

PENGEMBANGAN ALAT PEMANAS AIR BAHAN BAJA S45C
CARBON STEEL DENGAN MENGGUNAKAN
BAHAN BAKAR BIOMASSA



LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan Pendidikan Diploma Tiga (D-3) Program Studi
Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik
Negeri Ujung Pandang

FIKA FEBRIANTI AGUS	342 21 010
MUHAMMAD IKBAL YASIN	342 21 020
MUSYAWIRHUSDIN	342 21 041

PROGRAM STUDI D-3 TEKNIK KONVERSI
ENERGI JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2024

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan tugas akhir dengan judul “**Pengembangan Alat Pemanas Air Bahan Baja S45C Carbon Steel dengan Menggunakan Bahan Bakar Biomassa**” oleh Fika Febrianti Agus NIM 34221010 dan Muhammad Ikbal Yasin NIM 34221020 dan Musyawirhusdin NIM 34221040 dinyatakan telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya (AM.d) pada Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Oktober 2024

Pembimbing I,



Sri Suwasti, S.ST., M.T.
NIP. 197411232001122001

Pembimbing II,



Musrady Mulvadi, S.S.T., M.T.
NIP 197202012001121002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin,



Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T.
NIP 196801051994031001

Pada hari ini, Kamis tanggal 26 September 2024, tim penguji seminar Laporan tugas akhir telah menerima hasil seminar laporan tugas akhir oleh Fika Febrianti Agus NIM 34221010 Muhammad Ikbal Yasin NIM 34221020 dan Musyawir Husdin NIM 34221041 dengan judul **“Pengembangan Alat Pemanas Air Bahan Baja S45C Carbon Steel dengan Menggunakan Bahan Bakar Biomassa”**.

Makassar, September 2024

Tim Penguji Seminar Laporan Tugas Akhir:

- | | |
|---|-----------------------|
| 1. Prof.A.M. Shiddiq Yunus, S.T.,M.Eng.Sc., Ph.D. Ketua | (.....) |
| 2. Abdul Rahman, S.T., M.T. | Sekretaris (.....) |
| 3. Yiyin Klistafani, S.T., M.T. | Anggota I (.....) |
| 4. Ayu Fitriah Saprudin, S.Pd., M.Eng. | Anggota II (.....) |
| 5. Sri Suwasti, S.S.T., M.T. | Pembimbing I (.....) |
| 6. Musrady Mulyadi, S.ST., M.T. | Pembimbing II (.....) |

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat Rahmat, Hidayah dan Inayah-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang berjudul “Pengembangan Alat Pemanas Air Bahan Baja S45C Carbon Steel dengan Menggunakan Bahan Bakar Biomassa.”

Dalam penyusunan laporan tugas akhir penelitian ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak atas dukungan, bimbingan, perhatian dan arahan yang telah di berikan kepada penulis sehingga hambatan tersebut dapat teratasi, antara lain:

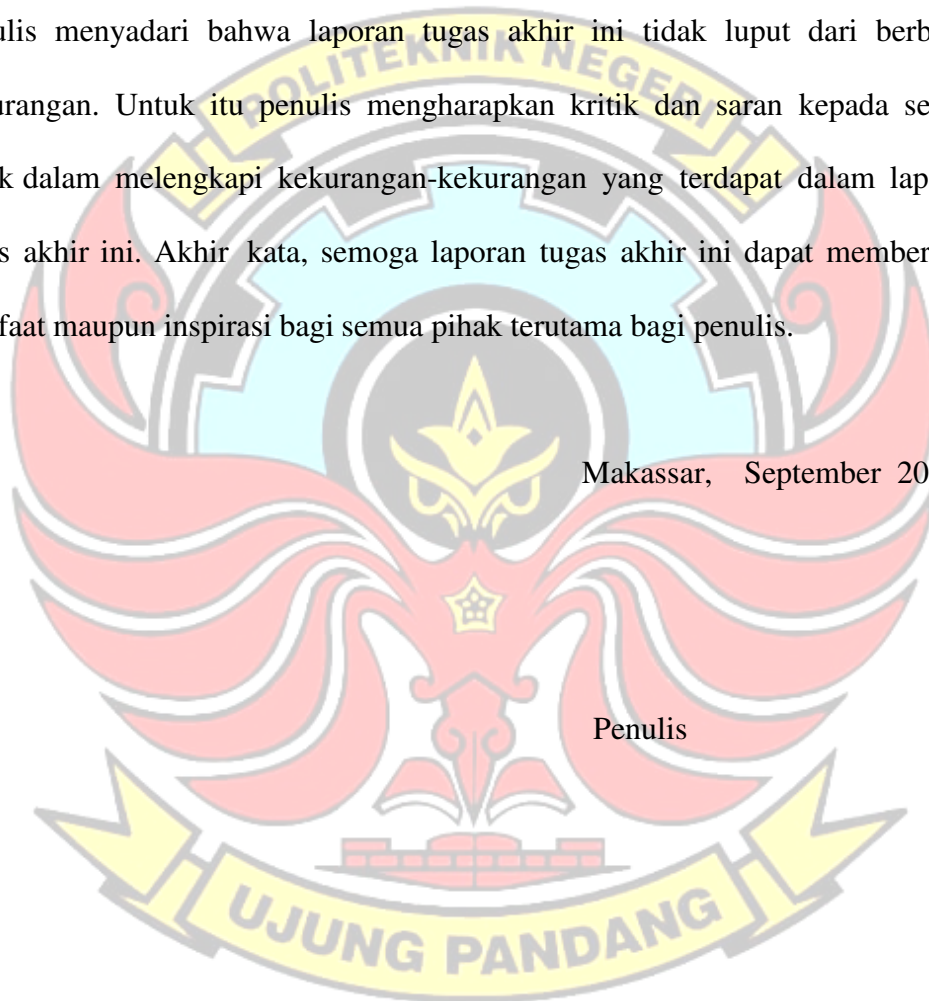
1. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan do'a restu, motivasi dan bimbingan demi kesuksesan penyusun laporan tugas akhir ini.
2. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.Si.,Ph.D
3. Bapak Ir. Syahrudin Rasyid, M.T, selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Ibu Sri Suwasti, S.ST.,M.T, selaku koordinator Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang, sekaligus pembimbing I yang telah banyak membantu dalam penyusunan laporan tugas akhir penelitian ini.
5. Bapak Musrady Mulyadi, S.ST.,MT. Selaku pembimbing II yang telah banyak membantu dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.

6. Segenap dosen Program Studi D-3 Teknik Konversi Energi yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
7. Angkatan 2021 D-3 Teknik Konversi Energi, khususnya teman-teman seperjuangan kelas 3A D-3 Teknik Konversi Energi atas semua dukungan, semangat dan kerja samanya.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini tidak luput dari berbagai kekurangan. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran kepada semua pihak dalam melengkapi kekurangan-kekurangan yang terdapat dalam laporan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat maupun inspirasi bagi semua pihak terutama bagi penulis.

Makassar, September 2024

Penulis

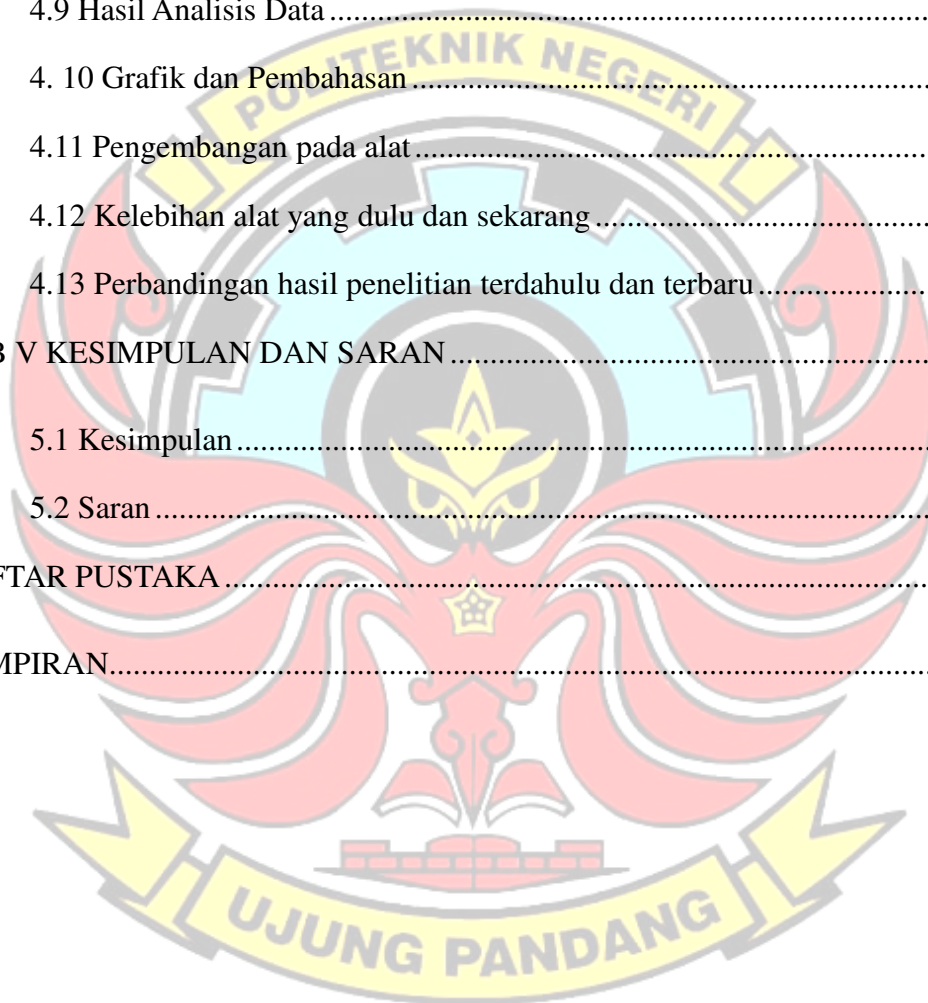


DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
SURAT PERNYATAN	xiii
RINGKASAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Kegiatan	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Kegiatan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi Terbarukan	5
2.2 Biomassa	6

