

Rancang Bangun Oven Pengering Cascara Menggunakan Sistem *Hybrid* Dan Kontrol Suhu Berbasis Mikrokontroler Atmega 328

Bakhtiar_Bakhtiar¹, Yusman_Yusman², Milawarni_Milawarni³, Akhyar_Akhyar⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. Banda Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹bakhtiar@pnl.ac.id

²yusman@pnl.ac.id

³Milawarnimila@gmail.com

⁴akhyar@pnl.ac.id

Abstrak— Rancangan oven pengering dalam penelitian ini diperlukan untuk proses pengeringan cascara khususnya untuk daerah-daerah pegunungan dimana tingkat intensitas panas matahari sangat rendah selain itu oven pengering ini juga berperan penting untuk mempercepat proses pengeringan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa alat pengering dengan menggunakan wadah pengering (*dryer*) dan pemanas lampu pijar dengan sistem kendali *on-off* yang digabungkan dengan sistem *hybrid* dari panas cahaya matahari dari luar. Pengeringan cascara secara konvensional dijemur di bawah terik matahari dengan lama pengeringan 5–7 hari, pengeringan dengan sistem ini membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu dalam penelitian ini, dilakukan pengeringan dengan penggunaan wadah pengering dengan suhu terkendali *on-off* yang digabungkan dengan sistem *hybrid* dari panas cahaya matahari supaya pengeringan lebih cepat. Debit udara masuk dari kipas diperlukan untuk menjaga sirkulasi udara panas dalam wadah pengering tetap stabil, dengan temperatur dari pemanas lampu pijar dikondisikan sebesar 45 °C dan 50 °C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu dalam wadah pengering tetap stabil. Pengeringan cascara yang telah diuji dengan berat cascara 500 gram menggunakan wadah pengering pada suhu 45 °C suhu konstan membutuhkan waktu 10.5 jam tingkat penyusutan cascara 437.2 gram dan pengujian pengeringan cascara pada suhu 50 °C membutuhkan waktu 7 sampai 8 jam pada suhu konstan tingkat penyusutan cascara 434.5 gram.

Kata Kunci— Cascara, Mikrokontroler on-off on-offler, Kendali Suhu, *Hybrid*.

Abstrak— The design of the drying oven in this study is needed for the cascara drying process, especially for mountainous areas where the intensity of the sun's heat is very low. Apart from that, this drying oven also plays an important role in accelerating the drying process. The purpose of this study was to determine the performance of the dryer using a dryer and an incandescent lamp heater with an on-off control system combined with a hybrid system from the heat of the sun from outside. Cascara drying is conventionally dried in the sun with a drying time of 5-7 days, drying with this system takes a long time. Therefore, in this study, drying was carried out using a drying container with a controlled on-off temperature combined with a hybrid system from the heat of the sun so that drying was faster. The intake air discharge from the fan is needed to maintain the circulation of hot air in the drying container, with the temperature of the incandescent lamp heater conditioned at 45 °C and 50 °C. The test results showed that the temperature in the drying container remained stable. Cascara drying that has been tested with a cascara weight of 500 grams using a drying container at a constant temperature of 45 °C takes 10.5 hours, the shrinkage rate of cascara is 437.2 grams and the drying test of cascara at a temperature of 50 °C takes 7 to 8 hours at a constant temperature of 434.5 grams of cascara shrinkage.

Keywords— Cascara, Microcontroller, Temperature Control, *Hybrid*.

I. PENDAHULUAN

Cascara adalah teh kulit kopi (*pulp*) yang sudah dikeringkan dengan kadar air 11-12%, yang mengandung zat anti oksidan dan fenol yang berfungsi untuk meningkatkan imun tubuh manusia [1]. Oleh karena itu cascara mulai diproduksi dalam skala nasional maupun internasional. Kulit kopi membutuhkan proses pengeringan sebelum digunakan sebagai cascara. Tujuan pengeringan adalah mengurangi kadar air, mencegah fermentasi atau pertumbuhan jamur dan memperlambat perubahan kimia pada makanan. Kadar air cascara harus diturunkan hingga mencapai 11-12 % sesuai dengan standarnya [2]. Umumnya proses pengeringan kulit kopi menjadi cascara dilakukan dengan cara mengeringkan di bawah terik matahari. Pengeringan alami hanya dilakukan pada musim kemarau, karena pengeringan ini tergantung dari cuaca. Metode ini membutuhkan waktu 5-7 hari hingga cascara mencapai kadar air 12%, metode ini sangat ekonomis tetapi membutuhkan waktu yang lama, namun sanitasi kurang terjaga karena sudah terkontaminasi dengan jamur dan mikroba, sehingga dapat mengurangi mutunya. Proses pengeringan secara manualpun masih mengalami kesulitan penentuan suhu pengeringan dalam satu

