

**RANCANG BANGUN SISTEM *FEEDING* PADA KOMPOR PELET
BIOMASSA**

(Skripsi)

Oleh

AHMAD RIDHO KURNIAWAN

1854071004



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM *FEEDING* PADA KOMPOR PELET BIOMASSA

Oleh

AHMAD RIDHO KURNIAWAN

Penggunaan bahan bakar di Indonesia masih mengandalkan LPG (*Liquified Petroleum Gas*) dan minyak tanah untuk memenuhi keperluan rumah tangga seperti memasak. Berdasarkan hal tersebut, perlu diadakan sebuah penelitian untuk pengembangan energi salah satunya dengan kompor biomassa yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak (BBM). Pemanfaatan limbah biomassa salah satunya biopellet dapat dijadikan sebagai bahan bakar. Biopellet terbuat dari serbuk kayu atau bahan biomassa lainnya, namun pada penggunaannya masih terdapat kendala dalam melakukan penambahan secara manual. Kompor *autofeeder* dapat melakukan penambahan bahan bakar secara semi otomatis melalui sebuah *screwfeeder* sebagai penghantar pellet menuju ruang pembakaran. Selain itu, untuk menaikkan suhu kompor dapat digunakan sebuah *fan blower*. Tujuan dari penelitian ini membuat sebuah kompor pellet yang dilengkapi *screwfeeder* dan *fan blower* bersistem *feeding* dan melakukan uji kinerja untuk mengetahui keefektifan sistem tersebut.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September hingga Desember 2023 di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Proses penelitian ini memerlukan desain rancangan untuk selanjutnya dilakukan pengujian kinerja yang meliputi respon sistem, stabilitas, keakurasian, dan kecepatan *feeding*. Proses tersebut dimulai

dengan membuat desain alat dan skematik rangkaian. Lalu setelah dilakukan perangkaian alat dan perangkaian komponen sistem kendali selanjutnya digabungkan menjadi satu kesatuan yang utuh.

Penelitian ini menghasilkan sebuah kompor pelet biomassa dengan komponen berupa *screwfeeder* untuk menghidupkan kompor secara semi otomatis dan *fan blower* untuk menaikkan suhu kompor secara semi otomatis yang dapat memasak air menggunakan bahan bakar biomassa berupa biopelet kayu, biopelet TKKS, dan potongan kayu. Keempat sensor yang terhubung pada alat dikalibrasi sehingga mendapatkan rata-rata nilai R^2 0,99 yang berada pada rentang 0,80 – 1,000 dikategorikan sangat kuat. Hasil respon sistem menunjukkan bahwa alat ini mampu mencapai suhu 300°C dalam waktu 450 hingga 780 detik. Pada pengujian stabilitas didapatkan nilai reliabilitas untuk *setting point* 100°C, 200°C, dan 300°C berturut-turut adalah 0,98, 0,82, dan 0,53. Pada pengujian keakurasian untuk ulangan 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 92%, 92%, dan 91%. Pada pengujian kecepatan *feeding*, agar pelet dapat masuk ke dalam tungku kompor dibutuhkan waktu 2,5 hingga 4 detik.

Kata kunci : *Autofeeder*, biopelet, *fan blower*, kompor, *screw*.

ABSTRACT

DESIGN OF BIOMASS PELLET STOVE WITH FEEDING SYSTEM

By

AHMAD RIDHO KURNIAWAN

The use of fuel in Indonesia still relies on LPG (Liquified Petroleum Gas) and kerosene to fulfill household needs such as cooking. Based on this, it is necessary to conduct a research for energy development, one of which is a biomass stove that can reduce dependence on fuel oil. The utilization of biomass waste, one of which is biopellets, can be used as fuel. Biopellets are made from sawdust or other biomass materials, but in their use there are still obstacles in doing the addition manually. The autofeeder stove can add fuel semi-automatically through a screwfeeder as a conductor of pellets to the combustion chamber. In addition, to increase the temperature of the stove, a fan blower can be used. The purpose of this research is to make a pellet stove equipped with a screwfeeder and fan blower with feeding system and conduct performance tests to determine the effectiveness of the system.

This research was conducted from September to December 2023 in the Laboratory of Power and Agricultural Machinery, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, University of Lampung. This research process requires a design design for further performance testing which includes system response, stability, accuracy, and feeding speed. The process begins with making a tool design and circuit schematic. Then after assembling the tool and assembling the control system components, it is then combined into a complete unit.

This research produces a biomass pellet stove with components in the form of a screwfeeder to start the stove semi-automatically and a fan blower to raise the temperature of the stove semi-automatically which can cook water using biomass fuel in the form of wood biopellets, TKKS biopellets, and wood pieces. The four sensors connected to the tool are calibrated so as to get an average R^2 value of 0,99 which is in the range of 0,80 – 1,000 categorized as very strong. The system response results show that this tool is able to reach a temperature of 300°C within 450 to 780 seconds. In stability testing, the reliability values for setting points of 100°C, 200°C, and 300°C are 0,98, 0,82, and 0,53, respectively. In accuracy testing for replicates 1, 2, and 3 are 92%, 92%, and 91% respectively. In the feeding speed test, it takes 2,5 to 4 seconds for the pellets to enter the stove.

Keywords : *Autofeeder, biopellets, fan blower, screw, stove.*

**RANCANG BANGUN SISTEM *FEEDING* PADA KOMPOR PELET
BIOMASSA**

Oleh

AHMAD RIDHO KURNIAWAN

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN SISTEM FEEDING
PADA KOMPOR PELET BIOMASSA**

Nama Mahasiswa : **Ahmad Ridho Kurniawan**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1854071004**

Jurusan/PS : **Teknik Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**



1. Komisi Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Mareli", written over the left side of the logo.

Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.
NIP. 198803252015041001

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Agus Haryanto", written over the right side of the logo.

Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP. 196505271993031002

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Sandi", written below the section header.

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP. 196210101989021002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.



Sekretaris

: Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.



Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. H. Kaswan Futas Hidayat, M.P.

NIP 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 Juni 2024

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Ahmad Ridho Kurniawan** NPM. **1854071004**. Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, **1) Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.**, dan **2) Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 16 Juli 2024

Yang membuat pernyataan



Ahmad Ridho Kurniawan

NPM. 1854071004

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Teluk Betung, Bandar Lampung pada tanggal 28 Oktober 2000, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari Bapak Mohd. Iqbal, S.Sos., dan Ibu Nani Agustina, S.H.

Penulis menempuh pendidikan Taman Kanak – Kanak di TK Taman Indria Taman Siswa Bandar Lampung, lulus pada tahun 2006. Pendidikan Sekolah Dasar di MI Mangkunegara Bandar Lampung, lulus pada tahun 2012. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di MTs Negeri 1 Bandar Lampung, lulus pada tahun 2015. Pendidikan Sekolah Menengah Atas di MA Negeri 2 Bandar Lampung, lulus pada tahun 2018.

Pada tahun 2018, penulis diterima sebagai mahasiswa dan terdaftar di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur SMMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi Asisten Dosen pada Mata Kuliah Fisika Dasar semester Ganjil Tahun 2019/2020, dan Elektronika Industri semester Ganjil Tahun 2022/2023. Selama perkuliahan, penulis aktif dalam mengikuti organisasi kemahasiswaan, penulis tercatat aktif di organisasi internal kampus sebagai anggota Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP). Pada tingkat nasional penulis tergabung sebagai anggota Ikatan Mahasiswa Teknik Pertanian Indonesia (IMATETANI).

Pada awal tahun 2021, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Mandiri Putra Daerah Daring Periode 1 di Kelurahan Negeri Olok Gading, Kecamatan Teluk Betung Barat, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung selama 40 hari yang terhitung mulai tanggal 1 Februari 2021 sampai dengan 12 Maret 2021.

Penulis telah melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT Ghaly Roelies Indonesia yang berlokasi di Kelurahan Sumberrejo, Kecamatan Kemiling, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung dengan judul “Kadar Kafein dan Protein pada Proses Fermentasi Biji Kopi Robusta Organik Ghalkoff di PT Ghaly Roelies Indonesia, Kecamatan Kemiling, Bandar Lampung” selama 30 hari kerja terhitung mulai tanggal 13 Juli 2022 sampai dengan 16 Agustus 2022.



Halaman Persembahan

Alhamdulillahirabbil'alamin

*Dengan Mengucapkan Puji dan Syukur Kepada ALLAH SWT
Kupersembahkan karya ini sebagai wujud cinta kasih, dan tanda bakti
kepada :*

Kedua Orangtuaku

Bapak Mohd. Iqbal, S.Sos., dan Ibu Nani Agustina, S.H.



SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat dan salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang kita nantikan syafaatnya di yaumul akhir kelak. Skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Sistem *Feeding* pada Kompor Pelet Biomassa” merupakan salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, doa, masukan, bantuan, dorongan, motivasi, bimbingan, dan saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
4. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, saran, dan motivasi;
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, saran, dan motivasi;
6. Bapak Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan kritik untuk perbaikan dalam penyelesaian skripsi ini;

7. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
8. Bapak Mohd. Iqbal, S.Sos., dan Ibu Nani Agustina, S.H., selaku orang tua penulis yang telah mendidik, memberikan semangat, motivasi, doa, dan dukungan dalam menuntut ilmu dibangku perkuliahan;
9. Putri Chantika Khirunnisa, selaku adik penulis yang telah memberikan semangat, doa dan dukungan kepada penulis;
10. Rekan penelitian, Agustinus Kristianto Alan Pambudi yang telah bersama penulis menyelesaikan penelitian ini;
11. Keluarga Besar Teknik Pertanian 2018 yang telah kebersamai dari awal hingga akhir, yang selalu memberikan semangat, dan motivasi;
12. Serta semua pihak yang terlibat dalam proses penulisan skripsi ini;

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih belum sempurna. Karena itu, kritik dan masukan dari pembaca yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih, dan penulis berharap skripsi ini dapat berguna bagi penulis dan pembacanya.