2.2.1 Pengertian Biomassa	6
2.3 Pemanfaatan Energi Biomassa	6
2.4 Jenis – jenis biomassa	10
2.5 Baja	13
2.6 Jenis-jenis Baja	15
2.7 Perpindahan panas	16
2.8 Blower	18
2.9 Isolasi Boiler	19
2.10 Jenis-jenis Isolasi Boiler	19
2.11 Mikrokontroler Arduino	20
2.12 Sensor Suhu	22
BAB III METODE KEGIATAN	23
3.1 Tempat dan Waktu Kegiatan	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.3 Prinsip Kerja Alat	26
3.4 Tahap Pembuatan dan Perakitan Alat	26
3.5 Teknik Pengumpulan Data	27
3.6 Prosedur/Langkah kerja	29
3.7 Skema Rangkaian Kontrol	30
3.8 Teknik Pengolahan/Analisis Data	30
BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN	33
4.1 Perancangan alat pemanas air berbahan bakar biomassa	33
4.2 Data pengamatan	34
4.3 Proses Pengambilan Data	38

4.4 Analisis Data.....	38
4.5 Perhitungan Data Tempurung Kelapa dan Serbuk Gergaji.....	41
4.6 Perhitungan Data Tempurung Kelapa dan Tongkol Jagung.....	43
4.7 Perhitungan Data Tongkol Jagung dan Serbuk Gergaji.....	44
4.8 Perhitungan Data Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa.....	48
4.9 Hasil Analisis Data.....	50
4.10 Grafik dan Pembahasan.....	52
4.11 Pengembangan pada alat.....	56
4.12 Kelebihan alat yang dulu dan sekarang.....	56
4.13 Perbandingan hasil penelitian terdahulu dan terbaru.....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	58
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN.....	60



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tongkol Jagung dan Serbuk Gergaji Selasa 27 Agustus 2024.....	33
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tempurung Kelapa dan Serbuk Gergaji Rabu 28 Agustus 2024.....	356
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tempurung Kelapa dan Tongkol Jagung Kamis 29 Agustus 2024.....	35
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tongkol Jagung (5) dan Serbuk Gergaji (10) Jumat 30 Agustus 2024.....	37
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tempurung Kelapa(5) dan Tongkol Jagung (10) Sabtu 31 Agustus 2024.....	37
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tempurung Kelapa (5) dan Tongkol Jagung (10) Pengujian 1 : 2 Sabtu 31 Agustus 2024...	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Batu Bara Merupakan Salah Satu Bahan Bakar Fosil Tidak Terbarukan.....	5
Gambar 2.2 Serbuk gergaji.....	10
Gambar 2.3 Tempurung kelapa.....	11
Gambar 2.4 Tongkol jagung.....	12
Gambar 2.5 Baja.....	13
Gambar 2.6 Blower.....	18
Gambar 2.7 Arduio Uno.....	21
Gambar 2.8 Sensor Suhu Termokopel.....	22
Gambar 3.1 Rancangan Alat Pemanas Air Berbahan Baja S45C Carbon Steel.....	25
Gambar 3.2 Diagram Alir Kegiatan Tugas Akhir.....	30
Gambar 3.3 Skema Rangkaian.....	31
Gambar 4.1 Alat pemanas air berbahan bakar biomassa.....	33
Gambar 4.1 Perbandingan Temperature Pendidihan Air pada Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa.....	52
Gambar 4.2 Perbandingan Temperature Pendidihan Air pada Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa	53

Gambar 4.3 Perbandingan Efisiensi Thermal Pemanas pada Bahan Bakar

Tongkol Jagung, Serbuk Gergaji dan Tempurung Kelapa pada.....54

Gambar 4.4 Perbandingan Efisiensi Thermal Pemanas pada Bahan Bakar

Tongkol Jagung, Serbuk Gergaji dan Tempurung Kelapa.....55

DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
Q_s	kJ	Kalor Sensibel Air
Q_L	kJ	Kalor Laten Air
C_p	4.182 kg $^{\circ}$ C	Kalor Jenis Air
ΔT	$^{\circ}$ C	Perubahan Suhu
T	$^{\circ}$ C	Temperature Air
T	$^{\circ}$ C	Temperature Ruang Bakar
m_a	kg	Massa awal air
m_b	kg	Massa akhir air
m_{uap}	kg	Massa uap
t	s	Waktu

h_{fg}	kJ/kg	Entalphi Penguapan
w_f	kg	Massa Bahan Bakar
LHV	J/kg	Nilai Kalor Terendah Bahan Bakar
η_{th}	%	Efisiensi Thermal

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dimensi alat pemanas air.....	61
Lampiran 2 Listing Program.....	62
Lampiran 3 Dokumentasi kegiatan.....	65



SURAT PERNYATAAN

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : FIKA FEBRIANTI AGUS

NIM : 34221010

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam tugas akhir ini, yang berjudul “Pengembangan Alat Pemanas Air Bahan Baja S45C Carbon Steel dengan Menggunakan Bahan Bakar Biomassa” merupakan gagasan, hasil karya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2024



FIKA FEBRIANTI AGUS

34221010

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : MUHAMMAD IKBAL YASIN

NIM : 34221020

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam tugas akhir ini, yang berjudul “Pengembangan Alat Pemanas Air Bahan Baja S45C Carbon Steel dengan Menggunakan Bahan Bakar Biomassa” merupakan gagasan, hasil karya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2024



MUHAMMAD IKBAL YASIN

34221020

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : MUSYAWIRHUSDIN

NIM : 34221041

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam tugas akhir ini, yang berjudul “Pengembangan Alat Pemanas Air Bahan Baja S45C Carbon Steel dengan Menggunakan Bahan Bakar Biomassa” merupakan gagasan, hasil karya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2024



MUSYAWIRHUSDIN

34221041

PENGEMBANGAN ALAT PEMANAS AIR BAHAN BAJA S45C CARBON STEEL DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR BIOMASSA

RINGKASAN

Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pembuatan alat pemanas air dengan menggunakan bahan bakar biomassa berupa serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa. Tujuan dari perancangan alat ini adalah untuk mengetahui potensi pemanfaatan bahan bakar biomassa dalam meningkatkan efisiensi thermal pemanas air sebagai alternatif energi terbarukan

Hal tersebut diawali dengan perancangan dan pembuatan alat. Perancangan alat pemanas air dirancang menggunakan material baja S45C carbon steel, blower yang digunakan untuk mengatur variasi kecepatan angin, katup untuk mengatur aliran fluida baik berupa cairan maupun gas, sensor suhu termokopel yang digunakan untuk mengukur temperatur air, temperatur bahan bakar dan temperatur pembakaran. Pengumpulan data dilakukan dengan teknik pengujian alat hasil rancangan, sedangkan analisa data dilakukan dengan melakukan perhitungan-perhitungan sederhana.

Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa efisiensi thermal terbesar adalah dengan pengujian perbandingan 1:1 menggunakan bahan bakar tongkol jagung dan serbuk gergaji yaitu 90,5%, dan efisiensi thermal terendah pada percobaan pengujian 1:2 menggunakan bahan bakar tempurung kelapa dan serbuk gergaji yaitu 7,6%.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah sesuatu yang dibutuhkan oleh benda agar benda dapat melakukan usaha. Dalam kenyataannya setiap dilakukan usaha selalu ada perubahan. Sehingga usaha juga didefinisikan sebagai kemampuan untuk menyebabkan perubahan. Energi tidak dapat diperbarui dan tidak dapat dimusnahkan, dapat dikonversikan dari bentuk energi yang satu ke bentuk energi yang lain. Energi juga memiliki sifat fleksibel artinya energi dapat berpindah dan berubah (Arif Alfatah & Muji Lestari, 2009). Penggunaan sumber energi yang semakin meningkat membuat manusia untuk menemukan opsi lainnya dari sumber energi yang ada sekarang ini. Salah satu energi yang di perlukan adalah energi terbarukan. Energi terbarukan adalah energi dari sumber alam yang lebih cepat proses pembaruannya dibandingkan dalam menghabiskannya. Sinar matahari dan angin adalah contoh dari sumber energi yang terus menerus dapat terbarukan, yang mana terdapat banyak sekali sumber energi terbarukan yang tersedia di bumi (Pertamina, 2023).

Sistem pemanas biomassa menghasilkan panas dari biomassa. Sistem ini dapat menggunakan pembakaran langsung, gasifikasi, gabungan panas dan tenaga (CHP), pencernaan anaerobik, atau pencernaan aerobik untuk menghasilkan panas. Pemanasan biomassa dapat sepenuhnya otomatis atau semi-otomatis, dapat menggunakan bahan bakar pelet, atau dapat digabungkan dengan sistem panas dan tenaga.

Pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar dalam kehidupan sehari-

hari masih terbilang kurang karena saat ini pembakaran banyak menggunakan bahan bakar konvensional sehingga dalam penelitian ini penulis menggunakan bahan bakar padat, yaitu serbuk gergaji, tempurung kelapa dan tongkol jagung sebagai bahan bakar untuk pemanas dan sebagian besar penggunaan biomassa sekarang dilakukan menggunakan tungku tradisional dengan pembakaran langsung terbuka yang tidak efisien. Tungku-tungku tradisional ini menghabiskan biomassa berlebih, dikarenakan perpindahan panas yang tidak efisien.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu dilakukan penelitian dengan judul "Pengembangan Alat Pemanas Air Bahan Baja S45C Carbon Steel dengan Menggunakan Bahan Bakar Biomassa".

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan di atas dapat di rumuskan suatu permasalahan yang harus diselesaikan, antara lain:

- 1) Bagaimana merancang alat pemanas air berbahan baja S45C Carbon Steel menggunakan bahan bakar biomassa berupa serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa?
- 2) Bagaimana mengetahui perbedaan efisiensi thermal antara pemanas air yang menggunakan tiga jenis bahan bakar biomassa tersebut?
- 3) Bagaimana potensi pemanfaatan bahan bakar biomassa, seperti serbuk gergaji, tongkol jagung, dan tempurung kelapa, dalam meningkatkan efisiensi thermal pemanas air sebagai alternatif energi terbarukan?