kali produksi. Oleh karena itu dibutuhkannya inovasi alat pengering cascara yang dapat mengontrol dan memonitoring proses ini. Banyaknya hasil penelitian yang digunakan untuk mengeringkan kopi, tetapi belum adanya inovasi yang digunakan untuk mengeringkan khusus kulit kopi yang dimanfaatkan untuk teh cascara. Hasil penelitian menunjukkan pengeringan biji kopi menggunakan sistem mikro kontrol dengan kendali suhu menggunakan sistem kontrol *on-off*, menghasilkan kadar cascara 12,5 % dengan waktu pengeringan 1 jam dari kapasitas 1/2 kg, tetapi harus menjemurnya terlebih dahulu secara alami sampai kada cascara 60%, baru kemudian menggunakan wadah pengering untuk menurunkan kadar air sampai 12,5% [3]. Metode pengeringan kendali suhu sistem kontrol *on-off* dan sistem *hybrid*, dapat menghasilkan penurunan kadar air kopi sebesar 12,5% selama 10.5 jam [4]. Berbagai penelitian sudah dilakukan untuk menghasilkan kopi dengan kadar air standar sebesar 12%. Metode pengeringan dengan sistem *hybrid* telah dilakukan dengan variasi sumber energi matahari dan energi biomassa, menghasilkan pengeringan dengan menggunakan laju pengeringan energi *hybrid* lebih besar dari laju pengeringan matahari dan energi biomassa, tetapi efisiensi

total lebih kecil menggunakan energi matahari [5]. Belum adanya inovasi pengeringan cascara sistem kendali *on-off* yang digabungkan dengan sistem *hybrid*, sehingga dibutuhkan inovasi untuk rancang bangun oven pengering cascara menggunakan sistem *hybrid* berbasis Mikrokontroler ATMEGA 328 dengan sistem kendali suhu untuk pengendalian suhu konstan ruang pengering.

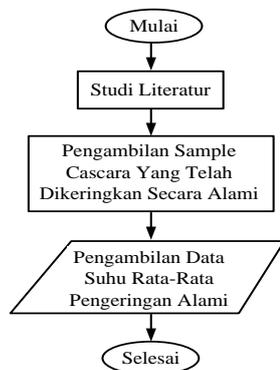
Pengeringan cascara dengan sistem *hybrid* yaitu memanfaatkan energi panas matahari untuk meningkatkan suhu ruangan pengering dari luar dan kendali suhu menggunakan sistem kontrol *on-off* untuk kendali cahaya lampu pijar. Alat ini dirancang berbasis mikrokontroler Atmega328 dengan menggunakan sensor suhu DH-11 yang berfungsi untuk pendeteksi suhu dan kelembaban ruangan pengering. Sistem kontrol *on-off* digunakan dalam perancangan ini untuk dapat menghasilkan respon suhu sehingga memenuhi performa ruang pengering yang diinginkan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan berdasarkan beberapa tahap yang dibuat dalam bentuk langkah-langkah agar prosesnya berjalan secara sistematis yang dinyatakan dalam sebuah diagram system alir yang terdiri dari 4 tahap yaitu: Pengambilan sample cascara kering hasil pengeringan secara konvensional dengan panas cahaya matahari, rancangan alat (*hardware*), tahap perancangan algoritma pemrograman (*Software*), tahap pengujian dan pengambilan data hasil rancangan alat. Adapun tahapan-tahapan penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut:

- Tahap Pengambilan Sample Cascara Kering Hasil Pengeringan Secara Konvensional

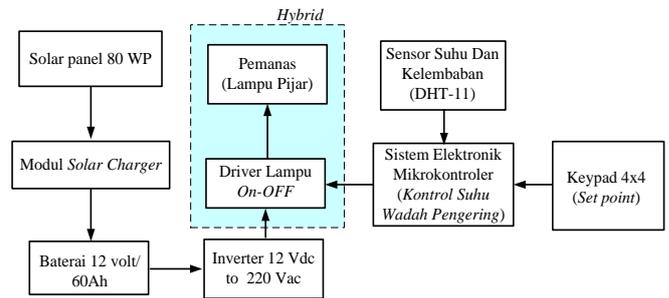
Pada Tahap ini dipilih sample cascara yang bagus dari hasil pengeringan secara konvensional, untuk dijadikan contoh tingkat kekeringan kadar air. Tahap pengambilan sample cascara kering hasil pengeringan secara konvensional seperti pada Gambar 1. Pada tahap awal ini dilakukan studi literatur tingkat kualitas cascara dengan sistem pengeringan secara alami dengan sinar matahari, Pengambilan contoh cascara yang telah dikeringkan dengan cahaya matahari, Pengambilan data suhu rata-rata dengan pengeringan cahaya matahari. Data pengeringan secara alami diperlukan untuk dimodelkan tingkat suhu dalam wadah pengering dengan sistem pemanasan elektronik yang dikendalikan dengan sistem kontrol *on-off*.



