APLIKASI LOGIKA FUZZY UNTUK PENGONTROLAN SUHU PADA PENGERINGAN BIJI KAKAO

Wahyu Gusti Habibi, M. Azis Muslim, Erni Yudaningtyas.
[(1)]Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, [(2),(3)] Dosen Teknik Elekro Univ. Brawijaya
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Email: wghabibi@gmail.com

ABSTRAK

Suhu adalah salah satu faktor utama pada proses pengeringan. Peternak kakao hanya menggunakan matahari untuk mengeringkan biji kakao. Hal ini dirasa kurang efektif karena tidak ada perhitungan suhu dan yang tepat dan otomatis, sehingga biji kakao yang dihasilkan sedikit . Pada tugas akhir ini pembahasan hanya berfokus pada pengendalian suhu serta bagaimana cara mengimplementasikan kontrol logika fuzzy untuk mengendalikan suhu tersebut sehingga sesuai dengan apa yang dibutuhkan pada proses pengeringan biji kakao.

Proses perancangan kontrol logika fuzzy pada penelitian ini menggunakan 5 *Membership Function* (MF) dengan metode Inferensi MAX-MIN *Composition* dan metode *Defuzzifikasi Center of Gravity* (COG). Pada proses pengendalian, didapatkan *settling time* (ts) sebesar 15 menit dengan nilai *steady state* 60 °C, *Error steady* state yang dihasilkan sebesar 0.35 %. Proses pengujian pada sistem dilakukan selama 10 jam.

Kata kunci: Biji kakao, Alat pengering, kontrol logika fuzzy, SHT 11, Arduino uno.

ABSTRACT

Temperature is one of the main factor at drying process. Only cocoa breeders using the sun to dry the cocoa beans review. It felt ineffective singer becaus no temperature precise calculations and automatic, so the cocoa beans just produced little. On final discussion just focus on temperature control and how to implement Fuzzy Logic Control to review the temperature control so accordance with what needs todrying cocoa beans.

Fuzzy logic design process controls in this study using a 5 Membership Function (MF) with MAX-MIN inference method composition and method defuzzification Center of Gravity (COG). At process control, the time settling time (ts) for a 15 minute shower withsteady state value of 60 ° C, The resulting steady state error of 0.35%. At systems testing process conducted for 10 hours.

Keywords*: Cacao Beans, dryer, fuzzy logic control, SHT 11, Arduino Uno.*

I. PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan salah satu tahap penting dalam pengolahan kakao untuk menjamin mutu produk akhir yang prima dari aspek kenampakan, citarasa, dan kebersihan. Mutu kakao yang dihasilkan petani sebagian besar belum memenuhi ketiga kriteria tersebut antara lain karena tidak tersedianya sarana pengeringan yang memadai.

Proses pengeringan yang umum dilakukan oleh petani kakao rakyat biasanya memanfaatkan sinar matahari dengan cara penjemuran. Pengeringan dengan matahari ini memerlukan tenaga kerja yang lebih banyak dan sangat tergantung dari cuaca. Bila cuaca kurang baik misalnya hujan atau berawan, maka pengeringan kurang sempurna, biji akan berjamur, dan mutunya sangat rendah. Berdasarkan pentingnya proses pengeringan yang baik yang tidak tergantung pada cuaca, maka dari itu dibuatlah rancang bangun alat pengering otomatis pada biji kakao. Pengeringan biji kakao dengan suhu pengeringan yang terlalu tinggi akan mengakibatkan biji kakao dengan aroma asam dan kadar asam lebih tinggi dari biji yang dijemur. Sehingga dibutuhkan suhu pengeringan yang tepat pada proses pengeringan biji kakao. Kajian fermentasi dan suhu pengeringan terhadap mutu kakao telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengeringan pada suhu 60^{o}C merupakan perlakuan terbaik dari semua perlakuan. (Hayati, 2012)

II. DASAR TEORI

A. Kakao

Kakao (Gambar 2.1) merupakan tumbuhan tahunan (*perennial*) berbentuk pohon, di alam dapat mencapai ketinggian 10m. Meskipun demikian, dalam pembudidayaan tingginya dibuat tidak lebih dari 5m tetap dengan tajuk menyamping yang meluas. Hal ini dilakukan untuk memperbanyak cabang produktif.

Gambar 2.1 Buah Kako

Kadar air merupakan salah satu karakteristik yang sangat penting pada bahan Karena dapat mempengaruhi penampakan, tekstur dan cita rasa pada bahan pangan (Winarno, 1993).

Pelaksanaan pengeringan dapat dilakukan dengan menjemur, memakai mesin pengering atau kombinasi keduanya. Pada proses pengeringan

terjadi sedikit fermentasi lanjutan dan kandungan air menurun dari 55- 60 % menjadi 6-7 %, selain itu terjadi pula perubahan-perubahan kimia untuk menyempurnakan pembentukan aroma dan warna yang baik.