Bandar Lampung, 16 Juli 2024

Penulis,

Ahmad Ridho Kurniawan

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Hipotesis.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kompor.....	5
2.2 Bahan Bakar Biopelet.....	6
2.3 Kompor Pelet.....	8
2.4 Arduino Uno	8
2.5 Arduino IDE	9
2.6 <i>Automatic Feeder</i>	10
2.7 Rujukan Penelitian	11
III. METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Kriteria Desain	15
3.4 Prosedur Penelitian.....	16

3.4.1 Studi Literatur	18
3.4.2 Perancangan	18
3.4.2.1 Rancangan Struktural	18
3.4.2.2 Rancangan Fungsional	20
3.5 Parameter Pengamatan	23
3.6 Uji Kinerja	24
3.6.1 Respon Sistem	25
3.6.2 Stabilitas	25
3.6.3 Akurasi	25
3.6.4 Kecepatan <i>Feeding</i>	26
3.7 Analisis Data	26
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Hasil Perancangan Kompor	27
4.1.1 Kerangka Alat	28
4.1.2 Tungku Kompor	28
4.1.3 <i>Hopper</i>	28
4.1.4 <i>Screw Feeder</i>	29
4.1.5 <i>Fan Blower</i>	29
4.1.6 Kotak Kendali	30
4.2 Kalibrasi dan Validasi Sensor	32
4.3 Pengujian Kinerja Alat	38
4.3.1 Uji Respon Sistem	39
4.3.2 Uji Stabilitas	41
4.3.3 Uji Keakurasian	43
4.3.4 Uji Kecepatan <i>Feeding</i>	46
4.4 Data Suhu di bagian Kompor	48
4.4.1 Data Suhu Menggunakan Bahan Bakar Pelet TKKS	49
4.4.2 Data Suhu Menggunakan Bahan Bakar Potongan Kayu	51
4.4.3 Data Suhu Menggunakan Bahan Bakar Pelet Kayu	54
4.5 Pengujian Mendidihkan Air	57
4.5.1 Waktu Mendidihkan Air	60
4.5.2 Suhu Air Mendidih	62

4.5.3 Konsumsi Bahan Bakar	65
4.5.4 Efisiensi Termal	69
4.5.5 Daya Kompor	74
V. KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	86

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rujukan Penelitian	11
2. Pengamatan Uji Didih Air.....	24
3. Tingkat Hubungan Koefisien Korerasi	33
4. Keakurasian Suhu Pengamatan 1	44
5. Keakurasian Suhu Pengamatan 2	45
6. Keakurasian Suhu Pengamatan 3	45
7. Hasil Pengujian Kecepatan Feeding.....	46
8. Pengujian Mendidihkan Air dengan Pelet Kayu.....	59
9. Pengujian Mendidihkan Air dengan Pelet TKKS	59
10. Pengujian Mendidihkan Air dengan Potongan Kayu.....	59
11. Kalibrasi Sensor 1	97
12. Kalibrasi Sensor 2	97
13. Kalibrasi Sensor 3	98
14. Kalibrasi Sensor 4	98
15. Validasi Sensor 1	99
16. Validasi Sensor 2	99
17. Validasi Sensor 3	100
18. Validasi Sensor 4	101
19. Pengujian Respon Sistem.....	102
20. Keakurasian Alat U1 100°C.....	103
21. Keakurasian Alat U1 200°C.....	103
22. Keakurasian Alat U1 300°C.....	104
23. Keakurasian Alat U2 100°C.....	104
24. Keakurasian Alat U2 200°C.....	105

25. Keakurasian Alat U2 300°C	105
26. Keakurasian Alat U3 100°C	106
27. Keakurasian Alat U3 200°C	107
28. Keakurasian Alat U3 300°C	107
29. Data Stabilitas 100°C	108
30. Data Stabilitas 200°C	108
31. Data Stabilitas 300°C	109
32. Data Suhu Air.....	110
33. Data Suhu Pipa Screw Feeder	110
34. Data Suhu Bagian Bawah Tungku Kompor.....	111
35. Data Suhu Reaktor (Nyala Api)	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kompor pelet.....	6
2. Pelet TKKS	7
3. Mikrokontroler Arduino Uno.....	9
4. Arduino IDE.....	10
5. Diagram alir prosedur penelitian.....	17
6. Desain kompor <i>auto feeder</i>	18
7. Skematik Rangkaian Sistem Kendali	19
8. Arduino uno	21
9. Dinamo DC 12 V	21
10. Termokopel	22
11. <i>Fan blower</i>	23
12. Kompor Pelet <i>Autofeeder</i>	27
13. <i>Hopper</i>	28
14. <i>Screw Feeder</i>	29
15. Kotak Kendali	30
16. Termometer Termokopel	32
17. Kalibrasi Sensor	33
18. Kalibrasi Sensor 1	34
19. Kalibrasi Sensor 2	34
20. Kalibrasi Sensor 3	34
21. Kalibrasi Sensor 4	35
22. Validasi Sensor	36
23. Validasi Sensor 1	37
24. Validasi Sensor 2	37

25. Validasi Sensor 3	37
26. Validasi Sensor 4	38
27. Pengujian Alat.....	39
28. Respon sistem 1	39
29. Respon Sistem 2.....	40
30. Respon Sistem 3.....	40
31. Stabilitas 100 °C.....	42
32. Stabilitas 200 °C.....	42
33. Stabilitas 300 °C.....	43
34. Keakurasian Pengamatan 1	44
35. Keakurasian Pengamatan 2	44
36. Keakurasian Pengamatan 3	45
37. Letak pengambilan data suhu.....	48
38. Data suhu air dengan bahan bakar pelet TKKS	49
39. Data suhu pipa <i>screw feeder</i> dengan pelet TKKS.....	50
40. Data suhu bagian bawah tungku dengan pelet TKKS.....	50
41. Data suhu reaktor dengan bahan bakar pelet TKKS	51
42. Data suhu air dengan bahan bakar potongan kayu.....	52
43. Data suhu pipa <i>screw feeder</i> dengan potongan kayu	52
44. Data suhu bagian bawah tungku dengan potongan kayu	53
45. Data suhu reaktor dengan bahan bakar potongan kayu.....	54
46. Data suhu air dengan bahan bakar pelet kayu.....	55
47. Data suhu pipa <i>screw feeder</i> dengan pelet kayu	55
48. Data suhu bagian bawah tungku dengan pelet kayu	56
49. Data suhu reaktor dengan bahan bakar pelet kayu.....	57
50. Pengujian Mendidihkan Air	58
51. Pengaruh Beban Terhadap Waktu dengan Pelet Kayu	60
52. Pengaruh Beban Terhadap Waktu dengan Pelet TKKS.....	61
53. Pengaruh Beban Terhadap Waktu dengan Potongan Kayu	61
54. Grafik standar deviasi waktu mendidihkan air.....	62
55. Rata-rata Suhu Air dengan Pelet Kayu	63
56. Rata-rata Suhu Air dengan Pelet TKKS.....	64

57. Rata-rata Suhu Air dengan Potongan Kayu	64
58. Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pelet Kayu.....	66
59. Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pelet TKKS.....	67
60. Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Potongan Kayu	68
61. Grafik standar deviasi konsumsi bahan bakar.....	68
62. Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Termal dengan Pelet Kayu.....	71
63. Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Termal dengan Pelet TKKS.....	71
64. Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Termal dengan Potongan Kayu	72
65. Grafik standar deviasi efisiensi termal.....	74
66. Pengaruh Beban terhadap Daya Kompor dengan Pelet Kayu.....	75
67. Pengaruh Beban terhadap Daya Kompor dengan Pelet TKKS.....	75
68. Pengaruh Beban terhadap Daya Kompor dengan Potongan Kayu	76
69. Grafik standar deviasi daya kompor	78
70. Proyeksi kompor tanpa cover.....	112
71. Tampilan X-Ray kompor	113
72. Perancangan Kerangka dan Tungku.....	113
73. Perancangan Pipa <i>Screw</i> dan <i>Fan Blower</i>	114
74. Perancangan <i>Screw</i>	114
75. Perangkaian Komponen Sistem Kendali.....	114
76. Berat Air Sebelum dan Sesudah Mendidih	115
77. Penimbangan Bahan Bakar	115
78. Nyala api kompor dengan Pelet kayu, Pelet TKKS, dan Potongan Kayu.....	115
79. Abu Sisa Pembakaran	116
80. Penimbangan Berat Kompor.....	116
81. Suhu Air Sebelum dan Sesudah Mendidih.....	116
82. Data nilai kalor potongan kayu dengan <i>bomb calorimeter</i>	117
83. Data nilai kalor pelet kayu dengan <i>bomb calorimeter</i>	118

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang memiliki 275,7 juta penduduk termasuk yang terbesar di dunia (Badan Pusat Statistik, 2022). Banyaknya penduduk di Indonesia menjadikan kebutuhan akan rumah tangga meningkat. Peningkatan ini disebabkan pertumbuhan penduduk yang sangat pesat. Pertumbuhan penduduk yang terus bertambah menyebabkan konsumsi bahan bakar yang tidak terbarukan seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara semakin meningkat, sedangkan ketersediaannya semakin menipis.