Gambar 1. Diagram Alir Pengambilan Contoh Cascara Kering

- Tahap Perancangan Alat (*hardware*)

Tahapan perancangan alat dibuat dalam bentuk blok diagram, supaya lebih mudah menganalisa *input* dan *output* pada mikrokontroler. Tahapan perancangan alat dibuat dalam bentuk blok diagram seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Perancangan Alat

Proses kerja dari diagram blok pada Gambar 2 adalah sebagai berikut:

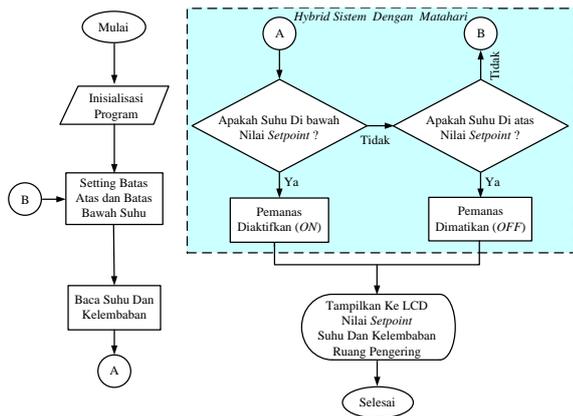
1. Solar panel (*solar cell*) mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Tegangan maksimal keluaran dari *solar cell* adalah 20 volt,
2. Tegangan keluaran dari *solar cell* dimanfaatkan untuk pengisian baterai dengan perantara *solar charger*.
3. Baterai 12 volt berfungsi untuk penyimpanan arus listrik.
4. Inverter 12 volt dc ke 220 volt ac diperlukan untuk mengubah tegangan baterai 12 volt dc menjadi 220 volt ac, dimana tegangan 220 volt ac keluaran dari inverter digunakan untuk menyalakan lampu pijar melalui perantara modul *dimmer triac* 220 volt.
5. Proses *hybrid* dari panas matahari dimanfaatkan untuk membantu pemanasan ruang pengering, dengan adanya bantuan panas dari matahari maka, *dimmer triac* tidak lagi bekerja maksimal untuk menyalakan lampu pijar, sehingga dapat menghemat konsumsi arus baterai dan pengisian arus baterai oleh *solar cell* lebih maksimal.

- Tahap Perancangan Algoritma Pemrograman (*Software*) Dengan Kendali *On-Off*

Tahapan perancangan algoritma pemrograman dibuat dalam bentuk *flowchart*. Prinsip kerja alat pengering cascara secara umum dapat dilihat melalui diagram alir (*flowchart*) seperti pada gambar 3. Sebelum pembuatan program terlebih dahulu dilakukan perancangan algoritma pemrograman. Algoritma pemrograman adalah sebagai berikut:

1. Mulai.
2. Inisiasi program, *port* mikrokontroler Atmega328.
3. Setting nilai batas suhu dengan keypad 4x4.
4. Pembacaan data suhu dan kelembaban ruang pengering oleh DHT-11.
5. Jika semua parameter *setpoint* sudah selesai diinputkan dengan *keypad*, pemanasan ruang pengering siap diaktifkan dengan menekan tombol mulai (tombol D pada *keypad*).
6. Pembacaan suhu dan kelembaban sensor DHT-11.
7. Sistem *hybrid* dari panas matahari dimanfaatkan untuk membantu pemanasan ruang pengering, dengan adanya bantuan panas dari matahari maka, *dimmer* PWM tidak lagi bekerja maksimal untuk menyalakan lampu pijar.
8. Data keadaan suhu, kelembaban dan nilai batas suhu SP (*setpoint*) ditampilkan ke LCD (*Liquid Crystal Display*).

9. Selesai.



Gambar 3. Flowchart Algoritma Pemrograman

- Tahap Pengujian Dan Pengambilan Data

Tahap pengujian dan pengambilan data dari hasil pengeringan cascara dengan sistem elektronik dibuat dalam bentuk tabel dan dianalisa hasil dari proses pengeringannya. Setelah dilakukan perancangan dan pembuatan sistem, maka alat tersebut dilakukan pengujian dan pengukuran pada bagian-bagian yang dianggap perlu sehingga nantinya dapat diambil kesimpulan bahwa alat tersebut dapat bekerja sebagaimana mestinya.