1.3 Ruang Lingkup Kegiatan

- 1) Pengujian dilakukan di laboratorium Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- 2) Bahan bakar yang digunakan adalah serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa.
- 3) Objek penelitian alat adalah fluida air.
- 4) Energi blower tidak diperhitungkan (diabaikan).

1.4 Tujuan dan Manfaat Kegiatan

1.4.1 Tujuan Kegiatan

Adapun tujuan yang akan dicapai berdasarkan rumusan masalah adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk merancang alat pemanas air berbahan baja S45C Carbon Steel menggunakan bahan bakar biomassa berupa serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa.
- 2) Untuk mengetahui bagaimana perbedaan efisiensi thermal pemanas air yang menggunakan bahan bakar biomassa berupa serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa.
- 3) Untuk mengetahui potensi pemanfaatan bahan bakar biomassa, seperti serbuk gergaji, tongkol jagung, dan tempurung kelapa, dalam meningkatkan efisiensi thermal pemanas air sebagai alternatif energi terbarukan.

1.4.2 Manfaat Kegiatan

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

- 1) Pemanfaatan biomassa sebagai sumber bahan bakar menjadi energi alternatif dan memberikan kontribusi dalam rangka penghematan bahan bakar fosil.
- 2) Berkontribusi dalam pemanfaatan limbah pertanian jagung dan kelapa.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan

Bahan bakar fosil masih menjadi kebutuhan sehari-hari di dunia. Bahan bakar fosil termasuk batu bara, minyak bumi, gas alam, minyak serpih, bitumen, pasir tar, dan minyak berat. Bahan bakar fosil merupakan salah satu bahan yang mengandung hidrokarbon asal biologis. Energi ini ditemukan dalam kerak bumi dan dapat digunakan sebagai sumber energi. Banyak negara telah berusaha mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dengan mengembangkan energi baru. Saat ini, sudah tersedia sumber energi dari angin, matahari, air, ombak, panas bumi, dan nabati (Kamalina, 2021). Namun penggunaan energi fosil yang tinggi dan tidak dibarengi dengan terobosan energi terbarukan membuat manusia mengalami krisis energi. Hal ini disebabkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang sangat tinggi.



Gambar 2.1 Batu Bara
(Sumber: Egindo, 2021)

2.2 Biomassa

2.2.1 Pengertian Biomassa

Biomassa adalah bahan-bahan yang berasal dari organisme hidup yang meliputi tanaman, hewan dan produk sampingannya seperti limbah kebun, tanaman. Energi biomassa telah menjadi salah satu solusi yang menjanjikan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan keberlanjutan energi. Sebagai bagian dari upaya untuk mengurangi ketergantungan kita pada bahan bakar fosil, penggunaan energi biomassa sebagai sumber energi terbarukan dapat memberikan kontribusi positif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan ketahanan energi (Fadhilla, 2023).

2.3 Pemanfaatan Energi Biomassa

1. Sebagai sumber energi

Biomassa yang dijadikan sumber energi atau bahan bakar umumnya adalah biomassa yang ekonomisnya rendah dan merupakan limbah setelah produk primernya diambil. Sumber energi yang biomassa ini memiliki kelebihan diantaranya merupakan sumber energi yang dapat diperbarui atau *renewable* dan menjadi sumber energi yang ketersediaannya berkesinambungan atau *sustainable*. Meskipun sifat biomassa ini terbarukan tetapi ini tidak berarti bahwa biomassa adalah sumber energi yang benar-benar ramah pada lingkungan. Energi dari biomassa ini dibuat dari hasil konversi bahan biologis seperti tanaman. Potensi biomassa di Indonesia sangat melimpah, mulai dari limbah dari hewan maupun tumbuhan, semuanya bisa dikembangkan. Agar biomassa dapat

dimanfaatkan menjadi sumber energi maka harus dikonversi menggunakan teknologi. Umumnya teknologi konversi yang mengubah biomassa menjadi sumber energi ini dibagi menjadi tiga yaitu melalui pembakaran langsung, konversi termokimia yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar, dan konversi biokimia yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakarnya. Sumber energi biomassa pada umumnya dibagi 4 yaitu:

- 1) Limbah pertanian, Limbah ini umumnya menghasilkan panas dan listrik, seperti jerami, ampas tebu, kotoran ternak, dan kotoran unggas lainnya.
- 2) Biogas ini dihasilkan dari pemecahan bahan organik seperti kotoran manusia, material tanaman, pupuk kandang, dan lain-lain. Setelah semua bahan organik tersebut diuraikan dengan proses fermentasi dengan bantuan mikroorganisme anaerobic untuk menghasilkan karbon dioksida dan metana maka akan menghasilkan gas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar seperti menyalakan kompor.
- 3) Tanaman energi ini biasanya sengaja dibudidayakan dalam skala besar untuk menghasilkan bahan bakar, diantaranya jagung, kedelai, rami dan gandum. Dalam proses pembakaran, tanaman ini akan menghasilkan berbagai bahan bakar seperti butanol, etanol, metanol, propanol, dan biodiesel.
- 4) Kayu dianggap sebagai bentuk sederhana dari biomassa karena kayu yang dibakar menjadi bahan bakar yang dapat digunakan langsung. Dalam skala besar, kayu dapat digunakan untuk produksi listrik seperti pembangkit listrik tenaga uap.

2. Limbah tanaman pangan dan perkebunan digunakan sebagai bahan bakar nabati

Manfaat limbah tanaman pangan dan perkebunan sebagai bahan bakar nabati memiliki tiga keuntungan langsung yaitu meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan karena kandungan energi yang terdapat pada limbah cukup besar dan akan terbuang percuma jika tidak dimanfaatkan, sebagai penghematan biaya dan mengurangi keperluan akan tempat penimbunan sampah karena penyediaan tempat penimbunan akan menjadi lebih sulit dan mahal, khususnya di daerah perkotaan.

3. Sebagai penghasil devisa negara

Di Indonesia, biomassa menjadi sumber energi yang sangat penting dengan berbagai produk primer sebagai kayu, serat, minyak dan bahan pangan. Selain digunakan sebagai pemenuh kebutuhan domestik, biomassa ini juga diekspor dan menjadi tulang punggung penghasil devisa negara.

4. Sebagai energi terbarukan

Energi biomassa yang berasal dari bahan organik seperti tumbuhan dan hewan ini akan menjadi sebuah sumber energi yang terbarukan karena kita tahu bahwa tumbuhan akan tumbuh berulang-ulang di lahan tanpa mengeluarkan biaya yang signifikan, sementara hewan dapat dibudidayakan. Inilah yang membuat sumber energi biomassa tidak akan pernah habis.

5. Meningkatkan kualitas air

Ketika energi biomassa banyak digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil maka hal ini dapat meningkatkan kualitas udara karena polusi berkurang. Penggunaan bahan bakar fosil telah diklaim sebagai penyebab hujan

asam, sedangkan energi biomassa tidak menghasilkan emisi sulfur sehingga akan mengurangi peluang hujan asam. Dari sinilah, kualitas air yang ada di bumi dapat meningkat dan peradaban manusia berkurang dari polusi.

6. Meminimalisir limbah organik

Tidak bisa dipungkiri bahwa keberadaan bahan organik di lingkungan akan semakin menumpuk, mulai dari limbah dapur, limbah kota, pengolahan kayu, ranting hingga limbah kayu lainnya. Jika limbah-limbah tersebut tidak diolah dan hanya dibuang begitu saja justru akan mengeluarkan gas berbahaya seperti metana. Untuk itulah perlu dilakukan proses karbonasi untuk meningkatkan kadar kalor serta meminimalisir emisi dari limbah organik melalui pemanfaatan biomassa ini, salah satunya dengan membuat briket.

7. Dapat mengurangi efek rumah kaca

Gas rumah kaca saat ini masih menjadi momok bagi masyarakat dunia. Efek rumah kaca ini disebabkan karena kadar gas seperti nitrogen oksida, metana, karbon dioksida dan gas-gas lainnya di atmosfer sangat tinggi. Sehingga dapat menimbulkan peningkatan suhu temperatur di atmosfer menjadi sangat panas. Sementara ketersediaan dari biomassa atau tanaman dapat memicu pengurangan konsentrasi karbon dioksida sehingga akan mengurangi efek gas rumah kaca. Sumber energi biomassa ini memiliki jumlah bersih CO₂ yang nol sehingga tidak berkontribusi pada peningkatan emisi rumah kaca.

8. Mengurangi polusi udara yang semakin tinggi

Pembakaran biomassa pada boiler dapat meminimalisir efek dari polusi asap sehingga penggunaannya akan lebih aman dan efisien.

9. Mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil

Dengan manfaat biomassa dapat mengurangi ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil yang tidak terbarukan seperti minyak bumi, batu bara dan gas bumi yang ketersediaannya semakin menipis.

2.4 Jenis – jenis biomassa

1. Serbuk gergaji



Gambar 2.2 Serbuk gergaji
(sumber:google.com)

Serbuk gergaji merupakan salah satu limbah utama yang diperoleh dari pengolahan kayu, dan kegiatan eksploitasi, jika disimpan dalam kondisi yang tidak terkendali, dengan mudah menjadi penyumbang utama pencemaran lingkungan . Serbuk gergaji juga penting karena merupakan sumber bahan biologis yang digunakan untuk memproduksi bahan bakar padat yang digunakan untuk menghasilkan panas. Bahan bakar yang dihasilkan disalurkan melalui berbagai cara, contohnya adalah penggunaannya pada bangunan tempat tinggal dan penggunaannya untuk menghasilkan energi panas pada boiler. Mengubah

bahan biologis dan, lebih khusus lagi, serbuk gergaji terhadap lingkungan merupakan nilai tambah yang besar. Namun, ada risiko lingkungan dan biologis yang terkait dengan konversi tersebut.