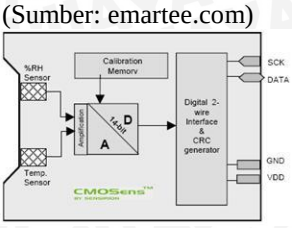
Suhu pengeringan sebaiknya antara 55-65 ^{o}c dan waktu yang dibutuhkan bila dijemur waktu yang dibutuhkan ± 7 hari apabila cuaca baik ,tetapi apabila banyak hujan penjemuran ± 4 minggu. Hal ini disebabkan kemampuan bahan untuk melepaskan air dari permukaan bahan akan semakin besar dengan meningkatnya suhu pengeringan yang digunakan (Thaib, 1987). Biji kakao yang sudah dikeringkan sebaiknya harus diantara 6% - 7% (Gambar 2.2). Bila biji kurang kering pada kandungan air diatas 8% biji mudah ditumbuhi jamur. Akan tetapi pengeringan dengan menggunakan suhu yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan pengeringan yang tidak merata yaitu bagian luar kering, sedangkan bagian dalam masih banyak mengadung air Wirakartakusuma (1992).

B. Sensor Suhu dan Kelembaban SHT 11

Sensor SHT11 merupakan sensor yang dapat mendeteksi suhu dengan range -40 sampai 123.8 derajat Celcius atau -40 sampai 254.9 derajat Fahrenheit, dan kelembaban 0 sampai 100 % RH. Ada dua pin yang digunakan pada SHT11 untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler, yaitu pin SCK dan pin DATA. Pin SCK berfungsi untuk mensinkronisasikan komunikasi antara SHT11 dan mikrokontroler, sedangkan pin DATA berfungsi untuk mentransfer data in dan out pada SHT11.

Modul sensor ini sudah memiliki keluaran digital dan sudah terkalibrasi, jadi pengguna tidak perlu lagi melakukan konversi A/D ataupun kalibrasi data sensor. SHT11 telah dikalibrasi pada ruangan denagn kelembaban yang teliti menggunakan hygrometer sebagai referensinya. Koefisien kalibrasinya telah diprogramkan kedalam OTP memory. Koefisien tersebut akan digunakan untuk mengaklibrasi keluaran dari sensor selama proses pengukuran.

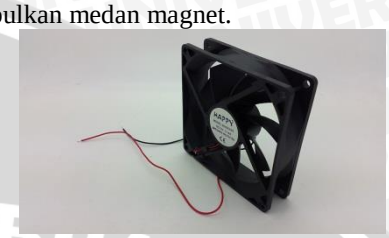
Gambar 2.2 Sensor SHT 11
(Sumber: emartee.com)



Gambar 2.3 Diagram Sensor SHT 11
(Sumber: www.sensiron.com)

C. Kipas DC 12 V

Prinsip Kipas DC seperti yang ditunjukan dalam Gambar 2.4 digerakkan olaeh motor DC yang ada di dalamnya. Motor DC memiliki Prinsip kerja yang sesuai dengan hukum kemagnetan Lorentz, yaitu membangkitkan fungsi magnet pada suatu konduktor berarus alam medan magnet seingga tmbul GGL induksi. Setiap arus yang mengalir melalui sebah konduktor akan meimbulkan medan magnet.

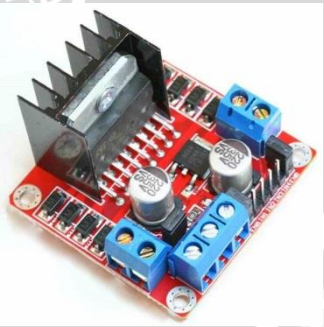


Gambar 2.4 Kipas DC

D. *Driver Motor* L298N

Pengendalian motor DC tidak bisa langsung di lakukan oleh mikrokontroler. Kebutuhan arus listrik yang besar pada motor DC sedangkan arus keluaran dari mikrokontroler sangat kecil. Untuk menyelesaikan permasalah itu maka di guakan driver motor sebagai alternatif untuk mengendalikan kecepatan motor DC. Banyak jenis yang dapat digunakan sebagai driver untuk mngatur kecepatan motor, yaitu menggunakan rangkaian H-Bridge transistor, H-Bridge MOSFET, dan IC driver motor.