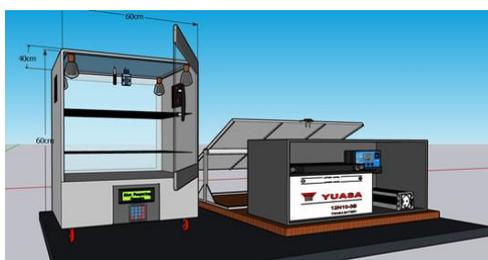
A. Prinsip Kerja Alat Dan Sistem Kerja Hybrid

Cascara dimasukkan kedalam ruang pengering selanjutnya setting nilai batas suhu SP (setpoint) yang diinginkan melalui keypad 4x4, jika semua parameter sudah diinputkan dengan keypad, maka sistem elektronik siap diaktifkan dengan menekan tombol mulai (tombol D) pada keypad. Sistem kendali suhu yang telah ditanamkan ke dalam mikrokontroler akan bekerja menjaga suhu konstan ruang pengering sesuai dengan SP (setpoint) batas suhu yang telah diinputkan dengan keypad. Mikrokontroler dan rangkaian PWM dimmer bekerja menyesuaikan suhu ruang pengering, jika suhu dalam ruang pengering turun dibawah nilai SP (setpoint) mikrokontroler dan rangkaian dimmer bekerja untuk menyalakan lampu pijar dan sebaliknya.

Hybrid dari panas matahari dimanfaatkan untuk membantu pemanasan ruang pengering dari luar, dengan adanya bantuan panas dari matahari maka, rangkaian dimmer tidak lagi bekerja maksimal untuk menyalakan lampu pijar, sehingga dapat menghemat konsumsi arus baterai dan pengisian arus baterai oleh solar cell lebih maksimal untuk cadangan pada malam hari.

B. Perancangan Alat

Rancangan alat pengering cascara dengan menggunakan sistem kontrol on-off dan hybrid secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Desain 3D Alat Pengering Cascara
 Dalam membangun sistem mekanik ini menggunakan material aluminium. Penempatan solar sel, charger controller dan baterai. Gambar 4 menunjukkan wadah pengering tampak depan dari wadah pengering.

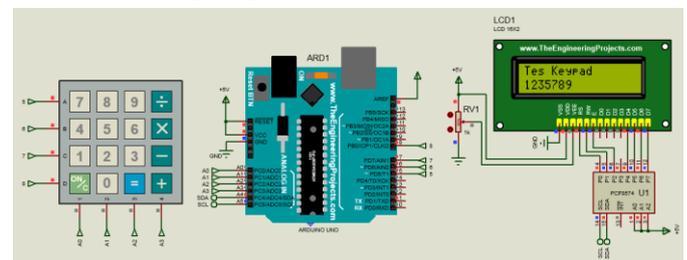
Keterangan Gambar:

1. Lampu pijar sebagai pemanas ruangan pengering cascara.
2. Alat ukur suhu standar. Alat ukur standar diperlukan untuk pembandingan suhu.
3. Sensor suhu dan kelembaban DHT-11. Sensor suhu dan kelembaban mengubah temperatur dan kelembaban menjadi beda potensial listrik.
4. Fan untuk sirkulasi udara panas dalam ruang pengering.
5. Tampilan panel kontrol suhu dan kelembaban. Tampilan panel berfungsi untuk dapat dipantau keadaan suhu dan kelembaban dalam ruang pengering.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

C. Pengujian Keypad Matrix 4x4

Pengujian keypad matrix 4x4 sebagai masukan untuk mikrokontroler sebagai pemroses data. Secara umum fungsi dari keypad ini adalah sebuah kombinasi dari kolom dan baris tombol-tombol yang ada pada keypad. Dimana proses pembacaan dari tombol-tombol keypad tersebut menggunakan metode scanning. Dimana cara kerja metode scanning keypad ini yaitu baris dan kolom dari tombol-tombol keypad digunakan sebagai acuan untuk mendeteksi tombol yang ditekan, caranya yaitu dengan memberi status nol low pada pin kolom secara bergantian, lalu pin baris dideteksi apakah ada dari salah satu tombolnya yang berkondisi nol low. Jika ada, maka tombol tersebut yang terdeteksi. Tahapan pengujian keypad matrix seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengujian Keypad Matrix 4x4

Matrik keypad yang digunakan adalah 4x4, dimana keypad tersebut terdiri dari 4 baris dan 4 kolom. Pin Baris diinputkan ke Arduino yaitu pada pin 5,6,7,dan 8 sedangkan pin kolom diinputkan ke Arduino yaitu pada pin A0, A1, A2 dan A3. Tabel Pengujian keypad matrix 4x4 seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Pengujian Keypad Matrix 4x4