Menurut Badan Pusat Statistik (2021) di Indonesia, terdapat 63.447 desa yang masih menggunakan bahan bakar LPG (*Liquified Petroleum Gas*) dan 2.773 desa yang masih menggunakan minyak tanah untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari dan mendukung aktivitas lain, seperti memasak untuk keperluan rumah tangga (Permadi dkk., 2022). Berdasarkan data tersebut, maka perlu diadakan sebuah penelitian untuk pengembangan energi bersih yang berkelanjutan yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak (BBM). Salah satunya yaitu dengan kompor biomassa, karena merupakan teknologi alternatif yang akan menjadi solusi untuk skala rumah tangga khususnya di pedesaan.

Teknologi penting yang memainkan peran dalam pemanfaatan energi pada skala rumah tangga adalah kompor biomassa. Pemanfaatan limbah biomassa dapat dilakukan sebagai sumber bahan bakarnya. Ini disebabkan karena limbah tersebut memiliki kandungan energi yang cukup besar (Permadi dkk., 2022). Pemanfaatan energi alternatif saat ini menjadi hal yang penting dilakukan untuk mengatasi masalah pemanasan global dan memenuhi kebutuhan energi rumah tangga. Salah

satu energi alternatif yang banyak digunakan adalah biopelet, yang merupakan bahan bakar yang bisa terbuat dari serbuk kayu atau bahan biomassa lainnya (Yuliati dkk., 2019). Kelebihan dari penggunaan biopelet sebagai bahan bakar adalah ramah lingkungan dan harga yang cukup terjangkau. Harga pelet kayu eceran, yaitu berkisar Rp3000,00 hingga Rp4000,00 per kg tergantung pabrik dan kualitas pelet kayu tersebut. Harga minyak tanah wadah jerigen berisi 5 liter dibanderol dengan harga Rp45.000,00 hingga Rp70.000,00. Harga gas isi ulang LPG tabung 3 kg subsidi dibanderol dengan harga berkisar Rp22.000,00 hingga Rp25.000,00 sedangkan harga gas LPG isi ulang tabung 5,5 kg non subsidi dibanderol dengan harga Rp98.000,00. Sehingga dapat ditarik kesimpulan pelet kayu memiliki harga yang cukup terjangkau bila dibandingkan dengan harga dari gas LPG maupun harga dari minyak tanah.

Pelet sudah cukup banyak dimanfaatkan penggunaannya saat ini, namun masih ada kelemahan dalam penggunaannya. Penggunaan biopelet sebagai bahan bakar masih terdapat kendala, salah satunya karena pengguna masih kesulitan dalam melakukan penambahan secara manual. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem yang dapat membantu dalam hal ini, yaitu dengan membuat kompor pelet yang dilengkapi dengan sistem *feeding* atau pengumpan otomatis.

Kompor *auto feeder* sendiri menawarkan kemudahan pada penambahan bahan bakar sehingga pengguna mendapat manfaatnya. Penambahan bahan bakar melalui sebuah *screw feeder* (hantaran berbentuk ulir) sebagai penghantar pelet menuju ruang pembakaran (Hakim dan Kurniawan, 2016). Selain itu, untuk menaikkan suhu kompor dapat digunakan sebuah *fan blower* (kipas untuk mengalirkan udara). Dengan adanya *fan blower* ini selain dapat menaikkan suhu, pengguna juga dapat menurunkan suhu kompor.

Dengan adanya Rancang Bangun *Screw Feeder* dan *Fan Blower* untuk Menyalakan dan Menaikkan Suhu Kompor Pelet Biomassa, diharapkan dapat mempermudah pengguna dalam memantau dan menambah bahan bakar secara otomatis. Selain itu, juga dapat membuat proses pemanasan lebih efisien dan meminimalisir terjadinya kebakaran. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat sebuah kompor pelet yang dilengkapi *screw feeder* dan *fan*

blower dengan sistem *feeding* dan melakukan uji kinerja untuk mengetahui keefektifan sistem tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang sistem *feeding* pada kompor pelet biomassa yang dilengkapi *Screw Feeder* dan *Fan Blower*?
2. Bagaimana kinerja alat *Screw Feeder* dan *Fan Blower* pada kompor pelet biomassa?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini yaitu merancang sistem *feeding* pada kompor pelet dengan penambahan komponen berupa *Screw Feeder* dan *Fan Blower* untuk menghidupkan serta menaikkan suhu kompor.

Tujuan khusus dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Mendapatkan hasil kalibrasi sensor termokopel tipe K menggunakan arduino uno (papan sirkuit mikrokontroler) untuk nilai suhu kompor.
2. Melakukan pengujian alat untuk mendapatkan nilai kinerja meliputi respon sistem, stabilitas, akurasi, dan kecepatan *feeding*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk memberikan informasi penggunaan kompor dengan bahan bakar berupa biopelet.
2. Mempermudah pengguna dalam menambah bahan bakar secara otomatis.
3. Mempermudah pengguna menaikkan suhu kompor secara otomatis.
4. Dapat dijadikan referensi bagi penelitian selanjutnya untuk pengembangan kompor pelet.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Rancang bangun kompor pelet biomassa dengan sistem *feeding* hanya diterapkan untuk penggunaan rumah tangga saja.
2. Bahan bakar yang digunakan berupa biopelet TKKS (tandan kosong kelapa sawit), biopelet dari limbah industri kayu akasia, dan potongan kayu limbah industri jenis campuran jati, sengon, dan merbau.
3. Uji kinerja dilakukan dengan respon sistem, akurasi, stabilitas dan kecepatan *feeding*.
4. Uji coba dilakukan dengan kondisi lingkungan yang sesuai dengan standar penggunaan rumah tangga.
5. Tidak terdapat *burner* (pemantik) pada kompor, sehingga diperlukan korek api atau pemantik eksternal ketika menghidupkan kompor.

1.6 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Dengan adanya rancang bangun kompor pelet biomassa dengan sistem *feeding* ini, diharapkan dapat mempermudah pengguna dalam menambah bahan bakar secara otomatis.
2. Kompor pelet biomassa dengan sistem *feeding* ini mampu menaikkan suhu tungku kompor dengan adanya *fan blower*.
3. Sensor termokopel diharapkan dapat mengukur suhu kompor dengan akurat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kompor

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (2016), kompor merupakan alat yang biasa digunakan untuk memanaskan ruangan dan memasak dengan menggunakan bahan bakar berupa minyak tanah, gas, ataupun listrik serta alternatif energi terbarukan seperti pelet. Kompor merupakan salah satu teknologi yang cukup berperan dalam pemanfaatan energi dalam skala rumah tangga (Permadi dkk., 2022). Kompor pertama kali ditemukan pada abad ke-17, saat orang mulai menggunakan bahan bakar seperti kayu dan batu bara untuk memasak makanan dan memanaskan rumah mereka. Selanjutnya, pada abad ke-19 kompor modern pertama kali muncul, saat minyak tanah dan gas mulai digunakan sebagai bahan bakar utama. Kemudian pada abad ke-20 kompor listrik muncul dan menjadi populer saat listrik menjadi lebih mudah tersedia.

Penggunaan kompor saat ini bervariasi tergantung pada kebutuhan dan preferensi setiap individu. Banyak orang yang menggunakan kompor gas untuk memasak, sementara orang lain menggunakan kompor listrik. Penggunaan kompor berbahan bakar kayu bakar mulai ditinggalkan masyarakat dikarenakan asap hasil pembakaran dari tungku kayu terkumpul di dalam rumah, dimana asap tersebut mengandung gas beracun. Gas beracun berupa karbondioksida dan metana yang dihasilkan merupakan faktor utama penyebab gas rumah kaca (Aditya, 2017).

Adapun jenis-jenis kompor meliputi kompor gas, kompor listrik, kompor pelet, dan kompor biomassa. Kompor gas menggunakan gas sebagai bahan bakar utama, memiliki kontrol suhu yang akurat dan cepat memanaskan makanan. Kompor listrik menggunakan listrik sebagai bahan bakar, mudah digunakan dan

dikendalikan. Kompor pelet menggunakan pelet sebagai bahan bakar, ramah lingkungan dan efisien dalam hal biaya, tetapi memerlukan sistem pengiriman pelet dan pembersihan teratur. Kompor kayu menggunakan kayu sebagai bahan bakar, memiliki efisiensi yang baik dan menghasilkan panas yang lebih merata, tetapi memerlukan pemeliharaan yang lebih sering. Dari beberapa kompor yang ada, dapat disimpulkan kompor gas dan kompor listrik lebih efisien (Aditya, 2017).

Prinsip dasar kompor yaitu sebagai wadah selama proses pembakaran bahan bakar. Karakteristik utama kompor meliputi efisiensi pembakaran, kemudahan penggunaan, dan biaya operasional. Keuntungan dari kompor meliputi mudah dalam penggunaan dan pemeliharaan, serta memiliki biaya operasional yang rendah. Keterbatasan meliputi bahan bakar yang mahal dan lingkungan yang kurang ramah lingkungan (Lingga, 2021).