Pada penelitian ini driver motor menggunakan modul driver L298N, yang mampu menangani beban hingga 4A pada tegangan 6V – 46V. Driver ini mampu mengendalikan 2 motor sekaligus dengan arus beban masing-masing 2 A. Bentuk fisik *Driver* L298N dapat dilihat dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Driver* Motor L298N

E. Arduino uno

Arduino UNO adalah mikrokontroler berbasis Atmega328. Arduino ini memiliki 14 digital pin input / output (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 analog input, 1 osilator kristal 16 MHz, Koneksi USB, soket adaptor, pin header ICSP, dan tombol reset. Hal inilah yang dibutuhkan untuk mensupport mikrokontroler secara mudah terhubung dengan kabel power USB atau kabel power supply adaptor AC ke DC atau juga battery. Berikut adalah gambar serta tabel

spesifikasi arduino UNO. Bentuk fisik arduino uno dapat dilihat dalam Gambar 2.6.

Gambar 2.6 Arduino Uno
(Sumber: https://www.arduino.cc/)

F. *Dimmer AC*

Rangkaian lampu dimmer AC (gambar 2.7) dengan TRIAC berfungsi sebagai alat untuk mengatur intensitas nyala lampu AC (lampu pijar). Rangkaian lampu dimmer dengan TRIAC ini sangat sederhana dan dapat digunakan untuk mengontrol intensitas nyala AC 220V dengan daya hingga 200 watt. Rangkaian lampu dimmer ini dibangun menggunakan TRIAC. Lampu dimmer dengan TRIAC ini dapat digunakan untuk mengontrol lampu dengan tegangan AC 110 volt hingga 220V.

Gambar 2.7 *Dimmer AC*

G. Motor Servo

Motor servo (gambar 2.8) adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup (servo), sehingga dapat di set-up atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor. motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol dan potensiometer. Serangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo.

Penggunaan sistem kontrol loop tertutup pada motor servo berguna untuk mengontrol gerakan dan posisi akhir dari poros motor servo. Penjelasan sederhananya begini, posisi poros output akan di sensor untuk mengetahui posisi poros sudah tepat seperti yang di inginkan atau belum, dan jika belum, maka kontrol input akan mengirim sinyal kendali untuk membuat posisi poros tersebut tepat pada posisi yang diinginkan

Gambar 2.8 Motor Sevo

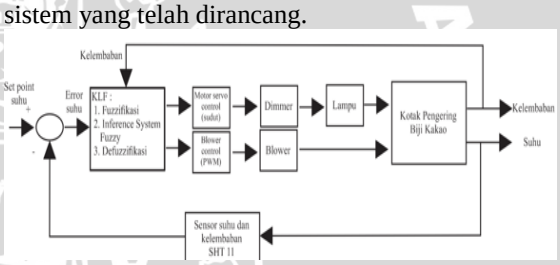
III. PERANCANGAN ALAT DAN KONTROLER

Perancangan alat ini dilakukan bertahap dalam bentuk diagram blok sehingga memudahkan dalam analisa perbagian dan keseluruhan. Perancangan ini terdiri dari:

1. Perancangan perangkat keras (box pengering biji kakao, sensor SHT 11, rangkaian LCD, rangkaian *driver* motor, rangkaian mikrokontroler).
2. Perancangan perangkat lunak (perancangan algoritma Kontrol Logika Fuzzy pada *software* Arduino 1.6.11).

A. Blok Diagram

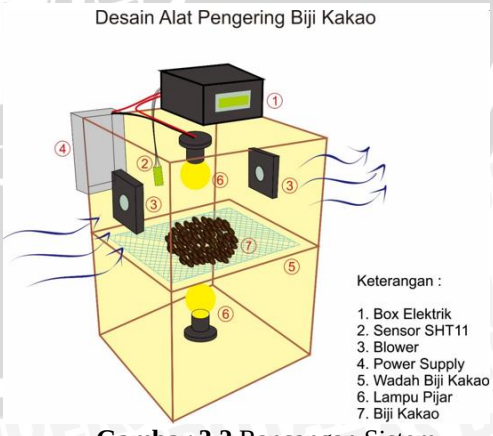
Gambar 3.1 adalah gambar diagam blok dari sistem yang telah dirancang.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

B. Perancangan Perangkat Keras

Skema perancangan sistem dapat dilihat dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rancangan Sistem

Spesifikasi tempat pengeringan biji kakao ini memiliki ukuran panjang 30cm, lebar 30cm, dan tinggi 30cm.