Tombol Keypad	Tampilan Di LCD	Hasil Pengujian Keypad
0	0	Sesuai dengan masukan Keypad
1	1	Sesuai dengan masukan Keypad
2	2	Sesuai dengan masukan Keypad
3	3	Sesuai dengan masukan Keypad
4	4	Sesuai dengan masukan Keypad
5	5	Sesuai dengan masukan Keypad
6	6	Sesuai dengan masukan Keypad
7	7	Sesuai dengan masukan Keypad
8	8	Sesuai dengan masukan Keypad
9	9	Sesuai dengan masukan Keypad
A	A	Sesuai dengan masukan Keypad
B	B	Sesuai dengan masukan Keypad
C	C	Sesuai dengan masukan Keypad
D	D	Sesuai dengan masukan Keypad
*	*	Sesuai dengan masukan Keypad
#	#	Sesuai dengan masukan Keypad

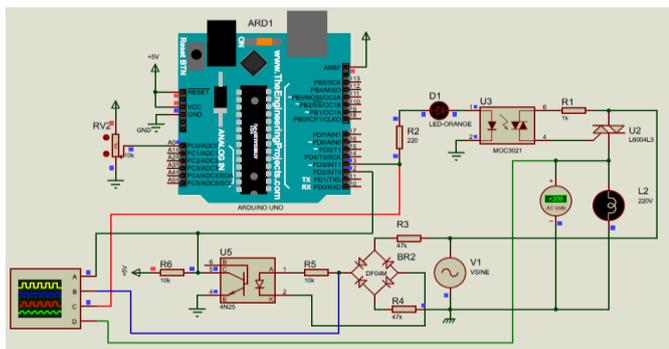
Untuk memastikan data input penekanan tombol *keypad* apakah benar maka, digunakan LCD 16x2 sebagai penampil. *Keypad* 4x4 yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi sebagai inputan data setpoint nilai suhu batas atas dan nilai suhu batas bawah. Pengujian *keypad* 4x4 pada modul pengering cascara seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Pengujian *Keypad* 4x4 Pada Modul Pengering Cascara Dengan Tampilan LCD

D Pengujian Rangkaian *Triac* Switch Lampu Pijar

Pengujian Rangkaian *Triac* Switch diperlukan untuk memastikan respon dari *Triac* Switch apakah dapat bekerja untuk membuat lampu pijar hidup dan lampu pijar mati sesuai dengan masukan nilai *setpoint* dari mikrokontroler. Rangkaian *Triac* Switch diperlukan dalam penelitian ini untuk mengatur *time switch* dari lampu pijar dalam ruang pengering cascara. Range untuk pengaturan *on* dan *off* lampu pijar tergantung dari nilai *setpoint* yang diinputkan dari *keypad*. Tahapan pengujian *Triac* Switch seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengujian *Triac* Switch

Dari pengujian *Triac* Switch dengan simulasi proteus terlihat bahwa respon *Triac* terhadap kerja *on-off* lampu pijar bekerja dengan baik seperti pada Gambar 8.

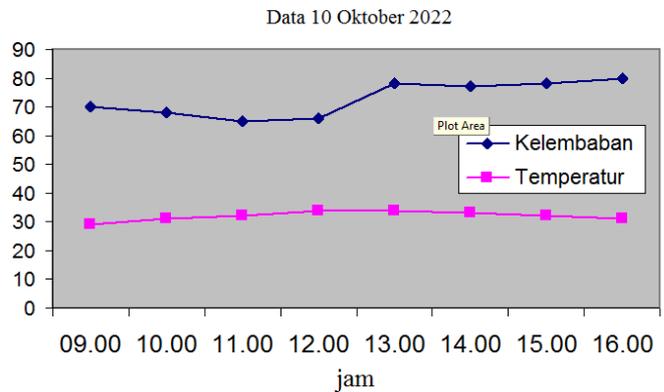


Gambar 8. Pengujian *Triac* Switch Lampu Pijar

E. Pengujian Suhu Dan Kelembaban Dari Sinar Matahari

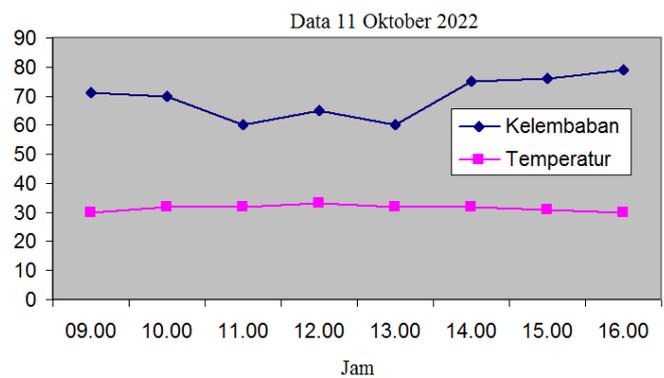
Tahapan pengujian ini dilakukan dengan cara meletakkan modul pengering di tempat terik matahari. Panas yang dihasilkan oleh matahari dimanfaatkan untuk mengeringkan

cascara, jika panas dari matahari tidak memenuhi dari nilai *set point*, maka lampu pijar akan menyala untuk menstabilkan suhu ruang pengering. Data pengujian panas matahari seperti pada Gambar 9, 10,11.