Gambar 1. Kompor pelet

2.2 Bahan Bakar Biopellet

Energi biomassa, yang mudah diperoleh dan dapat diperbaharui secara cepat, saat ini menjadi sumber energi alternatif yang banyak diteliti dan dikembangkan. *Biomass pellets*, juga dikenal sebagai biopellet, adalah jenis bahan bakar padat berbasis limbah yang memiliki ukuran lebih kecil dari briket. Biopellet dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar dalam rumah tangga maupun industri (Windarwati, 2011).

Umumnya biomassa masih memiliki kerapatan yang rendah, ukuran yang tidak seragam, mudah menyerap air, serta sulit dalam penanganan, penyimpanan, dan transportasi, maka diperlukan cara untuk mengatasinya dengan densifikasi. Residu hutan, sisa penggergajian, sisa tanaman pertanian, dapat didensifikasi menjadi pelet. Densifikasi adalah suatu teknik untuk mengubah suatu biomassa menjadi bahan bakar salah satunya pelet, yang bertujuan meningkatkan kerapatan dan ukuran yang seragam sehingga memudahkan dalam penanganan, penyimpanan, dan transportasi. Pelet adalah biomassa yang diperkecil ukurannya, kemudian dipadatkan sehingga berbentuk silindris yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar (Yulianto dkk., 2020).

Biopelet adalah bahan bakar biomassa berbentuk pelet dengan ukuran, bentuk, kadar air, densitas, dan kandungan energi yang seragam (Abelloncleanenergy, 2009). Pelet biomassa berfungsi sebagai sumber energi karbon netral karena merupakan bahan bakar padat hijau terbarukan. Karakteristik fisik biopelet sesuai dengan SNI 8021 : 2014, terdiri dari kadar air biopelet hingga 12%, kadar abu biopelet hingga 1,5%, kadar zat terbang biopelet hingga 80%, kadar karbon terikat minimum 14%, dan nilai kalor biopelet minimum 4000 kal/g.



Gambar 2. Pelet TKKS

Menurut Yulianto dkk. (2020), tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah padat hasil industri kelapa sawit yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan karena ketersediaannya yang melimpah dan harga bahan baku yang terjangkau. Menurut Rani dkk. (2020), limbah padat yang relatif mudah ditemukan dari perkebunan kelapa sawit adalah

tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Biomassa TKKS dapat dijadikan pelet agar mencapai ukuran yang seragam sehingga menjadi bioenergi untuk pemanfaatan yang lebih optimal serta dapat meningkatkan nilai ekonomi.

2.3 Kompor Pelet

Menurut Kusuma (2012), kompor pelet adalah kompor biomassa dengan bahan bakar berupa pelet yang terbuat dari biomassa padat. Bahan biomassa didapat dari makhluk hidup, seperti kayu, tumbuh tumbuhan, rumput, daun, limbah pertanian, limbah industri kayu dan lainnya. Kompor pelet biasanya digunakan untuk memanaskan ruangan dan memasak makanan. Selain itu, kompor ini banyak digunakan sebagai kompor darurat untuk kebutuhan bertahan hidup saat sedang *hiking*. Karakteristik utama kompor pelet meliputi efisiensi pembakaran, kemudahan penggunaan, dan biaya operasional yang rendah. Keuntungan dari kompor pelet meliputi biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan dengan kompor gas atau listrik, serta memiliki tingkat efisiensi pembakaran yang tinggi. Keterbatasan meliputi ketergantungan terhadap pasokan pelet dan lingkungan yang kurang ramah lingkungan. Pembangunan kompor pelet baru meliputi kompor pelet otomatis, kompor pelet dengan sistem pengontrol suhu, dan kompor pelet dengan sistem pemantauan daya.

2.4 Arduino Uno

Arduino Uno adalah salah satu jenis mikrokontroler yang dikembangkan pada tahun 2005. Arduino uno merupakan papan sirkuit (*Development board*) mikrokontroler. Disebut sebagai papan sirkuit karena *board* ini memang berfungsi sebagai *prototyping* sirkuit mikrokontroler. Mikrokontroler ini biasanya digunakan untuk proyek-proyek pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak. Dengan menggunakan papan sirkuit, akan lebih memudahkan merangkai papan rangkaian elektronika mikrokontroler. Mikrokontroler biasa disebut MCU, yaitu komputer yang berukuran mikro dalam satu chip IC (*Integrated Circuit*) yang terdiri dari CPU, memory, dan I/O yang dapat diprogram. I/O juga sering disebut

dengan GPIO (*General Purpose Input Output Pins*), maksudnya pin dalam mikrokontroler yang dapat diprogram sebagai input atau output sesuai kebutuhan (Smith, 2011).

Arduino Uno memiliki spesifikasi yang meliputi CPU ATmega328P, clock speed 16 MHz, serta memori Flash sebesar 32 KB. Keuntungan dari Arduino Uno adalah mudah digunakan, harga yang terjangkau, serta dukungan dari komunitas yang luas. Keterbatasan meliputi daya yang terbatas dan ketergantungan terhadap ketersediaan bahan. Pengaplikasian arduino Uno meliputi proyek-proyek pembuatan perangkat keras, seperti sistem otomatisasi rumah, sistem pengontrol suhu, dan sistem pemantauan daya.



Gambar 3. Mikrokontroler Arduino Uno

2.5 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram dan mengupload kode ke mikrokontroler Arduino. *Software* yang dikembangkan pada tahun 2005 ini merupakan *software open source*. Arduino IDE tersedia untuk sistem operasi Windows, macOS, dan Linux. Arduino IDE juga menyediakan antarmuka pengguna yang intuitif dan mudah digunakan (Santoso, 2016). Arduino IDE berfungsi sebagai teks editor untuk membuat, mengedit, dan memvalidasi kode program (Smith, 2011).

Arduino IDE memiliki bahasa pemrograman yang hampir sama dengan bahasa pemrograman C. Bahasa pemrograman arduino telah dilakukan perubahan untuk memudahkan pemula dalam melakukan pemrograman. Arduino IDE juga telah dilengkapi dengan *example code* dan *library C/C++* agar membuat operasi *input*

output menjadi lebih mudah. Aplikasi Arduino IDE digunakan untuk memprogram dan mengupload kode ke berbagai jenis mikrokontroler Arduino, seperti Arduino Uno, Arduino Mega, dan Arduino Nano.



Gambar 4. Arduino IDE

2.6 Automatic Feeder

Menurut Rofiq dkk. (2020), pemberi pakan otomatis merupakan sebuah sistem terintegrasi yang dapat memberikan pakan secara otomatis berdasarkan program yang telah di buat pada arduino. *Auto feeder* merupakan sistem otomatis yang digunakan untuk memasukkan bahan bakar secara otomatis ke dalam kompor. *Auto feeder* biasanya digunakan dalam pemanasan dan industri. Jenis-jenis *auto feeder* meliputi *auto feeder* pelet, *auto feeder* kayu bakar, dan *auto feeder* biomassa. Karakteristik utama *auto feeder* meliputi kemudahan penggunaan, efisiensi waktu, dan efisiensi bahan bakar. Keuntungan dari *auto feeder* meliputi mudah dalam pengoperasian dan pemeliharaan, serta memiliki efisiensi waktu dan bahan bakar yang lebih tinggi. Keterbatasan meliputi biaya pembuatan yang mahal dan ketergantungan terhadap sistem elektronik. Pembangunan *auto feeder* baru meliputi sistem pengontrol suhu dan sistem pemantauan konsumsi bahan bakar.

2.7 Rujukan Penelitian

Rujukan penelitian digunakan untuk mendapatkan informasi serta ilmu yang berkaitan dengan penelitian. Berikut rujukan penelitian (penelitian terdahulu) yang berkaitan dengan penelitian ini sebagai berikut.

Tabel 1. Rujukan Penelitian

No.	Penulis	Judul	Hasil Penelitian
1	Yuliati dkk. (2019)	Karakteristik Pembakaran <i>Wood Pellet Stove</i> Dengan Variasi Geometri Dan <i>Blockage Ratio Flame Connector</i>	Faktor koreksi dengan mempertimbangkan jumlah air yang diuapkan dihasilkan dari konsumsi bahan bakar spesifik yang dikoreksi kompor pelet kayu dengan konektor api kerucut yang lebih kecil dibandingkan dengan jenis kompor pelet kayu lainnya.
2	Arrahma dkk. (2021)	Analisis Kinerja Kompor Briket Ditinjau Dari Variasi Udara Masuk Dan Jumlah Lubang Pada Ruang Bakar	Jumlah lubang pada tungku kompor memengaruhi nilai efisiensi termal dan FCR (Fuel Consumption Rate). Jumlah lubang yang semakin banyak akan menghasilkan efisiensi termal yang semakin baik dan jumlah lubang yang sedikit maka akan menghasilkan nilai FCR yang semakin kecil.
3	Ming dkk. (2022)	Rancang Bangun Kompor Biomassa Menggunakan Bahan Dasar Plat Galvanis Dilengkapi Dengan Teknologi Blower	Daya output untuk persentase berat bahan bakar 80% (5 liter air) sebesar 82 kW dengan laju konsumsi bahan bakar sebesar 0.095 kg/s, sedangkan untuk persentase berat bahan 20% (2

