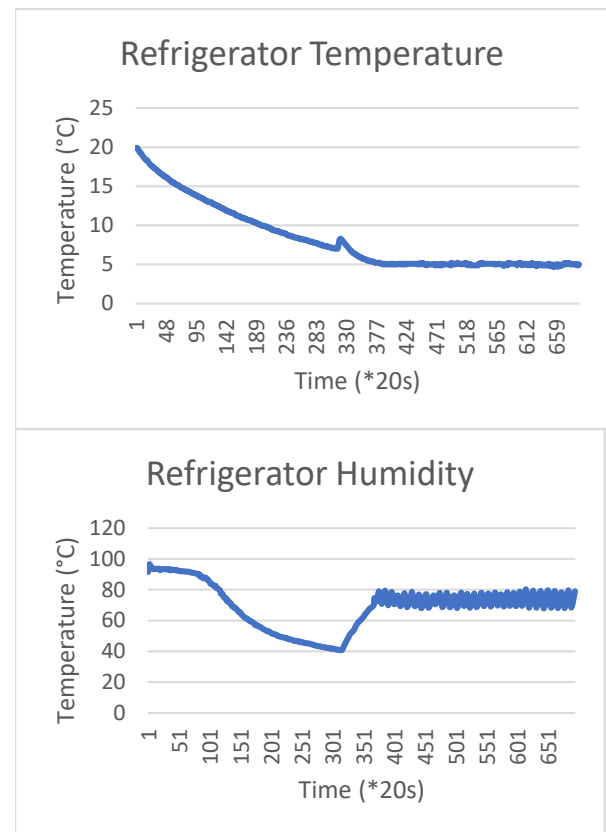
A. Diagram Blok Sistem

Diagram blok dari sistem kontrol logika fuzzy (FLC) dapat dilihat pada Gambar 2. Diagram blok dari komponen elektronika alat tertera pada Gambar 3. Skematik dari hubungan antar perangkat keras pada alat tertera pada Gambar 4.

B. Perancangan Perangkat Keras

Body dari alat memiliki peranan penting dalam kerja alat. Beberapa poin yang harus ditetapkan untuk body alat pada sistem ini yaitu :

1. Body harus dibuat sebagaimana secara ideal, seluruh permukaan daging dapat terkena aliran udara



Gambar 10. Hasil pengujian keseluruhan sistem menggunakan on-off control.

2. Body tidak mengandung bahan reaktif yang dapat mempengaruhi proses *dry aging*
3. Penempatan komponen harus mengurangi risiko short circuit oleh air
4. Body harus relatif kedap air
5. Body harus memiliki daerah yang cukup tertutup untuk komponen yang sensitif terhadap angin ataupun air (DHT22)

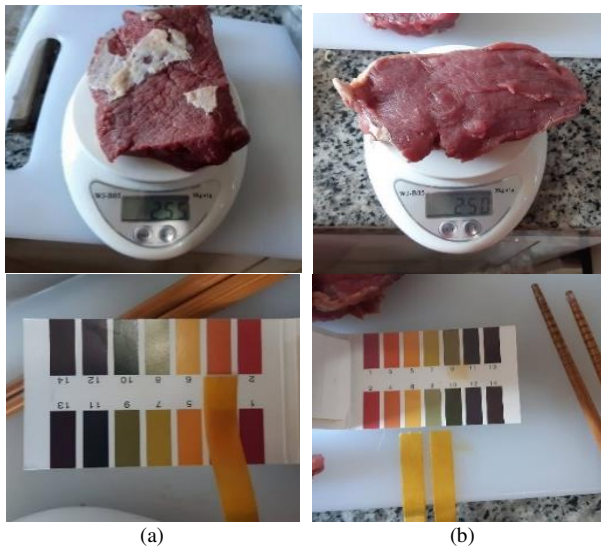
Dari poin – poin diatas maka dirancang body dari sistem kontrol suhu dan kelembapan dalam kulkas menggunakan *website* TinkerCad, untuk mendesain body secara 3D. Gambar desain body dapat dilihat pada Gambar 5.