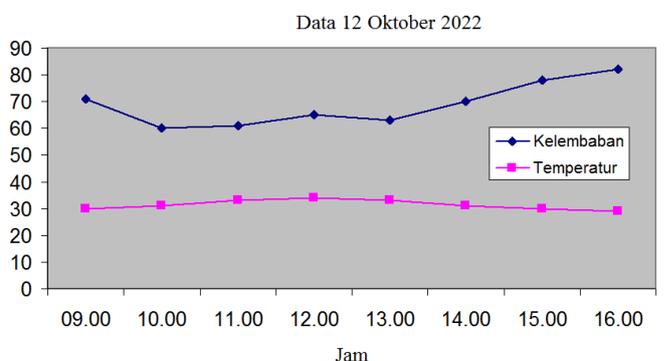
Gambar 9. Grafik Pengujian Panas Matahari Tanggal 10 Oktober 2022

Gambar 9 adalah grafik pengujian panas matahari tanggal 10 Oktober 2022, dengan setpoint suhu 50°C cascara kering selama 7 jam.



Gambar 10. Grafik Pengujian Panas Matahari Tanggal 11 Oktober 2022

Gambar 10 adalah grafik pengujian panas matahari tanggal 11 Oktober 2022, dengan setpoint suhu 50°C cascara kering selama 6,5 jam.

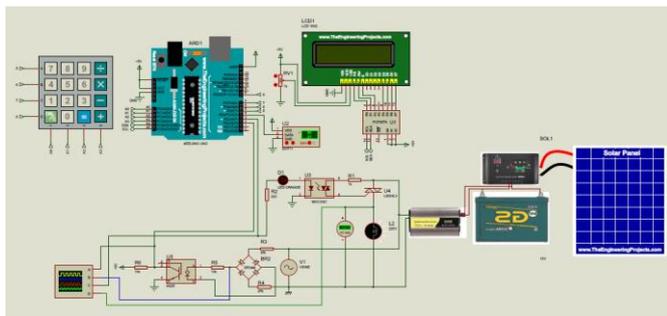


Gambar 11. Grafik Pengujian Panas Matahari Tanggal 12 Oktober 2022

Gambar 11 adalah grafik pengujian panas matahari tanggal 12 Oktober 2022, dengan setpoint suhu 50°C cascara kering selama 6,5 jam.

F. Pengujian Temperatur Ruang Pengering Cascara Dengan Setpoint Suhu Terhadap Respons Pemanas

Pengujian respon pemanas terhadap setpoint dilakukan untuk mengamati perubahan-perubahan suhu atau kesalahan-kesalahan dari pembacaan suhu berdasarkan nilai dari nilai suhu setpoint. Pemanas ruang pengering kulit kopi menggunakan lampu pijar sebanyak 8 buah dengan daya masing-masing lampu 25 watt. Tingkatan variable hidup dan mati lampu pijar untuk mengatur kestabilan suhu dalam ruang pengering menggunakan sistem triac switch, dimana trigger untuk triac switch diatur oleh mikrokontroler. Rangkaian pengujian seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Rangkaian Pengujian Keypad Terhadap Respons Setpoint Trigger Triac Switch

Pengujian setpoint dari nilai inputan menggunakan Keypad 4x4 diinputkan ke pin mikrokontroler. Kesalahan-kesalahan nilai suhu dalam ruang pengering dari nilai setpoint sangat berpengaruh terhadap proses pengeringan cascara. Pengujian-pengujian dari nilai inputan setpoint dilakukan berulang-ulang dengan varian inputan yang berbeda-beda untuk mendapatkan nilai setpoint yang terbaik agar suhu dalam ruang pengering terjaga konstan sesuai dengan nilai setpoint yang kita inginkan. Seperti pada Tabel 2 pengujian nilai setpoint untuk suhu 50°C. Suhu ruang pengering diKontrol oleh sistem mikrokontroler, kipas diperlukan untuk sirkulasi udara panas dalam wadah pengering, supaya suhu panas dalam wadah pengering bisa terjaga dengan baik. Kelembaban dalam ruang pengering tidak dikontrol oleh mikrokontroler. Dari hasil pengujian-pengujian Set point suhu dapat dibuat tabel seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Nilai Setting Set point Suhu Pengering Cascara Pada Suhu 40°C - 50°C