			liter air) sebesar 41 kW dengan laju konsumsi bahan bakar 0.035 kg/s. Efisiensi termal dari kompor biomassa berkisar 6% - 10%.
4	Hakim & Kurniawan (2016)	Eksperimental Variasi Kecepatan Putar <i>Screw Feeding</i> Dengan Kecepatan Putar Pisau Pengupas Terhadap Kualitas Hasil Pengupasan Pada Mesin Pengupas Kulit Pinang	Kecepatan putar 37 RPM pada <i>screw feeding</i> dan 800 RPM pada pisau pengupas merupakan variasi kecepatan putar untuk pengupasan yang paling optimal, sementara kecepatan putar 27 RPM pada <i>screw feeding</i> dan 560 RPM pada pisau pengupas tidak mampu mengupas buah pinang karena buah tersebut terjepit diantara <i>screw feeding</i> dan pisau pengupas.
5	Idji dkk. (2020)	Rancang Bangun Kompor Biomassa Berbahan Bakar Kayu	Hasil pengujian menggunakan 2 kg bahan bakar menghasilkan nyala efektif sebesar 19,8 menit dengan waktu operasi total sebesar 47 menit. Energi yang dihasilkan pada pengujian tahap 1 adalah daya keluar dan masuk yang memiliki nilai masing-masing sebesar 1,37 kW dan 14,6 kW.
6	Insani & Siregar (2022)	Rancang Bangun Dan Pengujian Kompor Biomassa Dengan Generator Downdraft	Kompor dengan sudut derajat bukaan katup <i>ball valve</i> pada selang syngas 90° dengan diameter lubang burner

		Berbahan Bakar Kayu Pelet	12 mm memiliki efisiensi termal terbaik yaitu 4,87%, selain itu daya yang dihasilkan juga merupakan yang terbaik yaitu 19,5 kW.
7	Permadi dkk. (2022)	Rancang Bangun Alat Kompor Gasifikasi Biomassa Limbah Tongkol Jagung	Variasi kecepatan udara 15 m/s menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna, abu yang lebih sedikit, waktu penyalaan awal lebih cepat, waktu menaikkan suhu reaktor lebih cepat, serta waktu mendidihkan air yang lebih cepat dibanding kedua variasi kecepatan udara lainnya yaitu 5 m/s dan 10 m/s.
8	Prasetiani dkk. (2019)	Pengaruh Jenis Biomassa Dan Kecepatan Aliran Udara Terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi Biomassa	Kompor gasifikasi biomassa berbahan bakar <i>wood pellet</i> sekam padi memiliki nilai efisiensi termal tertinggi sebesar 47,65 %, dan total waktu operasi kompor tercepat selama 10,46 menit dengan kecepatan aliran udara 5,4 m/s, dan massa bahan bakar 0,3 kg.
9	Zikri dkk. (2019)	Analisa Unjuk Kerja Kompor Biomassa Terhadap Karakteristik Biopellet Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) Dengan	Komposisi biopellet terbaik yaitu sampel 15% getah damar dengan diameter sebesar 6 mm. Pada komposisi ini menghasilkan nilai kalor sebesar 5400,15 kal/g, kadar air 0,99%, densitas 0,84 g/cm ³ , kadar abu 7,92%, zat mudah menguap 62,93%, karbon

		Getah Damar (<i>Agathis loranthifolia</i>)	tetap 28,16%, waktu nyala awal 8,02 detik dan waktu pendidihan 1 liter air 8,21 menit.
10	Langi dkk. (2017)	Sistem Kontrol Tungku Pembakaran Tempurung Kelapa Menjadi Arang Dengan Arduino Uno	Arang seberat 8,75 kg dihasilkan dari proses pengujian dengan tempurung kelapa seberat 23 kg yang dibakar pada tungku pembakaran, selama proses pengujian, rerata suhu ruang didapatkan nilai suhu 30,46 °C, sedangkan suhu optimum pada tungku pengarangan didapatkan nilai suhu 215 °C.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2023 hingga bulan Desember 2023 di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu, termometer termokopel, timbangan, laptop yang dilengkapi software arduino IDE, alat tulis, dan seperangkat alat bengkel, seperti gerinda potong, las listrik. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mikrokontroler arduino uno, sensor termokopel tipe K, motor DC 12 V, gearbox, breadboard, LCD I2C, relay, kabel jumper, fan blower, kabel listrik, plat aluminium, plat besi, besi siku berlubang, aki 12 V, dan bahan bakar berupa biopelet dari limbah industri kayu akasia yang memiliki nilai kalor 16650 kJ/kg, biopelet TKKS yang memiliki nilai kalor 15820 kJ/kg (Rani dkk., 2020), serta potongan kayu limbah industri jenis campuran jati, sengon, dan merbau yang memiliki nilai kalor 17060 kJ/kg.

3.3 Kriteria Desain

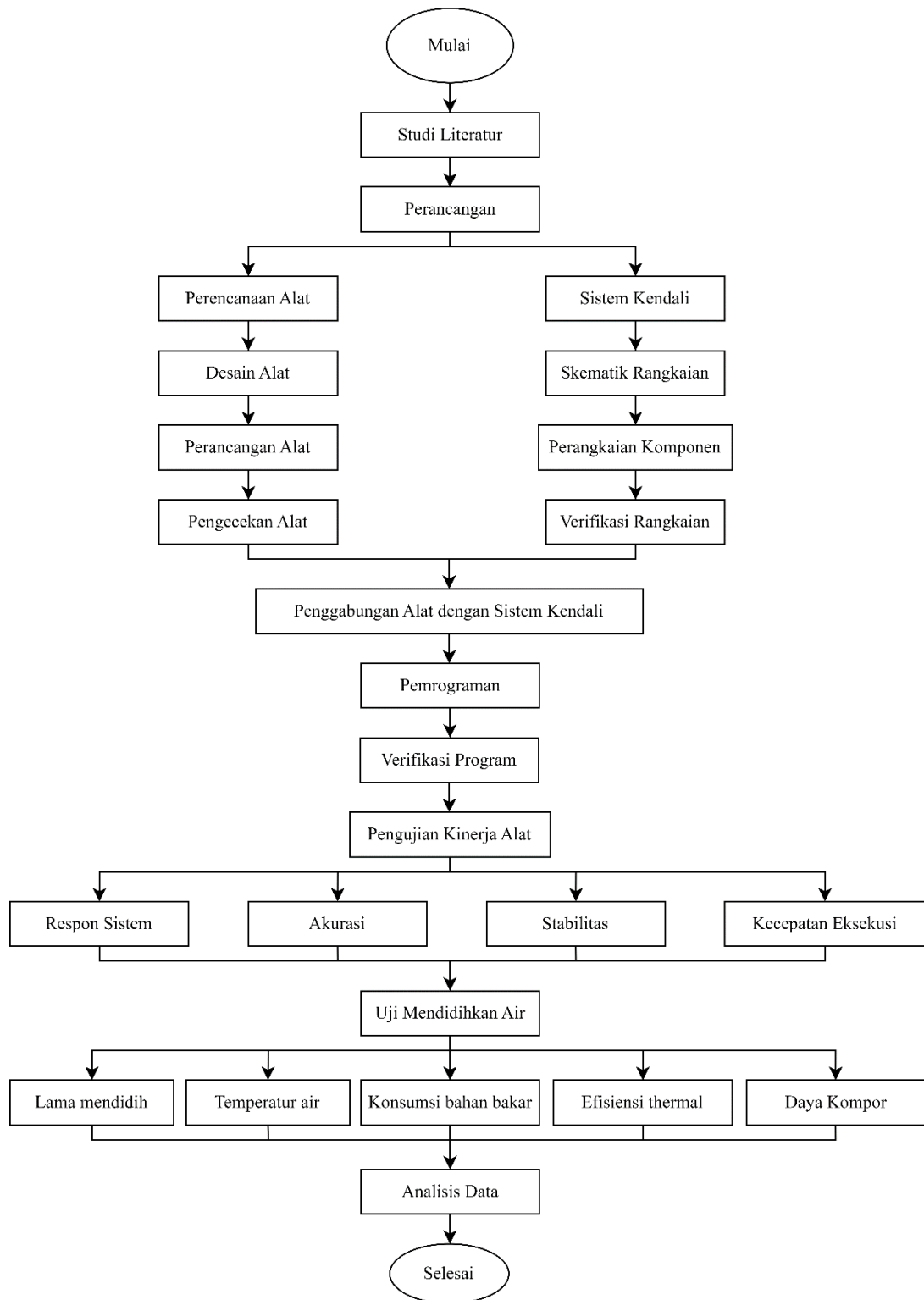
Berikut adalah kriteria desain alat pada penelitian ini.

1. Kompor ini dirancang untuk dapat bekerja secara otomatis memasukkan pelet ke dalam ruang bakar.

2. Pada tungku kompor berbentuk balok dengan panjang, lebar, dan tinggi yang berbeda, yaitu panjang 14 cm, lebar 17 cm, dan tinggi 17,5 cm ditambah 7 cm sebagai penampung abu, sehingga tinggi luar tungku kompor yaitu 24,5 cm.
3. Pada sistem pengisian bahan bakar otomatis terdiri dari hopper, *screw feeder* yang terintegrasi dengan motor DC 12 V, dan sistem kendali untuk mengisi bahan bakar secara otomatis.
4. Pada sistem pembakaran terdapat pengaturan besaran nyala api dan pengaturan suhu menggunakan *fan blower*.
5. Pada sistem pemantauan terdapat sensor termokopel tipe K untuk memantau dan mengukur suhu.