C. Perancangan Kontrol Logika Fuzzy

KLF yang dikembangkan dalam penelitian ini mempunyai dua crisp input yaitu Error suhu dan kelembaban serta dua crisp output yaitu perubahan

kecepatan (rpm) blower (pwm) dan perubahan kecepatan (rpm) dimmer (derajad). Error didefinisikan dalam Persamaan:

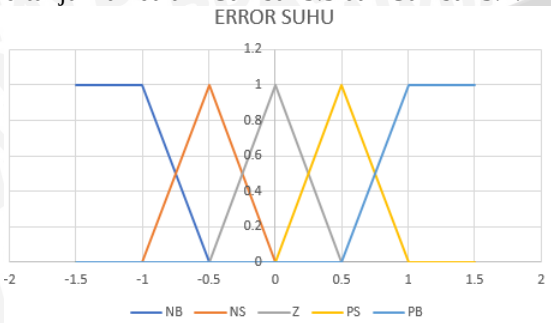
- Error = SP – PV(t) (1)

  dimana:

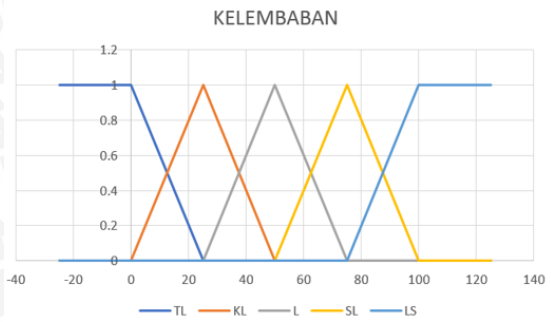
  SP = Setpoint (nilai yang diinginkan)

  PV(t) = Present Value pada waktu t

Dari rumus diatas diperoleh nilai *Error* suhu dan yang digunakan sebagai Fungsi Keanggotaan Masukan Fuzzy dan kelembaban yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.

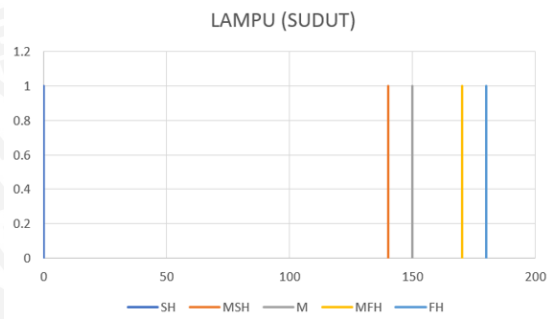


Gambar 3.3 Fungsi Keanggotaan nilai masukan fuzzy error suhu

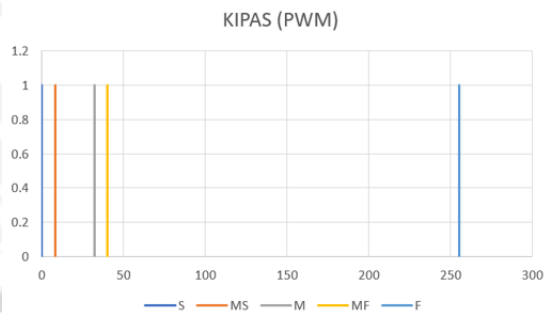


Gambar 3.4 Fungsi Keanggotaan nilai masukan fuzzy kelembaban

Fungsi keanggotaan keluaran motor DC merupakan nilai PWM dan motor servo merupakan nilai derajad yang dikeluarkan oleh Arduino Uno dari hasil perhitungan dengan metode defuzzifikasi weighted average yang telah dibulatkan dalam program yang ditunjukkan dalam Gambar 3.5 dan 3.6.



Gambar 3.5 Fungsi Keanggotaan Keluaran dimmer



Gambar 3.6 Fungsi Keanggotaan Keluaran blower

Dan fuzzy rule yang digunakan ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

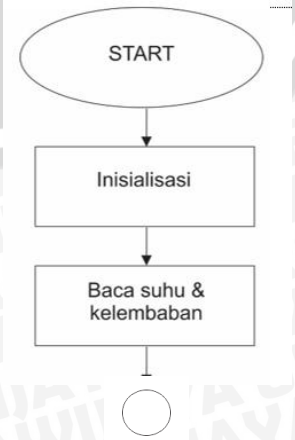
		SUHU				
		NB	NS	Z	PS	PB
KELEMBABAN	TL	F	MF	M	MS	S
		SH	MSH	MH	MFH	FH
	KL	F	MF	M	MS	S
		SH	MSH	MH	MFH	FH
	L	F	MF	M	MS	S
		SH	MSH	MH	MFH	FH
	SL	M	M	M	MS	S
		SH	MSH	MH	MFH	FH
	LS	S	S	S	S	S
		SH	MSH	MH	MFH	FH