Setpoint Suhu Batas Atas (°C)	Setpoint Suhu Batas Bawah (°C)	Respon Suhu Batas Atas (°C)	Kesalahan (error) Respon Suhu Atas (%)	Respon Suhu Batas Bawah (°C)	Kesalahan (error) Respon Suhu Bawah (%)
40	38	39	2,5	37	2,6
41	39	41	0	38	2,56
42	40	41	2,38	39	2,5
43	41	43	0	41	0
44	42	43	2,27	42	0
45	43	45	0	43	0
46	44	47	2,17	43	2,27
47	45	47	0	44	2,22
48	46	48	0	46	0
49	47	48	2,04	47	0
50	48	51	2	47	2,08

Seperti pada Tabel 2, hasil dari beberapa pengujian masukan nilai setpoint suhu batas atas, diperoleh rata-rata

kesalahan dari respon setpoint suhu adalah 1,21% dan kesalahan rata-rata dari respon setpoint suhu batas bawah adalah 1,29%. Proses pengeringan cascara dengan penjemuran pada sinar matahari langsung membutuhkan waktu 5-7 hari hingga cascara mencapai kadar air 12%, sesuai dengan standar SNI. Pengeringan cascara yang telah diuji dengan menggunakan open pada suhu 45°C derajat suhu konstan membutuhkan waktu 10.5 jam dan pengujian pengeringan cascara pada suhu 50°C membutuhkan waktu 7 sampai 8 jam pada suhu konstan. Pengujian pengeringan cascara diuji beberapa kali pada suhu 45°C dan 50°C, tujuannya untuk membandingkan kesesuaian waktu pengeringan. Hasil dari proses pengeringan cascara seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil Pengeringan Cascara Pada Suhu 50°C.

G. Pengujian Penyusutan Casara

Tingkat penyusutan cascara dilakukan dengan timbangan, untuk mengetahui berat cascara awal dan berat cascara akhir. Pengujian penyusutan casara seperti pada Tabel 3.

Table 3. Penyusutan Kadar Cascara

Set Point Suhu (°C)	Range suhu	Waktu Pengerinan (jam)	Berat Cascara Awal (gram)	Berat Cascara Akhir (gram)	Penyusutan Cascara (gram)	Penyusutan Cascara Akhir %
45	Batas bawah	10,5	500	62.8	437.2	12,56
50	Batas atas	8	500	65.5	434.5	13,10

Pada Pengujian ini kulit kopi yang masih basah diambil sampel 500 gram (1/2 kg), kemudian dikeringkan dalam wadah pengering dengan dua tahap yaitu: pada suhu 45°C dengan durasi pengeringan selama 10.5 jam dan pada suhu 50°C dengan durasi pengeringan selama 8 jam. Untuk mengetahui tingkat penyusutan dari cascara dilakukan penimbangan. Dari Tabel 3 terlihat bahwa tingkat penyusutan cascara lebih tinggi pada durasi 10,5 jam dengan setpoint suhu 45°C. Cascara lebih tinggi penyusutan pada durasi 10,5 jam dikarekan durasi waktu lebih lama. Gambar 14. Pengujian peyusutan kadar cascara.



Gambar 14. Pengujian Peyusutan Kadar Cascara

Dari hasil pengujian terhadap proses pengeringan kulit kopi menjadi cascara dengan suhu terkendali serta penggabungan dengan sistem *hybrid*, pembahasan dan interpretasi data hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses pengeringan cascara dengan penjemuran pada sinar matahari langsung membutuhkan waktu 5-7 hari hingga cascara mencapai kadar air 12%, sesuai dengan standar SNI.
2. Pengeringan cascara yang telah diuji dengan berat 500 gram menggunakan open pada suhu 45°C suhu konstan tanpa *hybrid* membutuhkan waktu 10.5 jam dengan tingkat penyusutan kadar air cascara 437,2 gram. Persen (%) cascara akhir adalah 12,56%.
3. Pengujian pengeringan cascara pada suhu 50°C tanpa *hybrid* membutuhkan waktu 7 sampai 8 jam pada suhu konstan dengan tingkat penyusutan kadar air cascara 434,5 gram. Persen (%) cascara akhir adalah 13,10%.
4. Hasil pengujian *setpoint* suhu menunjukkan bahwa kesalahan rata-rata dari respon *setpoint* suhu batas atas adalah 1,21 %, kesalahan rata-rata dari respon *setpoint* suhu batas bawah adalah 1,29 %.