3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang merancang sistem *feeding* pada kompor biopellet semi otomatis menyalakan menggunakan *screw* dan *fan blower* untuk menaikkan suhu. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, dimulai dari studi literatur, pembuatan alat maupun sistem kendali, pemrograman, pengujian kinerja alat, dan analisis data. Prosedur penelitian ini ditunjukkan oleh diagram alir berikut.



Gambar 5. Diagram alir prosedur penelitian

3.4.1 Studi Literatur

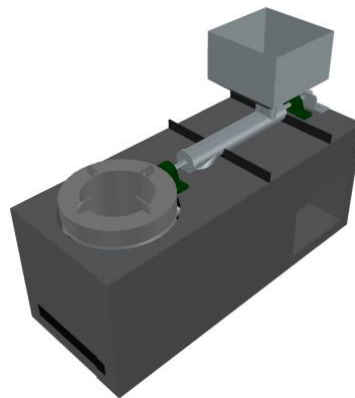
Langkah pertama dalam penelitian ini yaitu melakukan studi pustaka tentang rancang bangun kompor yang berasal dari artikel ilmiah berupa jurnal, maupun artikel pada website. Informasi yang dicari meliputi rancang bangun kompor biomassa, karakteristik biopellet, dan cara kerja *screw feeder*. Informasi lain yang dibutuhkan adalah bahasa pemrograman arduino yang digunakan untuk sistem pengaturan putaran dinamo DC dan sistem kendali suhu.

3.4.2 Perancangan

Tahapan perancangan ini terdiri atas rancangan struktural dan rancangan fungsional. Rancangan struktural terbagi menjadi dua bagian yaitu rancangan alat dan rancangan sistem kendali.

3.4.2.1 Rancangan Struktural

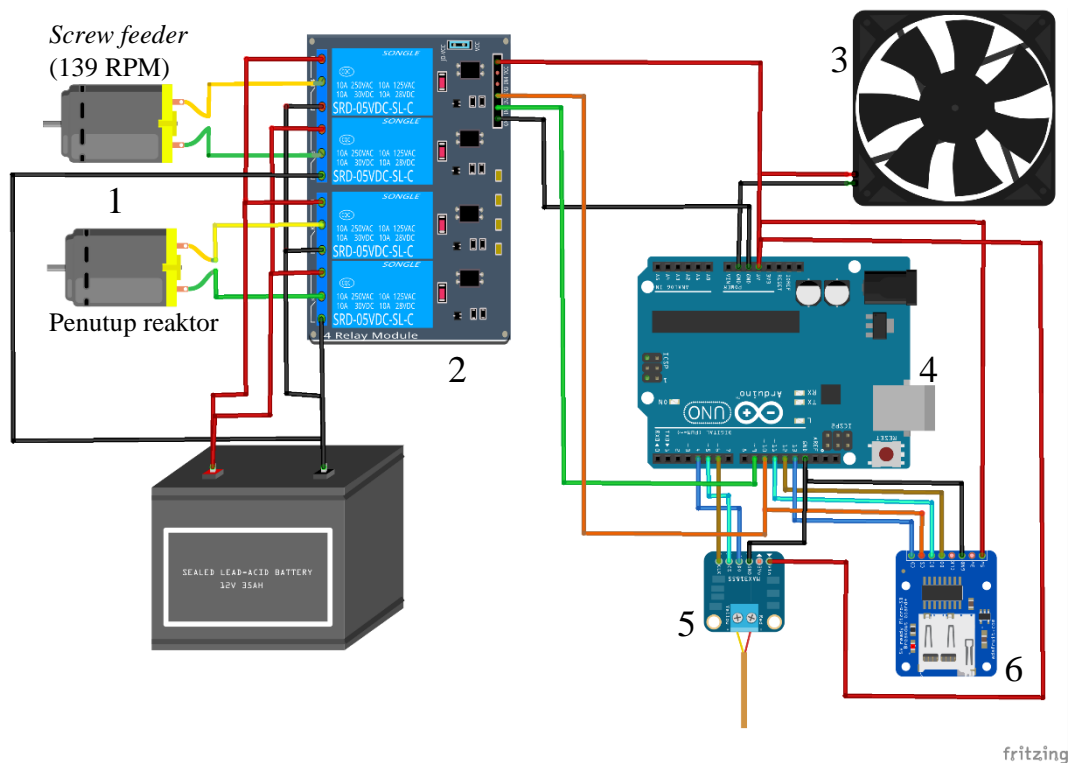
Kegiatan perancangan struktural ini terbagi menjadi dua yaitu rancang bangun alat dan perancangan sistem kendali. Rancang bangun alat terdiri dari desain alat, perangkaian alat, dan pengecekan alat. Untuk perancangan sistem kendali terdiri dari skematik rangkaian, perangkaian komponen, dan verifikasi rangkaian. Pada tahapan desain alat, proses ini dilakukan menggunakan *software* Autocad 2020. Tampilan desain rancangan ditunjukkan oleh Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Desain kompor *auto feeder*

Alat ini memiliki bentuk tungku kompor berupa balok yang memiliki panjang lebar dan tinggi yang berbeda. Tungku kompor berukuran panjang 14 cm, lebar 17 cm, dan tinggi 17,5 cm ditambah 7 cm sebagai penampung abu, sehingga total tinggi tungku kompor yaitu 24,5 cm. Hopper berbentuk tabung silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 8 cm. Pipa blower berukuran diameter 27 mm dengan panjang 32,5 cm. Pipa *screw* berukuran panjang 27,5 cm dengan diameter 4,5 cm. Kerangka alat ini terbuat dari besi sedangkan tungku kompor terbuat dari kaleng aluminium.

Setelah proses desain diwujudkan dengan cara perakitan bahan menjadi alat yang lengkap. Selanjutnya dilakukan proses perancangan sistem kendali. Tahap awal yang dilakukan yaitu membuat skematik rangkaian sistem kendali. Tujuan pembuatan skematik ini, untuk memudahkan proses perangkaian komponen pada tahap selanjutnya. Skematik rangkaian sistem kendali ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Skematik Rangkaian Sistem Kendali

Keterangan:

1. Motor DC 12 V

2. Relay 4 chanel
3. *Fan blower*
4. Mikrokontroler arduino uno
5. Modul sensor termokopel
6. Modul micro SD

Tahap akhir dari proses perancangan yaitu melakukan verifikasi alat dan rangkaian. Tujuan dari proses verifikasi ini, untuk mengurangi kesalahan atau kegagalan alat dan sistem kendali. Selanjutnya dilakukan penggabungan alat dengan sistem kendali menjadi satu kesatuan yang utuh.

Adapun mekanisme kerja dari kompor pelet biomassa sebagai berikut.

1. Dimasukkan biopellet ke dalam hopper
2. *Screw feeder* berputar karena terintegrasi dengan putaran dari dinamo
3. Biopellet masuk kedalam pipa *screw feeder* lalu didorong masuk kedalam tungku kompor
4. Dihidupkan api dengan penyulut berupa spirtus dan pemantik eksternal
5. Dibesarkan api atau dinaikkan suhunya melalui *fan blower*

3.4.2.2 Rancangan Fungsional

Pada perancangan ini dibuat sistem kendali yang berfungsi menaikkan suhu kompor serta mengatur putaran *screw feeder*. Semua proses diatur dan terintegrasi dengan sebuah mikrokontroler. Sistem ini terdiri atas beberapa komponen dengan masing-masing fungsinya, diantaranya mikrokontroler arduino uno, dinamo DC, termokopel tipe K, dan *fan blower* . Secara rinci dijabarkan sebagai berikut.

1. Mikrokontroler

Mikrokontroler dalam rangkaian berfungsi sebagai pusat kendali sistem. Komponen ini menerima data berupa kode sinyal yang dikirimkan melalui jaringan nirkabel. Sinyal tersebut kemudian diolah untuk memberikan output perintah pada komponen lainnya, menggerakkan aktuator, dan menampilkan atau

menyimpan data (Prasetyo, 2017). Pada penelitian ini mikrokontroler yang digunakan adalah arduino uno. Bentuk mikrokontroler ditunjukkan oleh Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Arduino uno

2. Dinamo DC

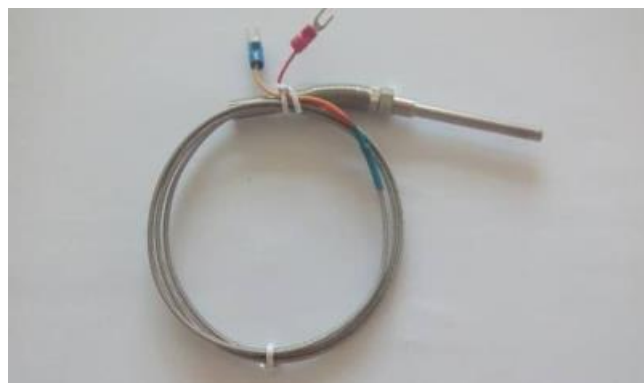
Dinamo DC merupakan salah satu jenis motor listrik yang memerlukan suplai daya dari tegangan arus searah (*Direct Current / DC*). Arus ini diarahkan ke kumparan medan magnet untuk selanjutnya diubah menjadi energi mekanik. Motor DC ini terdiri dari dua buah magnet permanen dengan lilitan jangkar. Terdapat dua buah konektor di bagian luar lilitan jangkar untuk sambungan daya listrik (Setiawan, 2023). Pada penelitian ini Dinamo berfungsi sebagai aktuator yang menggerakkan *screw feeder*. Berikut adalah dinamo DC 12 volt yang ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9. Dinamo DC 12 V