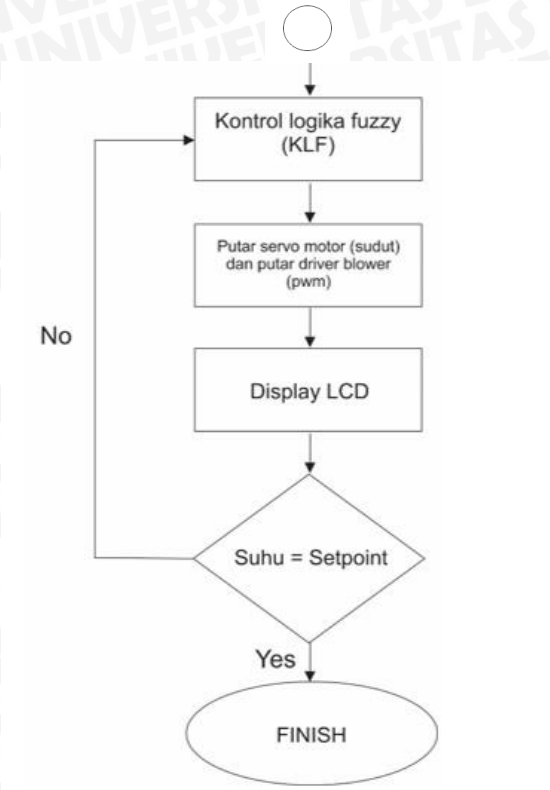
Tabel 3.1 *Fuzzy rule*

NB = *Negatif Big*
NS = *Negatif Small*
Z = *Zero*
PS = *Positif Small*
PB = *Positif Big*
SH = *Slow Heating*
MSH = *Medium Slow Heating*
MH = *Medium Heating*
MFH = *Medium Fast Heating*
FH = *Fast Heating*
F = *Fast*
MF = *Medium Fast*
M = *Medium*
MS = *Medium Slow*
S = *Stop*

D. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada penelititan ini menggunakan bahasa pemrograman C++ dan menggunakan *software* arduino 1.6.11. flowchart perangkat lunak dapat dilihat dalam gambar 3.6





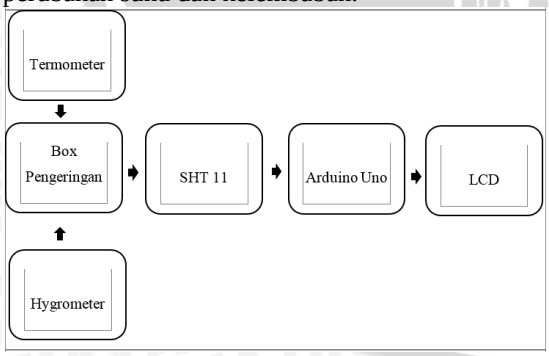
Gambar 3.6 *Flowchart*

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

A. Pengujian Sensor SHT 11

Pengujian sensor SHT 11 ditujukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca perubahan suhu dan kelembaban.

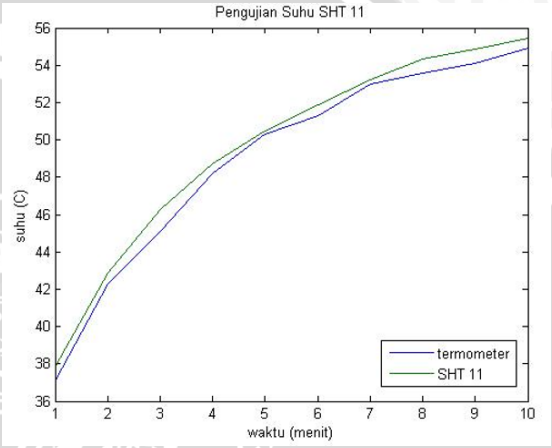


Gambar 4.1. Blok Pengujian Sensor SHT 11

Setelah semua dirangkai seperti pada blok pengujian sensor SHT 11 untuk pembacaan suhu dan kelembaban serta program telah diunggah pada Arduino Uno, maka diperoleh hasil seperti dalam Tabel 2 dan Gambar 4.2 untuk suhu dan Tabel 3 serta Gambar 4.3 untuk kelembaban.

Pengujian Suhu			
No.	Suhu pembacaan termometer digital (C)	Suhu pembacaan sensor SHT11 (C)	Error (%)
1	37.6	37.81	0.555409
2	42.7	42.83	0.303526
3	46.1	46.27	0.367409
4	48.1	48.72	1.272578
5	49.7	50.47	1.525659
6	51.2	51.9	1.348748
7	52.7	53.21	0.958466
8	53.7	54.31	1.123182
9	54.3	54.88	1.056851
10	55.1	55.44	0.613276