REFERENSI

- [1] M. Muzaifa, D. Hasni, N. Arpi, M. I. Sulaiman, and M. S. Limbong, "KAJIAN PENGARUH PERLAKUAN PULP DAN LAMA PENYEDUHAN TERHADAP MUTU KIMIA TEH CASCARA," *J. Teknol. Pertan. Andalas*, vol. 23, no. 2, pp. 136–142, Sep. 2019, doi: 10.25077/JTPA.23.2.%P.2019.
- [2] L. Carlos, O. Villalba, E. Alexander, D. Grisales, and E. Rodriguez, "State of the art of coffee drying technologies in Colombia and their global ," 2017.
- [3] R. Maulana and A. Finawan, "RANCANG BANGUN PENGENDALIAN PROSES PADA SISTEM," vol. 2, no. 2, 2018.
- [4] A. Trisanto, E. Nasrullah, and A. Prakasa, "Pembuatan Alat Pengering Kopi Otomatis berbasis Mikrokontroler on-off on-offer Arduino Mega 2560," vol. 1, pp. 130–133, 2018.
- [5] Y. Chan, D. Sugiyanto, A. S. Uyun, and T. Jaya, "Analisis Pengeringan Kopi Menggunakan Oven Pengering Hybrid (Solar Thermal Dan Biomassa) Di Desa Gununghalu Desa Gununghalu Kecamatan Gununghalu Desa Dusun Tangsi Jaya mempunyai unit pengolahan kopi berbasis energi terbarukan dan pemberian sirkulasi udara," vol. 5, no. 1, pp. 4–8, 2020.
- [6] D. I. Wardhana, E. Ruriani, and A. Nafi, "Karakteristik Kulit Kopi Robusta Hasil Samping Pengolahan Metode Kering Dari Perkebunan Kopi Rakyat Di Jawa Timur," *Agritrop J. Ilmu-Ilmu Pertan. Journal Agric. Sci.*, vol. 17, no. 2, p. 214, 2019, doi: 10.32528/agritrop.v17i2.2569.
- [7] M. Muzaifa et al., "Pembuatan Minumam Herbal Cascara Dari Kulit Kopi Menggunakan Mesin Pengering Tenaga Surya," pp. 183–193, 2014.
- [8] M. Murzaifa, Y. Yusriana, M. S. Azmi, and F. Rahmi, "ANALISIS MUTU KIMIA CASCARA YANG DIPEROLEH DARI KOMBINASI WAKTU DAN SUHU PENGERINGAN SERTA PENGECILAN UKURAN YANG BERBEDA," *J. Teknol. Pertan. Andalas*, vol. 24, no. 2, pp. 107–113, Oct. 2020, doi: 10.25077/JTPA.24.2.107-113.2020.
- [9] M. F. Alhabsyi, L. C. C. E. Lengkey, and M. M. Ludong, "Perbandingan Mutu Biji Kopi Robusta (*coffea canephora*) Hasil Pengeringan Secara Pengasapan dan Penjemuran Di Perkebunan Kopi Desa Purworejo Kabupaten Bolaang Mongondow Timur."

- [10] R. Sary, "Kaji eksperimental pengeringan biji kopi dengan menggunakan sistem konveksi paksa," vol. 14, no. 7, pp. 13–18, 2016.
- [11] R. Y. Runesi and V. A. Koehuan, "Studi Eksperimental Skala Laboratorium Rumah Pengering Kopi Menggunakan Plastik Ultra Violet (UV Solar Dryer) Dengan Mekanisme Konveksi Paksa," vol. 09, no. 02, pp. 28–37, 2020.
- [12] F. Pertanian and U. Bengkulu, "ISSN 2088 – 5369 KINERJA ALAT PENGERING TENAGA SURYA YSD UNIB 12 DALAM MENGERINGKAN KOPI ROBUSTA YSD UNIB 12 SOLAR DRYER PERFORMANCE FOR ROBUSTA CAFFEE DRYING Mahasiswa Program Studi Teknologi Pertanian , Jurusan Teknologi Pertanian , Dosen Jurusan Teknol.," pp. 78–85.
- [13] T. Widodo and M. K. Yusufiar, "Modifikasi Pengering Tenaga Surya dengan Ventilator Otomatis Modification Of Solar Dryer Equipment With Automatic Ventilator," vol. 7, no. 1983, pp. 145–156, 2015.
- [14] Bambang siswo, *Elektronika Kontrol on-off*, 1st ed. Malang: UB press, 2017.
- [15] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/241077/ATMEL/ATMEGA328P.html>
- [16] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132088/ETC2/DHT11.html>
- [17] http://eprints.polsri.ac.id/4642/9/18_DATASHEET%20LCD.pdf