2. Tempurung kelapa



Gambar 2.3 Tempurung kelapa
(sumber : Antarafoto)

Tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa yang fungsinya secara biologis adalah pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabuk dengan ketebalan berkisar antara 3-6 mm. Tempurung kelapa di kategorikan sebagai kayu keras tetapi mempunyai kadar lignin yang lebih tinggi dan kadar selulosa lebih rendah dengan kadar air sekitar 6-9% (dihitung berdasarkan berat kering) dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselunosa (Tilman, 1981).

Kelapa merupakan tanaman tahunan yang menjadi salah satu tanaman perkebunan dengan berbagai macam manfaat mulai dari daun, buah, batang, hingga akar sehingga masyarakat menyebutnya sebagai pohon kehidupan. Selain daging buah kelapa yang dapat di jadikan sebagai olahan kopra masih banyak bagian lain dari buah kelapa yang dapat di manfaatkan dan dapat di jadikan sebuah produk yang unggul dan bernilai ekonomis yang tinggi, yaitu sabut kelapa

sebagai produk serat sabut, air kelapa untuk nata de coco, tempurung kelapa untuk charcoal, karbon aktif, arang briket (Indahyani, 2011).

3. Tongkol jagung



Gambar 2.4 Tongkol jagung
(sumber: agrina-online.com)

Salah satu limbah yang melimpah dan tidak termanfaatkan adalah tongkol jagung. Limbah yang tidak bermanfaat tersebut dapat di konversi menjadi bahan bakar padat dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Pengembangan energi dari tongkol jagung menjadi bahan briket pada tahun 2017 di Semarang juga pernah dilakukan (Aryani dkk, 2017).

Tanaman jagung (*Zea mays*) adalah merupakan tanaman pangan terpenting kedua di Indonesia. Berdasarkan karakteristik fisik dan kimianya tanaman jagung memiliki banyak kegunaan, berpotensi sebagai sumber energi terbarukan dan produk samping yang bernilai ekonomis tinggi. Pemanfaatan jagung dan limbahnya sebagai sumber energi terbarukan dengan teknologi konversi energi yang ada saat ini, diantaranya adalah (1) sebagai bahan bakar tungku untuk proses pengeringan atau pemanasan, (2) sebagai bahan bakar padat untuk proses pirolisis dan gasifikasi, (3) sebagai bahan baku pembuatan etanol dan (4) sebagai bahan

baku potensial pembuatan biodiesel. Tongkol jagung mengandung serat kasar yang cukup tinggi yakni 33%, kandungan selulosa sekitar 44,9% dan kandungan lignin sekitar 33,3% yang memungkinkan tongkol jagung dapat dijadikan bahan baku briket arang. Tongkol jagung mengandung energi 3.500 – 4.500 kkal/kg, dan dengan pembakarannya mencapai suhu tinggi 2050 C (Mahardika dan Dewi, 2016).

2.5 Baja

2.5.1 Pengertian Baja



Gambar 2.5 Baja
(sumber: Abu said, 2020)

Baja merupakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C) dengan penambahan paduan lainnya. Baja paling banyak digunakan sebagai produk akhir seperti komponen otomotif, transformator listrik dan untuk proses manufaktur lainnya seperti proses pembuatan lembaran besi, proses ekstrusi dan lain-lain. Dasar pemilihan pemakaian baja ini seiring dengan terus berkembangnya industri otomotif dan kebutuhan masyarakat akan kendaraan bermotor, komponen permesinan, dan konstruksi dan bidang lainnya terutama didasarkan pada sifat

mekaniknya jika sifat logam sangat keras sangat sulit dalam pembentukannya. Kemampuan pengerasan baja (*hardenability*) memiliki rentangan yang besar sehingga dapat disesuaikan dengan sifat mekanik yang sesuai dengan yang diinginkan dari baja itu (Troxell,1998).

Urgensi pemilihan bahan baja untuk pembuatan boiler sangatlah penting karena berkaitan langsung dengan keamanan operasi boiler, kinerja jangka panjang, dan efisiensi energi. Pemilihan bahan baja yang tepat dapat memiliki dampak signifikan pada keandalan, umur layanan, dan biaya perawatan boiler. Bahan baja yang dipilih harus memenuhi berbagai persyaratan teknis dan lingkungan, termasuk ketahanan terhadap korosi, kekuatan, ketangguhan, dan kemampuan untuk menahan tekanan dan suhu tinggi. Ketahanan terhadap korosi adalah salah satu pertimbangan utama, karena boiler sering terpapar oleh air, uap, dan kondensat yang dapat menyebabkan korosi pada permukaan logam. Bahan baja yang memiliki ketahanan korosi yang baik akan memperpanjang umur layanan boiler dan mengurangi risiko kebocoran atau kegagalan struktural. Selain itu, kekuatan dan ketangguhan bahan baja juga sangat penting untuk memastikan bahwa boiler dapat menahan tekanan dan suhu tinggi tanpa mengalami deformasi atau kegagalan struktural yang dapat membahayakan keselamatan operasi. Efisiensi energi adalah aspek lain yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan bahan baja untuk pembuatan boiler. Bahan baja yang tepat dapat membantu meningkatkan efisiensi termal boiler dengan mengurangi kehilangan panas melalui dinding boiler dan memungkinkan transfer panas yang lebih efisien dari bahan bakar ke fluida kerja.

2.6 Jenis-jenis Baja

1. Carbon Steel

Sebagian besar tipe jenis-jenis baja yang dapat dijumpai di seluruh dunia yaitu berbentuk baja karbon atau carbon steel. Semua baja memiliki kandungan karbon, namun carbon steel bersifat unik sebab tidak memiliki elemen lain pada susunannya. Walaupun hanya mengandung kadar 2% karbon atau bahkan kurang dari beratnya, namun sifat unturnya menjadikan carbon steel sebagai bahan yang tahan lama dan kuat, sehingga ideal untuk diaplikasikan dalam berbagai kegunaan. Antara baja karbon dengan besi cor atau cast iron terkadang membingungkan, walaupun memiliki kandungan karbon kurang dari 2%. *Cast iron* memiliki kandungan karbon sekitar 2%-3,5%, karenanya membuat teksturnya menjadi kasar dan bersifat lebih rapuh. Walaupun *carbon steel* terdiri atas logam paduan, namun bahan ini tidak mempunyai klasifikasi paduan sebab kurangnya elemen paduan lain di dalam komposisinya. Inilah yang berkontribusi terhadap popularitas *carbon steel* yang menyumbang 90% dari total produksi baja.

- Baja S45C Carbon Steel

Baja S45C adalah baja dengan daya renggang menengah yang dipasok dalam kondisi gulungan panas hitam atau kondisi normal. Baja ini memiliki kekuatan untuk direnggakan 570 – 700 MPa dan kekerasan Brinell di antara 170 dan 210. Baja S45C memiliki karakteristik kemampuan las yang baik,

kemampuan mesin yang baik, dan karakteristik kekuatan dan benturan yang tinggi baik dalam kondisi normal atau gulungan panas. Baja S45C memiliki kemampuan pengerasan yang rendah dengan ukuran sekitar 60mm yang direkomendasikan untuk pencampuran dan pengerasan. Namun, itu dapat secara efisien dipanaskan atau pengerasan secara induksi dalam kondisi normal atau gulungan panas untuk mendapatkan permukaan yang keras dengan kisaran Rc 54 – Rc 60 berdasarkan faktor-faktor seperti ukuran, jenis pengaturan, medium pendingin yang digunakan, dan lainnya.

2.7 Perpindahan panas

Perpindahan panas adalah proses di mana energi dalam bentuk panas berpindah dari satu benda atau medium ke benda lain karena perbedaan suhu. Proses ini terjadi secara alami, yaitu dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah. Ada tiga mekanisme utama perpindahan panas yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.7.1 Perpindahan panas konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum. Perpindahan panas secara konduksi ini juga merupakan perpindahan panas antara molekul-molekul yang saling berdekatan antar yang satu dengan yang lainnya dan tidak di ikuti oleh

perpindahan molekul tersebut secara fisik. Molekul yang panas bergetar lebih cepat di bandingkan molekul yang berada dalam keadaan dingin , getaran yang cepat ini tenaganya dilimpahkan kepada molekul di sekelilingnya sehingga menyebabkan getaran yang lebih cepat maka akan memberikan panas.

2.7.2 Perpindahan panas konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan atau aliran pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Menurut cara menggerakkan alirannya perpindahan konveksi diklasifikasikan menjadi dua yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida di sebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya di sebut sebagai konveksi bebas (*free natural convection*) bila gerakan fluida di sebabkan oleh gaya pemaksa atau eksitasi dari luar misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya di sebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*).

2.7.3 Perpindahan panas radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses di mana gelombang panas di pancarkan yang di serap, di pantulkan, atau ditransmisikan melalui benda yang lebih dingin. Matahari memanaskan bumi melalui gelombang elektromagnetik. Ketika energi radiasi yang di pancarkan mengenai penerima tertentu sebagian darinya di pantulkan, sebagian di serap dan sebagian di transmisikan tergantung pada reflektivitas daya serap dan transmivitas material. Ketika panas di transfer dengan cara ini dari objek panas ke objek dingin ini di kenal sebagai perpindahan

panas radiasi, semakin tinggi suhu suatu benda semakin besar jumlah energi yang di radiasikan. Oleh karena itu, ketika dua benda pada tingkat suhu yang berbeda di tempatkan sedemikian rupa sehingga radiasi yang di pancarkan dari suatu benda di cegat oleh benda lain, benda bersuhu rendah akan menerima lebih banyak energi daripada yang di pancarkannya sehingga menyebabkan peningkatan energi internalnya. Demikian pula, benda pada suhu lebih tinggi akan mengalami penurunan energi internalnya. Perpindahan panas radiasi sering terjadi di antara permukaan padat namun radiasi dari gas juga mungkin terjadi. Selain itu gas tertentu memancarkan dan menyerap radiasi pada panjang gelombang tertentu meskipun radiasi di sebagian besar benda padat terjadi dalam rentang panjang gelombang yang luas.

2.8 Blower



Gambar 2.6 Blower

(Sumber: google)

Blower adalah alat atau mesin yang berfungsi untuk memperbesar dan meningkatkan tekanan udara gas di alirkan ke dalam ruangan tertentu serta untuk pemvakuman udara gas. Namun apabila digunakan untuk keperluan khusus blower sendiri di beri nama exhauster.