Sesuai Gambar 5, body memiliki dimensi 20cm x 20cm x 25cm dengan bolongan pada setiap sisi untuk memastikan aliran udara sistem. Elemen pemanas dan sensor suhu dan kelembapan DHT22 akan ditempatkan tepat dibawah daging. Untuk memaksimalkan permukaan daging , body akan diberi lubang untuk dimasukkan tusuk sate bambu sebagai penopang daging agar tetap diudara. PCB akan ditaruh dibawah body, agar tidak terkena cipratan air oleh humidifier. Kipas dan humidifier akan berada pada lokasi yang cukup jauh dari body utama untuk perataan suhu dan kelembapan yang lebih baik di dalam kulkas. Pada desain tidak terlihat adanya kabel, namun pada saat perancangan nyata akan dibuat lubang khusus pada body untuk routing kabel dan juga kabel *zip tie* agar alat terlihat lebih rapih.

C. Perancangan Perangkat Lunak

1) Perancangan program ATmega328P

Perancangan program ATmega328P dilakukan menggunakan software Arduino IDE, yang dapat memprogram chip langsung secara TTL dengan menggunakan USB to TTL converter.



Gambar 11. Hasil pengujian daging sebelum proses *dry aging* (a) menggunakan alat (b) tanpa alat.

Program dari sistem kontrol terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu DHT22, LCD, RTC, *fuzzy*, dan PLX-DAQ yang akan dihubungkan menjadi satu program utama sebagai pengontrol sistem.

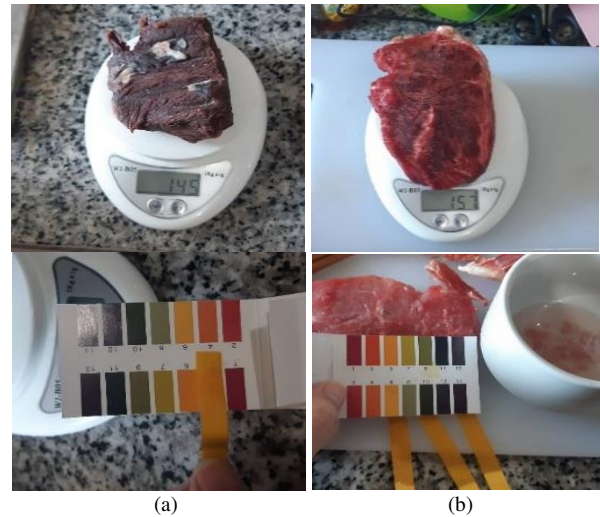
Pada program untuk sensor suhu dan kelembapan DHT22, digunakan library DHTlib oleh Rob Tillaart yang akan mengambil data RH dengan dua angka desimal dan data T dengan satu angka desimal dengan perintah `.humidity` dan `.temperature`.

Program LCD menggunakan library LiquidCrystal yang sudah disediakan oleh Arduino (dengan Adafruit). Program ini menggunakan mode 16x2 4 pin data. Mikrokontroler akan diprogram untuk menuliskan nilai suhu, kelembapan serta sisa waktu hingga proses *dry aging* selesai pada LCD.

Program RTC menggunakan library Rtc by Makuna oleh Michael Miller untuk RTC DS1302. Library ini mengambil data RTC menggunakan perintah `RtcDateTime`, dimana perintah ini akan mengambil nilai detik sejak 1 Januari 2000 (32bit) dan nilai ini dapat dimanipulasi menjadi tanggal dan waktu sekarang. Dengan perintah ini akan dibuat countdown timer untuk menghitung sisa waktu hingga proses *dry aging* selesai.

Program *fuzzy* menggunakan library eFLL by zerokol oleh AJ Alves sebagai komponen cerdas utama dari sistem. Program *fuzzy* terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu bagian *fuzzy object* yang menentukan *membership function* dari *fuzzy logic controller* (FLC), bagian *fuzzy input* untuk menghubungkan *membership function* pada input yang diinginkan, serta *fuzzy output* untuk menghubungkan *membership function* dengan output yang diinginkan. Bagian selanjutnya berupa *fuzzy rule*, dimana setiap *rule* harus berisi sebuah Antecedent dan Consequent yang harus ditetapkan sebelumnya. Setelah inisialisasi FLC selesai, fuzzifikasi untuk mengubah data crisp dapat dijalankan dengan perintah `fuzzify`, lalu perintah `defuzzify` akan mengeluarkan output sesuai dengan *rules* yang tertera. Library ini menggunakan logika *fuzzy* mamdani, dengan metoda min-max dan *center of area* (centroid) sebagai *fuzzy inference system* (FIS).