Tabel 4.1 Pengujian Suhu oleh sensor SHT 11



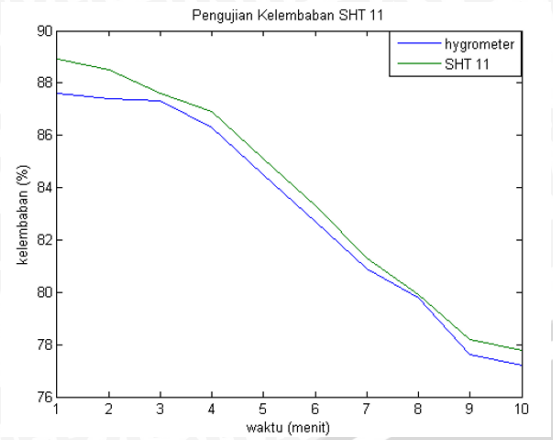
Gambar 4.2 Perbandingan Suhu Sensor SHT 11 terhadap Termometer Digital

$$Error = \frac{Hasil\ Pengukuran - Referensi\ |}{Referensi} \times 100\%$$

$$\text{Error rata – rata} = \frac{Error\ total}{n} = \frac{9.1251}{10} = 0.9125\%$$

Pengujian Kelembaban			
No.	Kelembaban hygrometer digital (%)	Kelembaban sensor SHT (%)	Error (%)
1	87.6	88.9	1.462317
2	87.4	88.5	1.242938
3	87.3	87.6	0.342466
4	86.3	86.9	0.690449
5	84.5	85.1	0.705053
6	82.7	83.3	0.720288
7	80.9	81.3	0.492005
8	79.8	79.9	0.125156
9	77.6	78.2	0.767263
10	77.2	77.8	0.771208

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kelembaban oleh sensor SHT 11



Gambar 4.3 Perbandingan Kelembaban Sensor SHT 11 terhadap Hygrometer Digital

Perhitungan kesalahan pembacaan sensor:

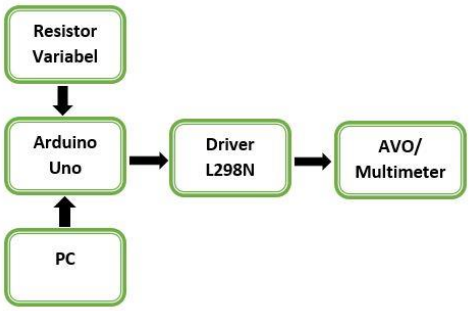
$$Error = \frac{Hasil\ Pengukuran - Referensi\ |}{Referensi} \times 100\%$$

$$\text{Error rata – rata} = \frac{Error\ total}{n} = \frac{7.3191}{10} = 0.7319\%$$

Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa dari sepuluh kali pengambilan data antara pembacaan sensor SHT11 dengan thermometer dam hygrometer didapatkan presentase kesalahan rata-rata pembacaan suhu sensor SHT11 adalah 0,9125%, serta 0,7319% untuk kelembaban relatif.

B. Pengujian *Driver* Motor DC L298N

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja *Driver* Motor untuk mengontrol keluaran tegangan yang nantinya akan digunakan sebagai sumber tegangan oleh kipas angin motor DC. Keluaran tegangan ini diukur terhadap sinyal PWM yang diberikan oleh Arduino Uno

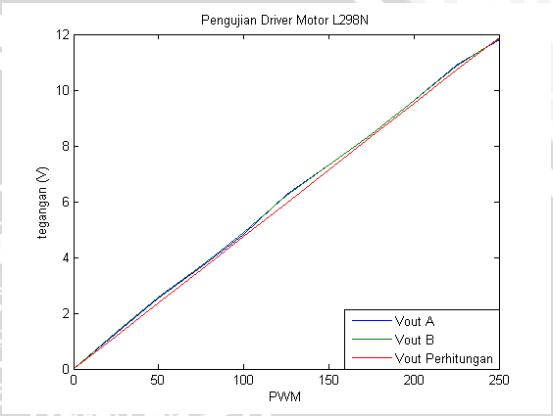


Gambar 4.4. Blok Pengujian *Driver* Motor L298N

Setelah semua dirangkai seperti pada blok pengujian *driver* motor L298N seperti dalam Gambar 4.4 dan program telah diunggah pada Arduino Uno, maka diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.5.

inPWMA	inPWMB	Vout A (Volt)	Vout B (Volt)	Vout perhitungan (Volt)
0	0	0	0	0
25	25	1,28	1,32	1,189
50	50	2,53	2,57	2,378
75	75	3,66	3,70	3,567
100	100	4,83	4,88	4,757
125	125	6,27	6,23	5,946
150	150	7,32	7,33	7,135
175	175	8,42	8,39	8,324
200	200	9,64	9,62	9,513
225	225	10,88	10,85	10,702
250	250	11,81	11,84	11,892

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Driver* Motor L298N



Gambar 4.5. Grafik Pengujian *Driver* Motor L298N

Seperti yang ditunjukkan hasil pengujian pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.5 dapat dilihat bawah semakin tinggi PMW maka tegangan keluaran yang dibutuhkan semakin tinggi pula. Untuk perhitungan tegangan keluarannya di ambil satu sampel yaitu nilai PWM 200.

$$\text{Vout} = \frac{nilai\ PWM}{255} \text{ x tegangan keluaran sumber}$$

$$\text{Vout} = \frac{200}{255} \text{ x } 12{,}13 = 9{,}513 \text{ volt}$$

C. Pengujian Dimmer

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui suhu maksimal yang dapat dicapai tanpa pengontrolan, dan mengetahui suhu konstan yang tercatat dengan 2 dimming yang berbeda dimming 0 (sudut) dan dimming 180 (sudut), serta waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu tersebut.