2.9 Isolasi Boiler

2.9.1 Pengertian Isolasi Boiler

Secara sederhana, isolasi membantu ketel uap dalam menyimpan energi panasnya. Mirip dengan cara pakaian wol menahan panas dalam tubuh selama musim dingin. Insulasi boiler digunakan untuk menjaga ketel uap dan unit bejana tekannya tetap panas, mencegah kehilangan panas radiasi dan memberikan keselamatan dan perlindungan pada unit pemrosesan dan tim operasi. Insulasi yang tepat mencegah suhu permukaan pintu dan penutup ketel uap melebihi derajat Fahrenheit yang disyaratkan. Hal ini mengakibatkan bahaya bagi personel pengoperasian yang bekerja di sekitar permukaan boiler. Dianjurkan untuk mengisolasi permukaan apa pun yang suhunya melebihi 120°F (Rakhoh,2022).

Penggunaan isolasi boiler pada alat pemanas air menggunakan bahan bakar biomassa di perlukan karena dapat membantu mengurangi panas yang hilang dari permukaan boiler dan juga berfungsi sebagai lapisan reflektif yang memantulkan panas kembali ke dalam sehingga udara di dalam boiler tetap panas lebih lama.

2.10 Jenis-jenis Isolasi Boiler

Sebaiknya pertimbangkan jenis insulasi yang paling cocok untuk ketel uap.

Ada dua jenis isolasi boiler yang paling sering digunakan, yaitu :

- 1) Isolasi yang Dapat Dilepas

Seperti namanya, insulasi yang dapat dilepas dapat dilepas dengan mudah dan ideal untuk sistem ketel uap yang sering diperiksa dan dirawat. Mudah dipasang dan dilepas untuk mengakses komponen. Ini secara signifikan mengurangi kehilangan energi dan panas tanpa memerlukan perlengkapan permanen. Harness isolasi yang dapat dilepas terbuat dari berbagai bahan termasuk, kancing, tali pengikat, Velcro, dan pegas.

2) Isolasi Permanen

Insulasi permanen umumnya ditemukan pada sistem boiler yang tidak memerlukan akses rutin ke komponen-komponennya. Insulasi permanen kokoh dan tahan lama sehingga menutupi permukaan yang perlu diisolasi secara permanen. Ini sangat ideal untuk tanaman yang membutuhkan isolasi jangka panjang tanpa pemeriksaan dan pemeliharaan yang sering.

2.11 Mikrokontroler Arduino

Mikrokontroler adalah salah satu dari bagian dasar dari suatu sistem komputer. Secara sederhana, komputer akan menghasilkan *output spesifik* berdasarkan input yang diterima dan program yang dikerjakan. Artinya, bagian terpenting dan utama dari suatu sistem komputerisasi adalah program itu sendiri yang dibuat oleh seorang *programmer*. Program ini memerintahkan komputer untuk melakukan jalinan yang panjang dari aksi-aksi sederhana untuk melakukan tugas yang lebih kompleks yang diinginkan oleh *programmer*. Sistem dengan mikrokontroler umumnya menggunakan piranti input yang jauh lebih kecil seperti saklar atau *keypad* kecil. Hampir semua input mikrokontroler hanya dapat

memproses sinyal input *digital* dengan tegangan yang sama dengan tegangan logika dari sumber.

Arduino adalah pengontrol mikro *single board* yang bersifat *open source*, diturunkan dari *Wiring platform* dan dirancang untuk memudahkan 16 penggunaan elektronik di berbagai bidang. *Hardware* Arduino memiliki prosesor Atmel AVR dan *software* nya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Maksud dari mikrokontroler *single board* adalah Arduino merupakan perangkat khusus berupa modul elektronik yang bentuk dan komponennya sudah jadi dan siap pakai. Jadi kita tidak perlu menyolder dan tidak perlu memikirkan rangkaian elektroniknya. Kita bisa langsung fokus bagaimana menghubungkan Arduino ke komputer dan memprogramnya. *Open source* artinya bebas dikembangkan oleh siapa saja dan dibuat oleh siapa saja. Namun, tetap ada standar dari pembuatnya. Sedangkan *Wiring platform* adalah platform elektronik *open source* yang terdiri dari tiga komponen, yaitu bahasa pemrograman, perangkat lunak IDE (*integrated development environment*), dan perangkat mikrokontroler (lap.Mikrokontroler).

Berbagai jenis Arduino adalah Arduino uno, Arduino Diecimilia, Arduino Duemilalove, Arduino Leonardo, Arduino Mega, dan Arduino Nano. Walaupun ada berbagai jenis kartu Arduino, secara prinsip pemrograman yang di perlukan hampir sama. Hal yang membedakan adalah kelengkapan fasilitas dan pin-pin

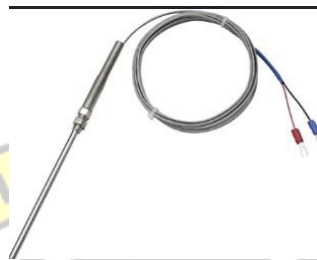


Gambar 2.7 Arduino Uno
(Sumber : Arduinoindonesia.id)

yang perlu digunakan (Jeni dan Fajri, 2021).

2.12 Sensor Suhu

1) Sensor Suhu Termokopel



Gambar 2.8 Sensor Suhu Termokopel
(Sumber : momentous.id)

Thermocouple merupakan salah satu jenis sensor suhu yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan Elektronika yang berkaitan dengan Suhu (*Temperature*). Beberapa kelebihan Termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 2000°C . Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan. Termokopel tersedia dalam berbagai ragam rentang suhu dan jenis bahan. Pada dasarnya, gabungan jenis-jenis logam konduktor yang berbeda akan menghasilkan rentang suhu operasional yang berbeda pula. Berikut ini adalah Jenis atau tipe Termokopel yang digunakan :

a) Termokopel Tipe E

Bahan Logam Konduktor Positif : *Nickel-Chromium*

Bahan Logam Konduktor Negatif : Constantan

Rentang Suhu : -200°C – 900°C.

BAB III METODE KEGIATAN

3.1 Tempat dan Waktu Kegiatan

3.1.1 Tempat kegiatan

Tahap perancangan sampai tahap penyelesaian dan tahap pengujian dilaksanakan di Gedung Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

3.1.2 Waktu Kegiatan

Tahap perancangan dilaksanakan pada bulan Maret 2024 hingga bulan Juli 2024. Tahap pengambilan data dilaksanakan pada bulan Agustus 2024.

3.2 Alat dan Bahan

Dalam metode perancangan ini di perlukan sejumlah alat dan bahan untuk merakit alat. Adapun alat dan bahan yang di perlukan sebagai berikut :

3.2.1 Alat

- 1) Mesin las
- 2) Gerinda
- 3) Blower 2 inch
- 4) Panel box
- 5) Bor
- 6) Timbangan
- 7) PCB prototipe double side 7 x 9 cm

- 8) Kabel dupont
- 9) Specer gold 1 cm dan specer gold 0,5 cm
- 10) Sensor suhu termokopel
- 11) D-005 LCD *character 2004 20 x 4 blue backlightt*
- 12) I2C Module (pcs)
- 13) Arduino uno
- 14) Pin header male 2 x 40 double row
- 15) Power adapter

3.2.2 Bahan

- 1) Baja S45C carbon steel
- 2) Plat 1.45 cm
- 3) Pipa besi
- 4) Katup
- 5) Alumunium foil
- 6) Serbuk gergaji
- 7) Tongkol jagung
- 8) Tempurung kelapa
- 9) Air
- 10) Korek

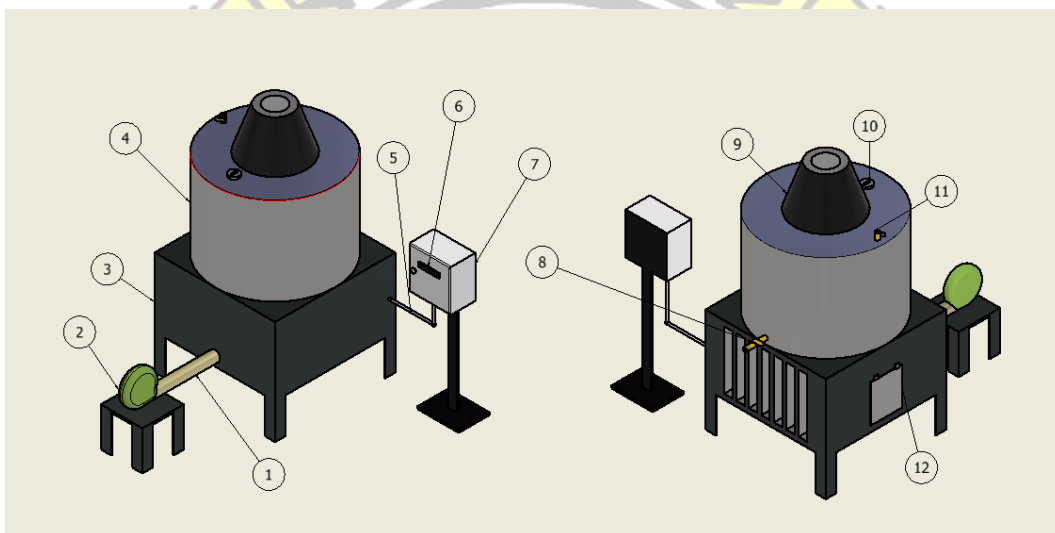
3.3.1 Studi Literatur

Tahap perencanaan dilakukan studi literatur mengenai sistem yang dibuat dengan tujuan mengumpulkan informasi agar memudahkan dalam pengerjaan pengembangan alat.

3.3.2 Perancangan

Tahap perancangan merupakan proses mendesain alat dengan kata lain membuat pola rancangan alat yang merupakan langkah awal sebelum digunakan.

Alat Pemanas Baja Biomassa sebagai pemanas air dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa.