PLX-DAQ digunakan sebagai datalogger sistem untuk mencatat nilai sensor, terutama pada tahap eksperimen. Dalam program Arduino, PLX-DAQ akan diinisiasi lalu akan



Gambar 12. Hasil pengujian daging setelah proses *dry aging* (a) menggunakan alat (b) tanpa alat.

membaca data string yang diberikan oleh mikrokontroler, lalu menuliskannya dalam Microsoft Excel secara otomatis.

Untuk mempermudah perancangan program secara keseluruhan, dibuat Pseudo Code yang akan menjadi patokan utama dari algoritma program. Pseudo Code Program ATmega328P dapat dilihat pada Gambar 6.

2) Sistem Kontrol Logika Fuzzy

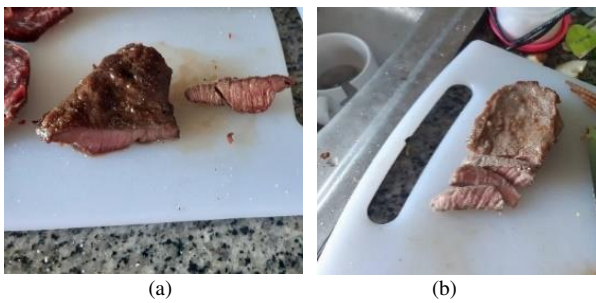
Input dari FLC adalah error suhu (*eTemp*), perubahan suhu (*dTemp*), dan error kelembapan (*eHumi*) dan output berupa persen daya heater (Heater) dan persen daya humidifier (Humi). Input atau disebut sebagai *Crisp*, akan ditentukan posisinya pada sistem dengan menggunakan *membership function*. Nilai *membership function* dari input dan output dari FLC dapat dilihat pada Gambar 7.

Dapat dilihat pada Gambar 7(a), FLC yang disimulasikan menggunakan FIS Mamdani, dengan metoda max-min dan defuzzifikasi centroid. Semua *membership function* (*mf*) memiliki range -100 hingga 100 untuk mempermudah visualisasi serta kesamaan antar *mf*, terutama karena nilai range dapat dimanipulasi secara perintah mapping pada Arduino. Seluruh *mf* juga menggunakan bentuk trapezoid karena library eFLL pada mikrokontroler hanya dapat menggunakan fungsi trapezoid.

Rules untuk mengatur suhu menggunakan heater dan kelembapan menggunakan humidifier ultrasonik terpisah menjadi dua, dimana untuk suhu, terdapat dua input *crisp* yaitu *eTemp* dan *dTemp*, dan untuk kelembapan, hanya terdapat satu input *crisp* yaitu *eHumi*. Dengan melakukan ini, maka tidak perlu melakukan operan AND atau OR pada *eHumi*, sehingga mengurangi banyaknya *rules* yang digunakan. Untuk kelembapan juga tidak digunakan *dHumi* atau perubahan kelembapan, dengan tujuan utama mengurangi *rule*, dan karena akurasi kelembapan dalam proses *dry aging* dapat diabaikan. *Rules* dapat direpresentasikan dalam Tabel 1.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini akan membahas tentang pengujian dari sistem yang di rancang pada bab sebelumnya. Bab ini bertujuan untuk mendapatkan data analisa pada masing-masing pengujian. Pengujian dilakukan per bagian komponen alat hingga sistem



Gambar 13. *Dry aged* steak (a) menggunakan alat (b) tanpa alat.

keseluruhan meliputi pengujian sensor, sistem *fuzzy logic*, serta sistem secara keseluruhan. Pengujian ini dilakukan di dalam ruangan tepatnya apartemen penulis, menggunakan kulkas Sharp.