3. Termokopel tipe K

Sensor termokopel merupakan sebuah sensor suhu yang cara kerjanya dengan mengubah perbedaan suhu pada ujung logam menjadi perubahan tegangan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan massa jenis masing-masing logam. Ketika dua logam dihubungkan pada ujungnya dan dipanaskan, elektron yang lebih rapat akan berpindah ke logam yang memiliki kerapatan yang lebih rendah. Sehingga muncul perbedaan tegangan pada kedua ujung termokopel (Setiawan, 2023). Spesifikasi dari sensor ini yaitu dapat mengukur suhu dari 0 sampai 800 °C, memiliki akurasi suhu 0,25 °C, tegangan kerja 3-5 V, telah dilengkapi *peripheral board* berbasis MAX6675. Output dari sensor ini dapat diakses melalui antarmuka SPI oleh mikrokontroler. Tampilan termokopel ditunjukkan oleh Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Termokopel

4. *Fan blower*

Fan blower digunakan sebagai aktuator pada kompor pelet biomassa ini. Fan blower digunakan untuk memberikan udara panas terhadap tungku kompor. Tungku saat diberikan udara panas oleh fan blower dapat memperbesar api kompor sekaligus menaikkan suhu. Spesifikasi dari aktuator ini yaitu memiliki output DC bertegangan 12 volt, dengan arus 2 ampere, memiliki kecepatan 2500 RPM, dan berukuran 75 x 75 x 30 mm³, diameter saluran udara 27 mm. Tampilan *fan blower* ditunjukkan oleh Gambar 11 berikut.



Gambar 11. *Fan blower*

3.5 Parameter Pengamatan

Dalam penelitian ini untuk mendapatkan data pengujian kompor dilapangan maka dilakukan uji mendidihkan air. Mendidihkan air dapat dilakukan dengan cara mengalirkan panas ke air tersebut dengan meningkatkan suhu sehingga tekanan uap sesuai dengan tekanan atmosfer (Firmansyah, 2018). Ketika air dipanaskan dengan mengalirkan panas, maka suhu air tersebut akan naik dan jika sudah mencapai titik didih, akan terbentuk gelembung-gelembung gas dalam air yang berawal dari dasar wadah kemudian naik ke atas lalu akan semakin banyak dan terus berlanjut. Gelembung gas yang dihasilkan oleh proses pendidihan yang dapat diamati langsung oleh indera penglihatan adalah uap air atau air dalam fasa gas.

Menurut Johnson (1998), pada suhu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1 atm gelembung besar merupakan uap air yang muncul ke permukaan dan pecah pada proses pendidihan air. Titik didih suatu zat pada tekanan 1 atmosfer dapat disebut dengan titik didih normal. Setiap molekul air memiliki energi yang cukup untuk meninggalkan cairannya saat mendidih (Effendy, 2012). Sehingga uap air yang meninggalkan cairannya bisa disebut molekul air dalam fasa gas. Parameter yang akan diamati dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Waktu mendidihkan air
2. Suhu air mendidih yang dapat dicapai oleh kompor

3. Konsumsi Bahan Bakar
4. Efisiensi Termal
5. Daya kompor

Adapun nilai efisiensi termal dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Efisiensi\ Thermal = \frac{maCp\Delta T + \Delta maL}{\Delta mkHV}$$

Keterangan:

ma : massa rata-rata air($\frac{awal+akhir}{2}$) (kg);

Cp : besaran kalor jenis air yaitu 4,2 kJ/kg°C;

ΔT : selisih suhu air sebelum dan sesudah pengamatan (°C);

Δma : massa air yang menguap (kg);

L : kalor laten penguapan air yaitu 2260 kJ/kg;

Δmk : bahan bakar yang digunakan(kg);

HV : nilai kalori bahan bakar (kJ/kg)

Adapun format tabel pengamatan sebagai berikut.

Tabel 2. Pengamatan Uji Didih Air

Berat air (kg)		Lama mendidih (menit)		Temperatur air (°C)		Konsumsi Bahan Bakar (kg)
sebelum	sesudah	sebelum	sesudah	sebelum	sesudah	
1		0		26	100	
2		0		26	100	
3		0		26	100	

3.6 Uji Kinerja

Setelah menyelesaikan proses perencanaan dan perancangan sistem kendali, tahapan berikutnya dilakukan pengujian sistem. Pengujian yang dilakukan berupa analisis kinerja aktuator dan kehandalan dari sistem kendali. Beberapa parameter yang dilakukan pengujian yaitu stabilitas, respon sistem, akurasi dan kecepatan *feeding*.

3.6.1 Respon Sistem

Respon sistem memperlihatkan kecepatan kinerja suatu sistem terhadap ada atau tidaknya gangguan dan waktu. Terdapat dua jenis respon sistem berdasarkan jenis domain yang digunakan yaitu domain waktu (*time response*) dan domain frekuensi (*frequency response*). Penelitian ini menggunakan domain waktu yang merupakan karakteristik respon yang spesifikasi performansinya didasarkan pada pengamatan bentuk respon terhadap perubahan waktu. Respon sistem dibagi menjadi dua, yaitu respon transient dan respon *steady state*. Respon transient digunakan untuk mengukur waktu pada saat sistem pertama kali digunakan (pada titik 0) hingga mencapai kondisi tetap. Respon *steady state* di gunakan untuk mengukur waktu saat sistem sudah berada dalam kondisi stabil hingga waktu tidak terhingga (Prasetyo, 2017).

3.6.2 Stabilitas

Stabilitas pada sistem kendali merupakan hal yang sangat penting dalam pembacaan sensor. Stabilitas merupakan daya tahan alat atau sistem untuk menghasilkan kinerja yang tetap atau tidak (Prasetyo, 2017). Stabilitas adalah hal penting yang dilakukan untuk mengetahui suatu kemampuan kinerja alat yang tetap dalam jangka waktu yang lama. Ketidakstabilan pada sistem kendali akan mempengaruhi kinerja mengatur suhu pada kompor. Jika pembacaan sensor termokopel menyimpang maka pengaturan suhu akan tidak efektif.

3.6.3 Akurasi

Nilai keakurasian merujuk pada ketepatan kinerja suatu alat saat alat tersebut mencapai suatu *setting point* atau batasan yang telah ditentukan (Prasetyo, 2017). *Setting point* digunakan untuk mengatur suhu sesuai yang diinginkan. Cara tersebut dapat digunakan untuk mengetahui persentase akurasi dari sensor ke aktuator. Keakuratan pengendalian dilakukan untuk mengamati serta mengetahui seberapa tepat alat dalam pengendalian suhu yang diinginkan. Secara matematis, nilai keakurasian didapatkan melalui rumus berikut (Telaumbanua dkk., 2014).

$$\text{Akurasi} = \left(1 - \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^n |SP - N_{Ai}|}{n} \right)}{SP} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

SP : Nilai *setting point*

NA_i : Nilai aktual ke-i

n : Jumlah data

3.6.4 Kecepatan *Feeding*

Kecepatan *feeding* menunjukkan seberapa cepat kinerja suatu alat terhadap input yang diberikan oleh pengguna. Pada pengujian kinerja kompor biopellet dengan sistem *feeding*, kecepatan *feeding* mengacu pada waktu yang diperlukan untuk *screw feeder* mendorong pellet ke dalam tungku kompor. Kecepatan *feeding* dapat diukur dengan mengamati waktu yang diperlukan oleh *screw feeder* untuk mendorong pellet ke dalam tungku kompor. Semakin cepat *screw feeder* dapat mendorong pellet, semakin tinggi kecepatan *feeding*-nya.

3.7 Analisis Data

Pada penelitian ini data pengujian kinerja kompor pellet biomassa dengan sistem *feeding* ini akan disimpan dalam tabel pada *software microsoft excel*. Hasil data tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengetahui apakah kompor tersebut sudah sesuai dengan hasil rancangan alat.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Dibuat sebuah kompor pelet biomassa dengan komponen berupa *Screw Feeder* dan *Fan Blower* untuk menghidupkan serta menaikkan suhu kompor secara semi otomatis.
2. Didapatkan hasil kalibrasi 4 sensor termokopel tipe K untuk nilai suhu kompor dengan nilai koefisien determinasi dari kalibrasi sensor 1 adalah $R^2 = 0,9945$, dari kalibrasi sensor 2 diperoleh nilai $R^2 = 0,9956$, nilai R^2 pada kalibrasi sensor 3 sebesar 0,9946, dan pada kalibrasi sensor 4 nilai $R^2 = 0,9927$. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan pada tahap kalibrasi ini dapat dikategorikan bahwa hubungan antara sensor dengan kalibratornya sangat kuat, karena nilai yang dihasilkan berada pada rentang 0,80 – 1,000 seperti pada Tabel 3 oleh Sugiyono (2007).
3. Telah dilakukan pengujian alat untuk mendapatkan nilai kinerja meliputi respon sistem, stabilitas, akurasi, dan kecepatan *feeding*. Pada pengujian respon sistem, alat mampu mencapai suhu 300 °C dalam waktu 450 hingga 780 detik. Pada pengujian stabilitas didapatkan nilai reliabilitas untuk setting point 100 °C, 200 °C, dan 300 °C berturut-turut adalah 0,98, 0,82, dan 0,53. Pada pengujian akurasi didapatkan rata-rata kakurasian untuk ulangan 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 92%, 92%, dan 91%. Pada pengujian kecepatan *feeding*, agar pelet dapat masuk kedalam tungku kompor dibutuhkan waktu 2,5 hingga 4 detik.