Gambar 3. 1 Rancangan Alat Pemanas Air Berbahan Baja S45C Carbon Steel dengan Menggunakan Bahan Bakar Biomassa

Keterangan :

- 1) Pipa udara masuk ruang bakar
- 2) Blower
- 3) Ruang bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa.
- 4) Ruang air boiler berbahan baja S45C Carbon Steel
- 5) Kabel sensor suhu
- 6) Layar display

- 7) Panel box
- 8) Katup keluar air
- 9) Cerobong asap
- 10) Jalur masuk air (Kondisi terbuka)
- 11) Katup uap
- 12) Pintu masuk dan keluar ruang bakar

3.3 Prinsip Kerja Alat

Bahan bakar berupa serbuk gergaji, tempurung kelapa dan tongkol jagung di gunakan sebagai sumber energi panas. Bahan bakar biomassa ini di tempatkan di dalam ruang pembakaran dan di bakar untuk menghasilkan panas, panas yang di hasilkan dari proses pembakaran tersebut di pindahkan ke udara melalui system penukar panas udara dan akan menyerap panas dari api yang di hasilkan oleh pembakaran bahan bakar, tujuannya adalah untuk menaikkan suhu yang di inginkan. Untuk penggunaan tiga sensor termokopel masing-masing di letakkan di bagian tertentu seperti di bagian tangki air, bahan bakar dan ruang pembakaran yang di gunakan untuk mengukur suhu yang di hasilkan dari ruang pembakaran, suhu dari bahan bakar dan suhu air , sensor ini di gunakan untuk memastikan bahwa suhu udara telah mencapai tingkat yang di inginkan. Kemudian untuk penggunaan blower di gunakan untuk mengatur variasi angin yang di inginkan pada saat pembakaran bahan bakar.

3.4 Tahap Pembuatan dan Perakitan Alat

Dalam proses pembuatan alat ini, alat dibuat sesuai dengan desain gambar

diatas. Pada proses pembuatan alat ini, ada beberapa komponen yang dibeli yaitu blower, katup valve , sensor suhu, arduino uno, power adapter, kabel dupont, PCB prototype double side, specer gold, layar LCD, I2C Module, pin header male double row. Sedangkan komponen yang lain merupakan komponen yang dibuat sendiri. Berikut adalah proses pembuatan dan perakitan Alat Tungku Biomassa sebagai Pemanas Air Dengan Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa :

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan seperti plat, besi siku, pipa besi, pemotong plat, katup valve, alat ukur, arduino uno, sensor suhu, dan layar LCD display.
2. Mengukur plat, besi dan pipa sesuai gambar kerja menggunakan mistar baja dan meteran, kemudian tandai plat dengan spidol permanen.
3. Memotong plat, besi dan pipa sesuai jumlah dan ukuran yang telah diukur.
4. Memotong baja S45C Carbon Steel sesuai gambar kerja
5. Menggabungkan seluruh komponen yang sudah menggunakan mesin las sesuai dengan gambar kerja.
6. Memasang kran dan alat ukur berupa sensor suhu yang akan dipakai sesuai pada gambar dan juga komponen lainnya berupa katup valve, layar display, dan Arduino uno serta komponen lainnya yang digunakan untuk membuat program.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

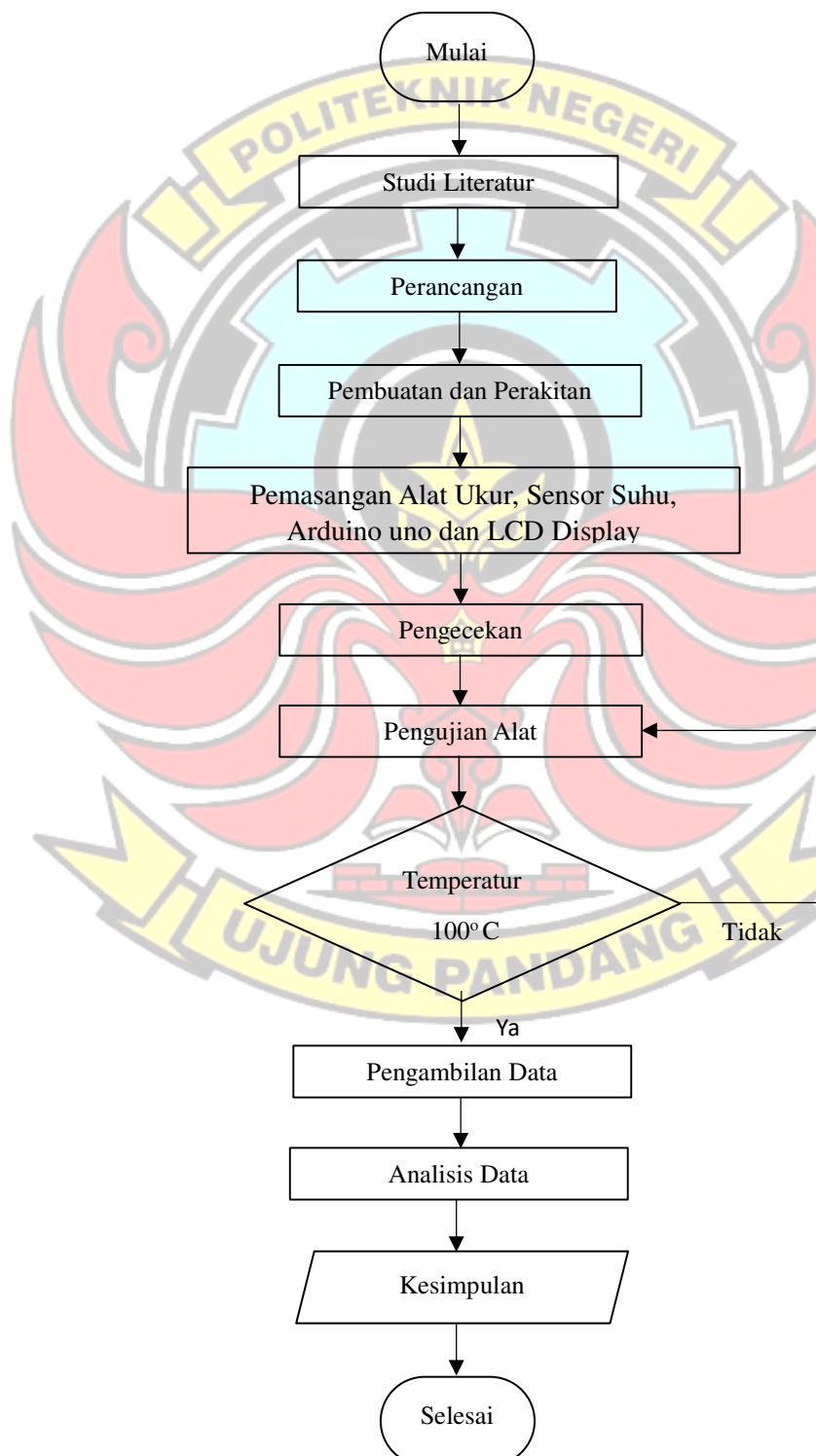
Setelah pengembangan alat selesai, maka akan dilanjutkan dengan pengujian alat

dan pengambilan data. Pengujian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Pada proses pengujian ini menggunakan metode pengujian 1 : 1 dan 1 : 2 dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung, dan tempurung kelapa. Sehingga total pengujian pada penelitian ini yaitu sebanyak 6 kali dengan massa bahan bakar yang berbeda. Langkah-langkah yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan untuk tahap pengujian.
- 2) Menyiapkan dan menimbang air sebanyak 20 liter air. Kemudian memasukkannya ke dalam ruang air.
- 3) Menimbang dan memasukkan bahan bakar ke ruang pembakaran sesuai dengan metode pengujian yang akan di lakukan.
- 4) Memberi sedikit bensin sebagai pembakaran awal diatas bahan bakar yang telah dimasukkan ke ruang pembakaran.
- 5) Menyalakan api penyalaan awal dengan korek api.
- 6) Mengatur kecepatan udara yang dialirkan ke ruang pembakaran dengan blower.
- 7) Menyiapkan dan menjalankan alat waktu pengukur (*stopwatch*) pada skala 00:00 untuk menghitung waktu *start*, dimana alat pengukur waktu tersebut dimatikan pada saat air sudah mencapai 100°C.
- 8) Melakukan proses pencatatan hasil pengukuran selama pengujian yaitu temperatur air dan temperatur ruang bakar. Setiap 1 menit selama pengujian.
- 9) Mematikan blower kemudian menimbang kembali air dan sisa bahan bakar.
- 10) Mendinginkan alat hingga kembali pada temperatur ruang.

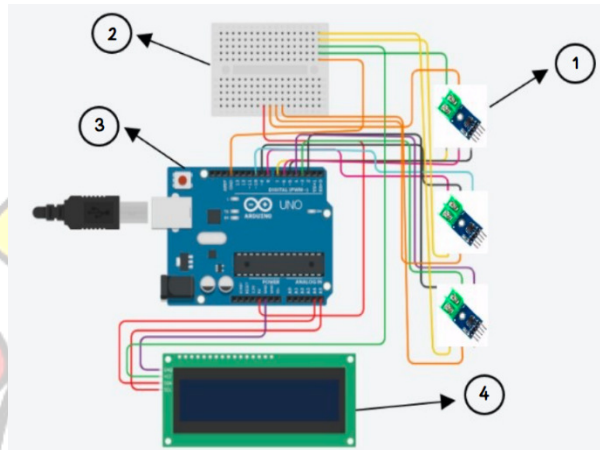
11) Mengulangi prosedur diatas sampai seluruh pengujian bahan bakar selesai.