A. Pengujian Sistem Logika Fuzzy

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa program FIS pada arduino sudah benar dan tidak ada keterbatasan komputasi yang terjadi. Pengujian logika *fuzzy* atau *fuzzy logic inference system* (FIS) dilakukan dengan menggunakan MATLAB sebagai simulasi FIS tersebut. Pengujian ini akan membandingkan FIS yang dibuat menggunakan program Arduino dengan FIS pada MATLAB dengan parameter yang sama, serta *rule* yang sama juga. Beberapa nilai output dari mikrokontroller pun akan dibandingkan dengan nilai output dengan menggunakan MATLAB. Nilai ini akan dikumpulkan dalam suatu tabel, lalu dicari koefisien korelasinya. Input dari sistem akan berupa data nilai random antara -100 dan 100 (angka bulat) untuk eTemp, dTemp, dan eHumi. Output yang akan dikeluarkan sistem bernilai 0 – 100 (2 angka dibelakang nol) untuk Heater dan Humi. Rumus koefisien korelasi dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y - \bar{y})^2}}$$

Hasil uji yang didapat adalah dari sepuluh data yang dikumpulkan, didapatkan koefisien korelasi antara Output1 Uno dan Output1 Matlab adalah 0.999359151 (99.94%) dan korelasi antara Output2 Uno dan Output2 Matlab adalah 0.999589177 (99.96%). Dalam kata lain dengan nilai korelasi yang tinggi ini dapat ditentukan bahwa *Fuzzy Inference System* (FIS) yang dibuat menggunakan library pada mikrokontroller ATmega328P memiliki hasil dan kinerja yang hampir sama dengan FIS yang dibuat menggunakan simulasi MATLAB. Perbedaan hasil menggunakan matlab dan hasil menggunakan mikrokontroller kemungkinan dapat diakibatkan oleh kemampuan komputasi yang berbeda, seperti akurasi nilai desimal dibelakang koma, dan atau komputasi integral persamaan garis. Hal ini tertera pada Tabel 2.

B. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk memastikan bahwa alat dapat mengontrol suhu dan kelembapan di dalam kulkas secara keseluruhan. Pada pengujian ini, seluruh sistem kontrol berupa sensor, mikrokontroller, serta aktuator digabungkan pada satu body, lalu data yang didapatkan dikirim secara serial ke laptop menggunakan USB to TTL Converter. Pengujian ini berfungsi untuk menguji apakah *Fuzzy logic controller* (FLC)

sudah dapat mengontrol suhu secara efisien dan optimal. Persiapan pengujian sistem serta tahap pengujian dapat dilihat pada Gambar 8. Setelah itu akan dilakukan pengujian keseluruhan sistem menggunakan program on – off control yang simpel sebagai pembanding terhadap FLC. Hasil pengujian keseluruhan sistem menggunakan *Fuzzy logic controller* (FLC) tertera pada Gambar 9. Sedangkan hasil pengujian keseluruhan sistem menggunakan *on-off control* tertera pada Gambar 10.

Pada Gambar 9 didapatkan data suhu dan kelembapan dalam kulkas saat alat diberi program *fuzzy logic controller*. Dapat dilihat bahwa setelah menunggu kulkas stabil, alat dapat mengontrol suhu dan kelembapan dalam sistem hingga mencapai titik setpoint, yaitu 5 °C untuk suhu dan 77% untuk kelembapan relatif. Nilai kelembapan relatif tidak stabil walaupun mendekati setpoint. Ini mungkin disebabkan oleh akurasi pengukuran kelembapan dari sensor DHT22, kinerja kulkas dalam mengatur kelembapan, ataupun ketidak efisiensi dalam logika *fuzzy* yang digunakan.

Pada Gambar 10 didapatkan data suhu dan kelembapan dalam kulkas saat alat diberi program dengan *on – off control*. Jika dibandingkan dengan menggunakan *fuzzy logic controller*, suhu dalam kulkas lebih tidak stabil, namun masih berada dalam batas error dengan *steady state range* berada diantara 5,4°C – 4,9°C. Nilai kelembapan dalam kulkas saat menggunakan program *on – off control* memiliki *steady state range* yang cukup besar dibandingkan dengan menggunakan *fuzzy logic controller*. Ini dapat disebabkan oleh sampling time yang cukup tinggi (10 detik), yang mengakibatkan kontroller untuk memberikan perintah ON bahkan setelah melebihi setpoint. Sensor DHT22 yang digunakan juga memiliki nilai *error range* yang cukup tinggi (±5%) sehingga dapat memberikan nilai kelembapan dalam kulkas yang tidak begitu akurat.