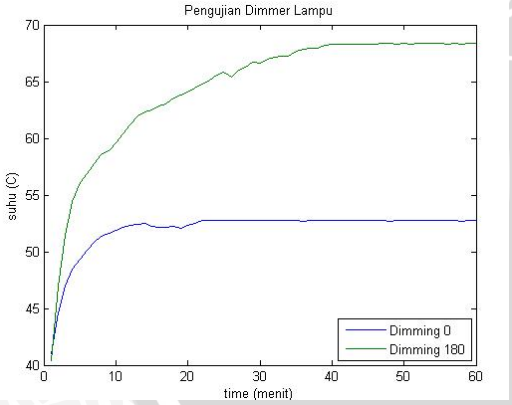
Hasil pengujian pencapaian suhu maksimal dengan putaran dimming 0 (sudut) dan dimming 180 (sudut) dapat dilihat pada tabel (4.4 & 4.5) dan gambar (4.6)

Pengujian Dimmer 0 (sudut)					
Menit	Suhu(◦C)	Menit	Suhu(◦C)	Menit	Suhu(◦C)
1	41.02	21	52.54	41	52.73
2	44.61	22	52.73	42	52.74
3	46.96	23	52.77	43	52.77
4	48.45	24	52.76	44	52.76
5	49.3	25	52.73	45	52.73
6	50.13	26	52.74	46	52.75
7	50.81	27	52.77	47	52.73
8	51.38	28	52.76	48	52.71
9	51.63	29	52.73	49	52.72
10	51.86	30	52.75	50	52.73
11	52.15	31	52.72	51	52.74
12	52.33	32	52.72	52	52.73
13	52.39	33	52.75	53	52.72
14	52.54	34	52.76	54	52.72
15	52.28	35	52.73	55	52.75
16	52.12	36	52.71	56	52.76
17	52.12	37	52.72	57	52.73
18	52.22	38	52.73	58	52.71
19	52.09	39	52.74	59	52.73
20	52.36	40	52.73	60	52.74

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Dimming 0

Pengujian Dimmer 180 (sudut)					
Menit	Suhu(◦C)	Menit	Suhu(◦C)	Menit	Suhu(◦C)
1	40.4	21	64.39	41	68.28
2	47	22	64.79	42	68.31
3	51.49	23	65.17	43	68.33
4	54.46	24	65.53	44	68.31
5	56.13	25	65.79	45	68.29
6	56.85	26	65.36	46	68.28
7	57.75	27	66	47	68.39
8	58.52	28	66.26	48	68.37
9	58.91	29	66.67	49	68.31
10	59.61	30	66.62	50	68.35
11	60.38	31	66.94	51	68.3
12	61.15	32	67.17	52	68.34
13	61.95	33	67.25	53	68.35
14	62.35	34	67.27	54	68.37
15	62.49	35	67.7	55	68.35
16	62.81	36	67.84	56	68.29
17	63.02	37	67.98	57	68.36
18	63.56	38	67.92	58	68.3
19	63.81	39	68.21	59	68.36
20	64.04	40	68.27	60	68.37

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Dimming 180

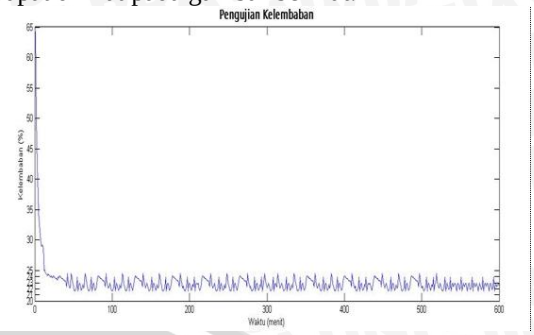


Gambar 4.6. Grafik Pengujian Dimming 0 dan Dimming 180

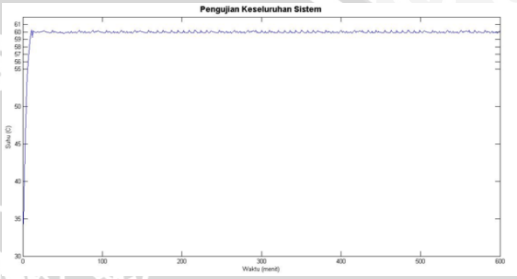
Dimming yang dipilih adalah 0 (sudut) dan 180 (sudut) karena memiliki pengaruh perubahan suhu yang relatif signifikan.

D. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem perlu dilakukan untuk mengetahui apakah parameter yang ditentukan dapat diaplikasikan pada alat dan sesuai atau tidaknya dengan setpoint yang diinginkan. Pada pengujian ini semua blok rangkaian dihubungkan, dan memasukkan program yang telah dibuat ke dalam perangkat keras tersebut. Langkah selanjutnya adalah memasukan nilai setpoint yang diinginkan, serta mengamati dan menganalisa hasil kinerja alat. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.7 Grafik Pengujian Kelembaban Keseluruhan Sistem



Gambar 4.8 Grafik Pengujian Keseluruhan Sistem (*set point* 60°C)

Pada pengujian suhu pada box pengeringan biji kakao seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa untuk mencapai setpoint membutuhkan waktu 15 menit. Dari hasil pengujian diketahui respon keluaran memiliki *error steady state* dan *max overshoot* sebagai berikut:

$$E_{ss} = \frac{|T_{akhir} - T_{setpoint}|}{T_{setpoint}} \; x \; 100\,\%$$

$$E_{ss} = \frac{|60.21 - 60|}{60} \; x \; 100\,\%$$

$$E_{ss} = \frac{0.21}{60} \; x \; 100\,\%$$

$$E_{ss} = 0.35\,\%$$

$$M_p = \frac{|T_{max} - T_{setpoint}|}{T_{setpoint}} \; x \; 100\,\%$$

$$M_p = \frac{|60.29 - 60|}{60} \; x \; 100\,\%$$

$$M_p = \frac{0.29}{60} \; x \; 100\,\%$$

$$M_p = 0.483\,\%$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa hasil pengujian memiliki *error steady state* sebesar 0,35% dan *max overshoot* 0.483%. *Error steady state* dan *max overshoot* masih masuk ke dalam

toleransi nilai *error steady state* dan *max overshoot* .

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada alat pengering biji kakao maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat pengering biji kakao memiliki ukuran panjang 40cm, lebar 30cm, tinggi 30cm dan tertutup oleh bahan yang terbuat dari kayu yang mengisolasi panas dilengkapi dengan mikrokonroler Arduino uno dan sensor SHT 11. Aktuator menggunakan lampu pijar, dan kipas DC
2. Kontroler Logika Fuzzy (KLF) yang dirancang memiliki 2 masukan, yaitu *error suhu* dan kelembaban yang masing-masing memiliki 5 nilai masukan keaggotaan dengan hasil respon sebagai berikut:
   - Terjadi perubahan suhu di dalam alat pengering biji kakao saat di kontrol.
   - Hasil respon memiliki nilai *error steady state* (E_{ss}) 0.35% dengan batas (E_{ss}) 1%
   - Hasil respon memiliki nilai *max overshoot* (M_p) 0.483 dengan batas (M_p) 8.33%

5.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih memungkinkan untuk dikembangkan dan di sempurnakan.

1. Untuk hasil yang lebih optimal alat pengering biji kakao perlu ditambahkan alat pembalik biji otomatis agar panas yang diterima biji kakao lebih optimal. Dan perlu ditambahkan sensor kadar air agar dapat memonitoring penurunan kadar air biji kakao.
2. Disarankan menggunakan bahan besi untuk *box* pengering biji kakao. Karena jika menggunakan *box* kayu secara terus menerus dalam jangka waktu lama, maka bahan kayu akan memuai.
3. Disarankan menggunakan ukuran yang lebih besar agar dapat menampung biji kakao lebih banyak. Agar dapat mengefisiensi waktu supaya hasil yang didapatkan lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

Spillane, J.J. 1995. *Komoditi Kakao Peranannya Dalam Perekonomian Indonesia*. Kanisius, Yogyakarta. Fahriannur, Ahmad. 2011.

Hayati, Rita. 2012. *Kajian Fermentasi dan Suhu Pengeringan pada Mutu Kakao*.

Ogata, Katsuhiko. 1996. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturran).*

Winarno, F.G. 1993. *Pangan, Gizi, Teknologi dan Konsumsi*. PT. Gramedia Pustaka Utama,Jakarta

Thaib, G.S. Gumbira, dan W.Sutedja. 1987. *Operasi Pengeringan pada Pengolahan Hasil Pertanian.* PT. Melton Putra. Jakarta.

Wirakartakusuma, A. 2005. *Pengaruh Lama Pengukusan dan Suhu Pengeringan pada Pembuatan Tepung Cokelat.* Fakultas Pertanian. THP Unsyiah, Banda Aceh.