3.6 Prosedur/Langkah kerja



Gambar 3.2 Diagram Alir Kegiatan Tugas Akhir

3.7 Skema Rangkaian Kontrol



Gambar 3.3 Skema Rangkaian Kontrol

Keterangan:

1. Modul Termocouple
2. Papan Rangkaian
3. Arduino Uno
4. LCD Display

3.8 Teknik Pengolahan/Analisis Data

Persamaan yang akan digunakan dalam perhitungan efisiensi alat adalah:

Kalor adalah energi yang berpindah akibat perbedaan suhu. Satuan SI untuk kalor adalah joule. Kalor bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah. Ketika suatu benda melepas panas ke sekitarnya dalam dituliskan $Q < 0$, sedangkan Ketika benda menyerap panas dari sekitarnya panas dari sekitarnya dapat dituliskan $Q > 0$. Kalor pada suhu 25°C - 100°C (kalor sensible air) dapat dicari dengan

persamaan:

$$Q_s = m \cdot C_p \cdot \Delta T \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

Q_s = kalor sensible air (kJ)

m = massa air mula-mula (kg)

C_p = kalor jenis air (4.182 kJ/kg °C)

$\Delta T = t_2 - t_1$ (perubahan suhu °C)

Kalor pada saat air mendidih (kalor laten air) dapat di cari dengan persamaan :

$$Q_L = m_{uap} \cdot h_{fg} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

Q_L = kalor laten air (kJ)

m_{uap} = massa uap (kg)

h_{fg} = enthalpi penguapan (kJ/kg)

Massa uap air dapat di cari :

$$m_{uap} = m_a - m_b \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

m_a = massa air mula-mula (kg)

m_b = massa air akhir (kg)

Kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat dicari dengan persamaan:

$$Q = W_f \cdot LHV \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

Q = kalor biomassa (kJ)

W_f = massa bahan bakar (kg) = (Mbb Awal – Mbb Akhir)

LHV = nilai kalor terendah bahan bakar (Kj/Kg)

Tabel 3. 1 Nilai LHV Biomassa

Tabel 3.1 Nilai LHV Biomassa

Tipe	LHV(Kj/Kg)
Batok Kelapa	18.000
Tongkol Jagung	13.000-15.000
Serbuk kayu/Serbuk Gergaji	12.432
Campuran	14.477

Sumber : Haryanto. Agus. 2017. Energi Terbarukan. Penerbit Innosain.

Sehingga efisiensi thermal tungku dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{th} = \frac{\square \square \square}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

Kalor yang terpakai = kalor sensible + kalor laten air.

BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN

4.1 Perancangan alat pemanas air berbahan bakar biomassa

Setelah melalui proses di atas maka di dapatkan hasil sebuah tungku biomassa sebagai pemanas air dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, tempurung kelapa dan tongkol jagung dengan tinggi 112 cm lebar 610 mm dan lebar 58 cm.



Gambar 4.1 Alat pemanas air berbahan bakar biomassa

4.2 Data pengamatan

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tongkol Jagung (5) dan Serbuk Gergaji (5) Pengujian 1 : 1 Selasa 27 Agustus 2024

Waktu (menit)	Temperatur air (°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Temperatur bahan bakar (°C)	Massa air mula-mula (Kg)	Massa air akhir (Kg)	Massa bahan bakar awal (Kg)	Massa bahan bakar akhir (Kg)
0	30	40	30	20	17.2	10	7
1	30	50	50				
2	40	65	65				
3	40	87	72				
4	40	100	85				
5	46	120	95				
6	51	150	110				
7	56	200	130				
8	60	225	155				
9	63	247	170				
10	68	255	185				
11	72	260	200				
12	76	265	225				
13	80	272	230				
14	88	285	245				
15	90	300	260				
16	96	312	280				
17	100	320	300				

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tempurung Kelapa (5) dan Serbuk Gergaji (5) Pengujian 1 : 1 Rabu 28 Agustus 2024

Waktu (menit)	Temperatur air (°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Temperatur bahan bakar (°C)	Massa air mula-mula (Kg)	Massa air akhir (Kg)	Massa bahan bakar awal (Kg)	Massa bahan bakar akhir (Kg)
0	40	40	30	20	14	10	4
1	42	60	30				
2	45	70	35				
3	48	76	40				
4	50	80	55				
5	55	82	60				
6	60	88	75				
7	62	92	80				
8	66	100	95				
9	70	120	115				
10	76	140	135				
11	78	160	150				
12	82	175	170				
13	88	185	185				
14	91	200	190				
15	100	220	200				

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tempurung Kelapa (5) dan Tongkol Jagung (5) Pengujian 1 : 1 Kamis 29 Agustus 2024

Waktu (menit)	Temperatur air (°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Temperatur bahan bakar (°C)	Massa air mula-mula (Kg)	Massa air akhir (Kg)	Massa bahan bakar awal (Kg)	Massa bahan bakar akhir (Kg)
---------------	---------------------	----------------------------	-----------------------------	--------------------------	----------------------	-----------------------------	------------------------------

0	40	50	40	20	12	10	6
1	50	60	50				
2	60	75	65				
3	65	85	80				
4	70	90	85				
5	75	100	95				
6	80	125	110				
7	85	150	130				
8	90	200	155				
9	95	250	175				
10	100	300	200				

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tongkol Jagung (5) dan Serbuk Gergaji (10) Pengujian 1 : 2 Jumat 30 Agustus 2024

Waktu (menit)	Temperatur air(°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Temperatur bahan bakar (°C)	Massa air mula-mula (Kg)	Massa air akhir (Kg)	Massa bahan bakar awal (Kg)	Massa bahan bakar akhir (Kg)
0	34	30	30	20	14.8	15	8
1	38	35	30				
2	38	50	45				
3	42	70	55				
4	50	85	60				
5	52	100	70				
6	54	125	85				
7	56	150	95				
8	60	165	120				
9	64	180	135				
10	66	190	150				
11	70	200	170				
12	74	240	185				

13	78	265	195				
14	80	280	210				
15	84	290	235				
16	86	300	250				
17	88	325	285				
18	90	335	315				
19	100	350	330				

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji (5) dan Tempurung Kelapa (10) Pengujian 1 : 2 Sabtu 31 Agustus 2024

Waktu (menit)	Temperatur air(°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Temperatur bahan bakar (°C)	Massa air mula-mula (Kg)	Massa air akhir (Kg)	Massa bahan bakar awal (Kg)	Massa bahan bakar akhir (Kg)
0	40	50	45				
1	42	65	55				
2	48	85	70				
3	54	100	85				
4	60	135	100				
5	70	150	125	20	14	15	7
6	75	200	155				
7	80	230	180				
8	85	265	220				
9	90	300	265				
10	95	335	295				
11	100	365	325				

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tempurung Kelapa (5) dan Tongkol Jagung (10) Pengujian 1 : 2 Sabtu 31 Agustus 2024

Waktu (menit)	Temperatur air(°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Temperatur bahan bakar (°C)	Massa air mula-	Massa air akhir	Massa bahan bakar	Massa bahan bakar

				mula (Kg)	(Kg)	awal (Kg)	akhir (Kg)
0	45	50	50				
1	45	100	85				
2	52	130	120				
3	58	150	135				
4	65	200	165				
5	68	220	200				
6	73	260	230	20	15	15	8
7	75	280	265				
8	77	300	285				
9	81	320	295				
10	86	350	320				
11	90	370	350				
12	94	385	370				
13	100	400	385				

4.3 Proses Pengambilan Data

Pengambilan data dalam pengujian alat pemanas air menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa di lakukan dengan metode pengambilan data yang berbeda yaitu pengujian 1 : 1 dan pengujian 1 : 2 di lakukan selama lima hari bertempat di Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

4.4 Analisis Data

Setelah melalui proses di atas maka di dapatkan hasil sebuah tungku biomassa sebagai pemanas air dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, tempurung kelapa dan tongkol jagung dengan tinggi 112 cm lebar 610 mm dan lebar 58 cm.

Dengan ukuran ruang bakar adalah 58 x 58 x 33 cm, dengan alat ukur yaitu berupa sensor termokopel 3 buah.

4.4.1 Perhitungan Data Tongkol Jagung dan Serbuk Gergaji (Pengujian 1 : 1)

Dengan menggunakan data pada menit ke 17 pada saat temperature air sudah mencapai 100°C

4.4.2 Menghitung Data Kalor Sensibel Air

Menggunakan rumus pada persamaan 1 :

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T$$

$$\text{Dik : } m = 20 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.182 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 100^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 70^\circ\text{C}$$

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= 20 \text{ Kg} \times 4.182 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \times 70^\circ\text{C}$$

$$= 5854,8 \text{ kJ}$$

4.4.3 Menghitung Kalor Laten Air

Menggunakan rumus pada persamaan 2 :

$$Q_L = m_{uap} \times h_{fg}$$

$$\text{Dik} = m_{uap} = m_a - m_b = 20 \text{ kg} - 17,2 \text{ kg} = 2,8 \text{ kg}$$

$$H_{fg} = \text{dilihat pada tabel uap A.2} = 2257.0 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_L = m_{uap} \times h_{fg}$$

$$= 2.8 \text{ Kg} \times 2257.0 \text{ kJ/kg}$$

$$= 63196 \text{ kJ}$$

4.4.4 Menghitung kalor yang di hasilkan bahan bakar

Menggunakan rumus pada persamaan 4 :

$$Q = W_f \cdot \text{LHV}$$

$$\text{Dik : } W_f = M_{\text{bb Awal}} - M_{\text{bb Akhir}}$$

$$= 10 \text{ Kg} - 7 \text{ Kg}$$

$$= 3 \text{ Kg}$$

$$\text{LHV} = 25432$$

$$Q = W_f \cdot \text{LHV}$$

$$= 3 \text{ Kg} \times 25432 \text{ kJ/kg}$$

$$= 76296 \text{ Kj}$$

4.4.5 Efisiensi Thermal Tungku

Menggunakan rumus pada persamaan 5 :

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\text{kalor yang terpakai}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\text{kalor sensible} + \text{kalor laten air}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100$$

$$= \frac{5854,8 \text{ kJ} + 63196 \text{ kJ}}{76296 \text{ kJ}} \times 100$$

$$= 90.5\%$$

4.5 Perhitungan Data Tempurung Kelapa dan Serbuk Gergaji

(Pengujian 1:1)

Dengan menggunakan data pada menit ke 15 pada saat temperature air sudah mencapai 100°C

4.5.1 Menghitung Data Kalor Sensibel Air

Menggunakan rumus pada persamaan 1 :

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T$$

$$\text{Dik : } m = 20 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.182 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 100^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C} = 60^\circ\text{C}$$