C. Pengujian Proses Dry Aging

Pengujian daging untuk mengetahui apakah proses dry aging sudah terjadi pada daging. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur nilai keasaman atau nilai pH dari daging dengan melarutkan 2g daging dengan 18g air suling [14], lalu diukur menggunakan kertas lakmus. Daging juga akan diukur massanya sebelum dan sesudah melewati proses dry aging. Daging ini akan dibandingkan dengan daging yang melalui proses dry aging tanpa menggunakan alat (hanya menggunakan kipas 12 VDC). Hasil pengujian sebelum proses *dry aging* tertera pada Gambar 11. Sedangkan pengujian sebelum proses *dry aging* tertera pada Gambar 12.

Terdapat dua gambar yakni Gambar 12(a) yang merupakan daging yang diberi proses *dry aging* menggunakan alat, dan Gambar 12(b) sebagai kontrol melalui proses *dry aging* tanpa menggunakan alat. Dapat dilihat pada Gambar 12 bahwa terjadi perubahan drastis pada permukaan daging yang telah melalui proses *dry aging*. Massa daging juga berkurang setelah proses *dry aging*, ini disebabkan oleh hilangnya cairan pada daging. Nilai pengurangan massa ini melebihi ekspektasi, ini mungkin disebabkan oleh aliran udara yang terlalu tinggi mengenai daging, mempercepat proses pengeringan daging. Daging (a) memiliki warna lebih gelap, dan juga memiliki pengurangan massa yang lebih besar dari daging (b), yang membuktikan bahwa daging (a) lebih *dry aged* dibandingkan daging (b). Hipotesis penulis adalah ini

terjadi karena daging (b) menggunakan suhu yang lebih rendah dibandingkan daging (a), sehingga bakteri homo fermentatif *Lactobacillus* spp. (yang menghasilkan bau serta rasa unik dalam daging *dry aged*) tidak bekerja dalam suhu ideal (4°C - 7°C). Suhu juga memiliki hubungan terhadap kinerja enzim dalam makhluk hidup, suhu yang ideal akan memberikan kinerja enzim yang ideal pula. Kinerja enzim proteolitik dalam daging yang terhubung dengan laju *dry aging* pun akan berkurang jika suhu terlalu rendah.

Nilai keasaman (pH) daging tidak berubah drastis, yang menunjukkan bahwa daging tidak busuk dan masih aman dikonsumsi. Ini sesuai dengan penelitian yang menyatakan bahwa daging akan mengalami peningkatan pH sedikit setelah proses *dry aging* (20 hari) karena adanya nitrogen yang dihasilkan oleh proses proteolysis dalam daging [14].

Daging yang telah melalui proses *dry aging* ini tidak mengeluarkan bau tidak sedap yang berarti belum terdapat proses pembusukan oleh bakteri seperti bakteri *Pseudomonas* spp. yang menghasilkan dimethyl sulfida yang sering dikorelasikan dengan bau busuk dan tidak sedap [15].

Daging yang telah melalui proses *dry aging* mengalami perubahan warna, dimana daging setelah proses memiliki warna merah yang lebih dalam dibandingkan dengan daging yang belum diberi proses *dry aging*. Daging juga tidak mengalami perubahan warna yang menunjukkan adanya proses pembusukan (berubah warna menjadi kehijauan) akibat hydrogen sulfida yang dihasilkan oleh bakteri *Lactobacillus* spp [15]. Tekstur daging juga tidak berlendir, sehingga daging ini dapat dinyatakan tidak busuk.

Daging yang sudah diproses ini pun akan dimasak dalam panci penggorengan menggunakan garam seperti pada Gambar 13.

Dapat ditarik kesimpulan, daging yang telah melalui proses *dry aging* memiliki rasa daging sapi yang lebih pekat dibandingkan sebelum proses *dry aging*, namun poin yang dapat langsung dirasakan adalah berkurangnya tingkat kealotan daging setelah dimasak. Ini mungkin disebabkan oleh penggunaan potongan daging yang alot, namun perbedaan kealotan daging sangat terasa jika dibandingkan sebelum dan setelah proses *dry aging*.