5.2 Saran

Hasil penelitian ini dapat digunakan menjadi referensi penelitian selanjutnya yang relevan. Untuk itu diperlukan perbaikan pada bagian yang menghubungkan as pada *screw* dan dinamo sehingga akan mengurangi terjadinya pelet macet di dalam pipa *screw* atau bila memungkinkan dapat mengganti *screw* dengan *conveyor*. Perlu juga untuk memperbaiki sistem *feedingnya* sehingga dapat dikatakan *auto feeder*. Selain itu diperlukan pengembangan lebih lanjut seperti halnya penambahan *heater* (pemanas bahan bakar) atau *burner* (pemantik) untuk penyalaan awal pada kompor ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abelloncleanenergy. (2009). *Cofiring with biopellets; An Efficient Way to Reduce Greenhouse Gas Emissions*.
- Aditya, I. P. W. (2017). Transformasi dan Perkembangan Teknologi Kompor. *Media Komunikasi FPIPS*, 16(2), 31–35.
- Ahmadi, A., Setiawan, A., Gunawati, G., & Dewi, R. (2023). Calibration of Arduino-based Temperature Sensors for Parabolic Solar Collectors with Phase Change Material. *MOTIVATION : Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5(3), 547–556.
- Arrahma, D. Z., Aryani Tasya, N., Febriana, I., Bow, Y., & Suci Ningsih, A. (2021). Analisis Kinerja Kompor Briket Ditinjau Dari Variasi Udara Masuk Dan Jumlah Lubang Pada Ruang Bakar. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, 1(11), 439–446. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.99>
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Banyaknya Desa/ Kelurahan Menurut Jenis Bahan Bakar untuk Memasak Yang Digunakan Oleh Sebagian Besar Keluarga*. <https://www.bps.go.id/indicator/168/940/1/banyaknya-desa-kelurahan-menurut-jenis-bahan-bakar-untuk-memasak-yang-digunakan-oleh-sebagian-besar-keluarga.html>
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Jumlah Penduduk Pertengahan Tahun (Ribuan Jiwa), 2020-2022*. <https://www.bps.go.id/indicator/12/1975/1/jumlah-penduduk-pertengahan-tahun.html>

- Effendy. (2012). *A-Level Chemistry For Senior High School Student Based On KTSP And Cambridge Curriculum Volume 3A*. Indonesia academic Publishing. Malang.
- Firmansyah, J. (2018). Eksplanasi Ilmiah Air Mendidih Dalam Suhu Ruang. *Jurnal Filsafat Indonesia*, 1(2), 75. <https://doi.org/10.23887/jfi.v1i2.13993>
- Hakim, H., & Kurniawan, I. (2016). Eksperimental Variasi Kecepatan Putar Screw Feeding Dengan Kecepatan Putar Pisau Pengupas Terhadap Kualitas Hasil Pengupasan Pada Mesin Pengupas Kulit Pinang. *JOM FTEKNIK*, 3(1), 1–5.
- Idji, L., Haluti, S., & Antu, E. S. (2020). RANCANG BANGUN KOMPOR BIOMASSA BERBAHAN BAKAR KAYU. *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo (JTPG)*, 5(1), 17–21. <https://doi.org/10.30869/jtpg.v5i1.543>
- Imaduddin, I., Lanya, B., & Haryanto, A. (2013). Pengujian Kompor Gasifikasi Biomassa dengan Tiga Jenis Bahan Bakar. *TekTan Jurnal Ilmiah Teknik Pertanian*, 5(1), 1–8.
- Insani, A. F., & Siregar, I. H. (2022). Rancang Bangun Dan Pengujian Kompor Biomass Dengan Generator Downdraft Berbahan Bakar Kayu Pelet. *JTM*, 10(3), 105–112.
- Johnson, P. (1998). Children's Understanding Of Changes Of State Involving The Gas State, Part 1/: Boiling Water And The Particle Theory. *International Journal Of Science Education*, 20(5), 567–583.
- Kadir, A. (2013). *Buku Pintar Programmer Pemula PHP*. Mediakom. Yogyakarta.
- Kompor. (2016). Dalam *KBBI Daring*. Diakses pada 20 Agustus 2023. <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/kompor>
- Kusuma, F. M. (2012). *Pengaruh Formasi Lubang Udara Terhadap Kinerja Tungku Gasifikasi Biomassa*. Skripsi. Universitas Lampung.

- Langi, M., Sawidin, S., & Mappadang, J. L. (2017). Sistem Kontrol Tungku Pembakaran Tempurung Kelapa Menjadi Arang Dengan Arduino Uno. *8th Industrial Research Workshop and National Seminar Politeknik Negeri Bandung*, 627–633.
- Lingga, E. E. (2021). *Rancang Bangun Kompor Biomassa dengan Bahan Bakar Biopellet*. Skripsi. Universitas Medan Area.
- Ming, H. C. F., Santoso, H., & Nurdin, M. F. (2022). Rancang Bangun Kompor Biomassa Menggunakan Bahan Dasar Plat Galvanis Dilengkapi Dengan Teknologi Blower. *Journal Bearings: Borneo Mechanical Engineering And Science*, 1(1), 9–21.
- Permadi, T., Wiryono, B., Karyanik, K., & Asmawati, A. (2022). Rancang Bangun Alat Kompor Gasifikasi Biomassa Limbah Tongkol Jagung. *Protech Biosystems Journal*, 2(1), 28–40.
- Prasetiani, C. F., Suwandi, & Iskandar, R. F. (2019). Pengaruh Jenis Biomassa Dan Kecepatan Aliran Udara Terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi Biomassa. *e-Proceeding of Engineering*, 6(2), 5217–5224.
- Prasetyo, B. D. (2017). *Rancang Bangun Sistem Kendali Otomatis pH Limbah Cair Industri Tahu Sebagai Larutan Nutrisi Hidroponik Berbasis Mikrokontroler* [Skripsi]. Universitas Lampung.
- Rani, I. T., Hidayat, W., Febryano, I. G., Iryani, D. A., Haryanto, A., & Hasanudin, U. (2020). Pengaruh Torefaksi terhadap Sifat Kimia Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 9(1), 63. <https://doi.org/10.23960/jtep-1.v9i1.63-70>
- Retnawati, H. (2017). Reliabilitas Instrumen Penelitian. *Workshop Teknik Analisis Data Fakultas Ekonomi dan Bisnis IAIN Batusangkar*. Bukittinggi.
- Rofiq, A., Amir, A. S., Muchtar, A., & Rahmansyah, A. A. (2020). Rancang Bangun Automatic Fish Feeder Berbasis Arduino. *Journal of Electrical Engineering*, 1(1), 7–13.

- Santoso, H. (2016). *Panduan Praktis Arduino Untuk Pemula*. ElangSakti. Trenggalek.
- Setiawan, W. H. (2023). *Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu Pada Alat Torefaksi Tipe Silinder Dengan Pemanas Kompor Gas*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Smith, A. G. (2011). *Introduction to Arduino: A piece of cake*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Sugiyono. (2007). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Alfabeta. Bandung.
- Telaumbanua, M., Purwantana, B., & Sutiarmo, L. (2014). Rancangbangun Aktuator Pengendali Iklim Mikro di dalam Greenhouse untuk Pertumbuhan Tanaman Sawi (*Brassica rapa var. parachinensis* L.). *AGRITECH*, 34(2).
- Telaumbanua, M., Triyono, S., Haryanto, A., & Wisnu, F. K. (2019). Controlled Electrical Conductivity (EC) of Tofu Wastewater as a Hydroponic Nutrition. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 6(3), 453–462.
- Tokan, A. M. A. E. (2011). *Uji Efisiensi Kompor Biomassa UB-03-1* [Skripsi]. Universitas Brawijaya.
- Windarwati, S. (2011). *Seminar Nasional Teknologi Kimia Kayu*. Bogor.
- Yulianto, T., Febryano, I. G., Iryani, D. A., Haryanto, A., Hasanudin, U., & Hidayat, W. (2020). Perubahan Sifat Fisis Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit Hasil Torefaksi. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 9(2), 104.
- Yuliati, L., Hamidi, N., Sasongko, M. N., & Ibadurrohman, I. A. (2019). Karakteristik Pembakaran Wood Pellet Stove dengan Variasi Geometri dan Blockage Ratio Flame Connector. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 10(3), 327–338. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2019.010.03.13>

Zikri, A., Zulkarnain, A., & Syahputra, D. (2019). Analisa Unjuk Kerja Kompor Biomassa Terhadap Karakteristik Biopellet Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Dengan Getah Damar (*Agathis loranthifolia*). *Jurnal Kinetika*, *10*(03), 1–5.