V. KESIMPULAN

Alat yang dibuat berhasil mengontrol suhu dan kelembapan di dalam kulkas menggunakan sistem kontrol logika *fuzzy* untuk mempercepat laju proses *dry aging*. Alat ini memiliki spesifikasi *steady state error* yakni $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ untuk parameter suhu, dan $\pm 3\%$ untuk parameter kelembapan, dimana spesifikasi ini lebih rendah dibanding spesifikasi saat tahap desain. Daging *dry aged* yang dihasilkan dalam 8 hari

memiliki laju proses *dry aging* yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses *dry aging* yang dilakukan tanpa alat. Perbandingan pengurangan massa daging dalam proses *dry aging* menunjukkan bahwa laju proses *dry aging* menggunakan alat memiliki peningkatan sebesar 15% dibandingkan tanpa alat, yang secara visual dapat terlihat perbedaannya. Daging *dry aged* yang dihasilkan menggunakan alat juga terbukti tidak busuk menggunakan tes *physicochemical* (visual, bau, rasa, pH) yang menunjukkan daging *dry aged* yang dihasilkan alat lulus standar kesehatan. Alat ini menggunakan komponen yang generik dan mudah dicari terutama pada antusias arduino, sehingga sangat mudah ditiru dan dikembangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K.-C. Nam, C. Jo, and M. Lee, "Meat products and consumption culture in the East," *Meat Sci.*, vol. 86, no. 1, pp. 95--102, 2010.
- [2] D. Dashdorj, V. K. Tripathi, S. Cho, Y. Kim, and I. Hwang, "Dry aging of beef; review," *J. Anim. Sci. Technol.*, vol. 58, no. 1, pp. 1--11, 2016.
- [3] J. Berger *et al.*, "Dry-aging improves meat quality attributes of grass-fed beef loins," *Meat Sci.*, vol. 415, pp. 285--291, 2018.
- [4] S. G. Meyerding, M. Gentz, B. Altmann, and L. Meier-Dinkel, "Beef quality labels: A combination of sensory acceptance test, stated willingness to pay, and choice-based conjoint analysis," *Appetite*, vol. 127, pp. 324--333, 2018, [Online]. Available: doi: 10.1016/j.appet.2018.05.008.
- [5] N. Perry, "Dry aging beef," *Int. J. Gastron. Food Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 78--80, 2012, [Online]. Available: doi: 10.1016/j.ijgfs.2011.11.005.
- [6] H. J. Lee, J. W. Yoon, M. Kim, H. Oh, Y. Yoon, and C. Jo, "Changes in microbial composition on the crust by different air flow velocities and their effect on sensory properties of dry-aged beef," *Meat Sci.*, vol. 153, pp. 152--158, 2019, [Online]. Available: doi: 10.1016/j.meatsci.2019.03.019.
- [7] K. Ninomiya, "Science of umami taste: adaptation to gastronomic culture," *Flavour*, vol. 4, no. 1, pp. 1--5, 2015, [Online]. Available: doi: 10.1186/2044-7248-4-13.
- [8] A. K. Kilgannon, B. W. Holman, D. C. Frank, A. J. Mawson, D. Collins, and D. L. Hopkins, "Temperature-time combination effects on aged beef volatile profiles and their relationship to sensory attributes," *Meat Sci.*, vol. 168, 2020.
- [9] F. A. Ribeiro *et al.*, "Effects of Relative Humidity on Meat Quality in Dry Aged Beef," Meat Science Department: University of Nebraska, 2020.
- [10] H. J. Lee *et al.*, "Role of moisture evaporation in the taste attributes of dry-and wet-aged beef determined by chemical and electronic tongue analyses," *Meat Sci.*, vol. 151, pp. 82--88, 2019.
- [11] R. E. Newnham, "Transducers sensors and actuators," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 25, no. S1, p. 9, 1986.
- [12] H. J. Goldsmid, *Introduction to Thermoelectricity*. New Jersey: Springer, 2010.
- [13] S. Revathi and N. Sivakumaran, "Fuzzy Based Temperature Control of Greenhouse," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 1, pp. 549--554, 2016, [Online]. Available: doi: 10.1016/j.ifacol.2016.03.112.
- [14] J.-H. Kim, D.-H. Kim, D. Ji, H.-J. Lee, D.-K. Yoon, and C.-H. Lee, "Effect of aging process and time on physicochemical and sensory evaluation of raw beef top round and shank muscles using an electronic tongue," *Korean J. food Sci. Anim. Resour.*, vol. 37, no. 6, p. 823, 2017.
- [15] E. Borch, M.-L. Kant-Muermans, and Y. Blixt, "Bacterial spoilage of meat and cured meat products," *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 3, no. 1, pp. 103--120, 1996.