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= 20 \text{ Kg} \times 4.182 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}$$

$$= 5018.4 \text{ kJ}$$

4.5.2 Menghitung Kalor Laten Air

Menggunakan rumus pada persamaan 2 :

$$Q_L = m_{uap} \times h_{fg}$$

$$\text{Dik} = m_{uap} = m_a - m_b = 20 \text{ Kg} - 4 \text{ Kg} = 16\text{kg}$$

$$H_{fg} = \text{dilihat pada tabel uap A.2} = 2257.0 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_L = m_{uap} \times h_{fg}$$

$$= 16 \text{ Kg} \times 2257.0 \text{ kJ/kg}$$

$$= 36112 \text{ kJ}$$

4.5.3 Menghitung kalor yang di hasilkan bahan bakar

Menggunakan rumus pada persamaan 4 :

$$Q = W_f \cdot \text{LHV}$$

$$\text{Dik : } W_f = M_{\text{bb}} \text{ Awal} - M_{\text{bb}} \text{ Akhir}$$

$$= 10 \text{ kg} - 4 \text{ kg}$$

$$= 6 \text{ kg}$$

$$\text{LHV} = 30432$$

$$Q = W_f \cdot \text{LHV}$$

$$= 6 \text{ kg} \times 30432 \text{ kJ/kg}$$

$$= 182592 \text{ kJ}$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\text{kalor yang terpakai}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\text{kalor sensible} + \text{kalor laten air}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\%$$

$$= \frac{5018.4 \text{ kJ} + 36112 \text{ kJ}}{182592 \text{ kJ}} \times 100\%$$

$$= 22.5\%$$

4.6 Perhitungan Data Tempurung Kelapa dan Tongkol Jagung

(Pengujian 1 : 1)

Dengan menggunakan data pada menit ke 10 pada saat temperature air sudah mencapai 100 °C

4.6.1 Menghitung Data Kalor Sensibel Air

Menggunakan rumus pada persamaan 1 :

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T$$

$$\text{Dik : } m = 20 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.182 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 100^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C} = 60^\circ\text{C}$$

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= 20 \text{ Kg} \times 4.182 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}$$

$$= 5018,4 \text{ kJ}$$

4.6.2 Menghitung Kalor Laten Air

Menggunakan rumus pada persamaan 2 :

$$Q_L = m_{\text{uap}} \times h_{\text{fg}}$$

$$\text{Dik} = m_{\text{uap}} = m_a - m_b = 20 \text{ kg} - 12 \text{ kg} = 8 \text{ kg}$$

$$h_{\text{fg}} = \text{dilihat pada tabel uap A.2} = 2257.0 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_L = m_{\text{uap}} \times h_{\text{fg}}$$

$$= 8 \text{ Kg} \times 2257.0 \text{ kJ/kg}$$

$$= 18056 \text{ kJ}$$

4.6.3 Menghitung kalor yang di hasilkan bahan bakar

Menggunakan rumus pada persamaan 4 :

$$Q = W_f \cdot \text{LHV}$$

$$\text{Dik : } W_f = M_{\text{bb Awal}} - M_{\text{bb Akhir}}$$

$$= 10 \text{ kg} - 6 \text{ kg}$$

$$= 4 \text{ kg}$$

$$\text{LHV} = 31000$$

$$Q = W_f \cdot \text{LHV}$$

$$= 4 \text{ Kg} \times 31000 \text{ kJ/kg}$$

$$= 124000 \text{ kJ}$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\text{kalor yang terpakai}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\text{kalor sensible} + \text{kalor laten air}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\%$$

$$= \frac{5018.4 \text{ kJ} + 18056 \text{ kJ}}{124000 \text{ kJ}} \times 100\%$$

$$= 18.61\%$$

4.7 Perhitungan Data Tongkol Jagung dan Serbuk Gergaji (Pengujian 1 : 2)

Dengan menggunakan data pada menit ke 19 pada saat temperature air sudah mencapai 100 °C

4.7.1 Menghitung Data Kalor Sensibel Air

Menggunakan rumus pada persamaan 1 :

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T$$

$$\text{Dik : } m = 20 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.182 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 100^\circ\text{C} - 34^\circ\text{C} = 66^\circ\text{C}$$

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= 20 \text{ Kg} \times 4.182 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \times 66^\circ\text{C}$$

$$= 5520,2 \text{ kJ}$$

4.7.2 Menghitung Kalor Laten Air

Menggunakan rumus pada persamaan 2 :

$$Q_L = m_{\text{uap}} \times h_{\text{fg}}$$

$$\text{Dik} = m_{\text{uap}} = m_a - m_b = 20 \text{ kg} - 14,8 \text{ kg} = 5,2 \text{ kg}$$

$$h_{\text{fg}} = \text{dilihat pada tabel uap A.2} = 2257.0 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_L = m_{\text{uap}} \times h_{\text{fg}}$$

$$= 5,2 \text{ Kg} \times 2257.0 \text{ kJ/kg}$$

$$= 11736 \text{ kJ}$$

4.7.3 Menghitung kalor yang di hasilkan bahan bakar

Menggunakan rumus pada persamaan 4 :

$$Q = W_f \cdot \text{LHV}$$

$$\text{Dik} : W_f = M_{\text{bb Awal}} - M_{\text{bb Akhir}}$$

$$= 15 \text{ kg} - 8 \text{ kg}$$

$$= 7 \text{ kg}$$

$$\text{LHV} = 25432$$

$$Q = W_f \cdot \text{LHV}$$

$$= 7 \text{ kg} \times 25432 \text{ kJ/kg}$$

$$= 178024 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned} \eta_{th} &= \frac{\text{k calor yang terpakai}}{\text{k calor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\% \\ \eta_{th} &= \frac{\text{k calor sensible + calor laten air}}{\text{k calor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\% \\ &= \frac{5520.2 \text{ Kj} + 11736 \text{ Kj}}{178024 \text{ Kj}} \times 100\% \\ &= 9.7\% \end{aligned}$$

4.7.4 Perhitungan Data Tempurung Kelapa dan Serbuk Gergaji

(Pengujian 1 : 2)

Dengan menggunakan data pada menit ke 11 pada saat temperature air sudah mencapai 100 °C

4.7.5 Menghitung Data Kalor Sensibel Air

Menggunakan rumus pada persamaan 1 :

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T$$

$$\text{Dik : } m = 20 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.182 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 100^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C} = 60^\circ\text{C}$$

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= 20 \text{ Kg} \times 4.182 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}$$

$$= 5018,4 \text{ kJ}$$

4.7.6 Menghitung Kalor Laten Air

Menggunakan rumus pada persamaan 2 :

$$Q_L = m_{uap} \times h_{fg}$$

$$\text{Dik} = m_{\text{uap}} = m_a - m_b = 20 \text{ kg} - 14 \text{ kg} = 6 \text{ kg}$$

$$H_{fg} = \text{dilihat pada tabel uap A.2} = 2257.0 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= m_{\text{uap}} \times h_{fg} \\ &= 6 \text{ Kg} \times 2257.0 \text{ kJ/kg} \\ &= 13542 \text{ kJ} \end{aligned}$$

4.8.7 Menghitung kalor yang di hasilkan bahan bakar

Menggunakan rumus pada persamaan 4 :

$$Q = W_f \cdot \text{LHV}$$

$$\text{Dik : } W_f = M_{\text{bb Awal}} - M_{\text{bb Akhir}}$$

$$= 15 \text{ kg} - 7 \text{ kg}$$

$$= 8 \text{ kg}$$

$$\text{LHV} = 30432$$

$$Q = W_f \cdot \text{LHV}$$

$$= 8 \text{ Kg} \times 30432 \text{ kJ/kg}$$

$$= 243456 \text{ kJ}$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\text{kalor yang terpakai}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\text{kalor sensible} + \text{kalor laten air}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\%$$

$$= \frac{5018.4 \text{ kJ} + 13542 \text{ kJ}}{243456 \text{ kJ}} \times 100\%$$

$$= 7.6\%$$

4.8 Perhitungan Data Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa

(Pengujian 1 : 2)

Dengan menggunakan data pada menit ke 13 pada saat temperature air sudah mencapai 100 °C

4.8.1 Menghitung Data Kalor Sensibel Air

Menggunakan rumus pada persamaan 1 :

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T$$

$$\text{Dik : } m = 20 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.182 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 100^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C} = 55^\circ\text{C}$$

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= 20 \text{ Kg} \times 4.182 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 55^\circ\text{C}$$

$$= 46000,2 \text{ kJ}$$

4.8.2 Menghitung Kalor Laten Air

Menggunakan rumus pada persamaan 2 :

$$Q_L = m_{uap} \times h_{fg}$$

$$\text{Dik} = m_{uap} = m_a - m_b = 20 \text{ kg} - 15 \text{ kg} = 5 \text{ kg}$$

$$h_{fg} = \text{dilihat pada tabel uap A.2} = 2257.0 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_L = m_{uap} \times h_{fg}$$

$$= 5 \text{ Kg} \times 2257.0 \text{ kJ/kg}$$

$$= 11285 \text{ kJ}$$

4.8.3 Menghitung kalor yang di hasilkan bahan bakar

Menggunakan rumus pada persamaan 4 :

$$Q = W_f \cdot \text{LHV}$$

$$\text{Dik : } W_f = M_{\text{bb Awal}} - M_{\text{bb Akhir}}$$

$$= 15 \text{ kg} - 8 \text{ kg}$$

$$= 7 \text{ kg}$$

$$\text{LHV} = 31000$$

$$Q = W_f \cdot \text{LHV}$$

$$= 8 \text{ kg} \times 31000 \text{ kJ/kg}$$

$$= 248000 \text{ kJ}$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\text{kalor yang terpakai}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\text{kalor sensible} + \text{kalor laten air}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\%$$

$$= \frac{46000.2 \text{ kJ} + 11285 \text{ kJ}}{248000 \text{ kJ}} \times 100\%$$

$$= 23.14\%$$

4.9 Hasil Analisis Data

1) Pengujian 1 : 1

Tabel 4.9.1 Nilai LHV Biomassa

Bahan Bakar	Mair Mula-mula (kg)	C_p (kJ/kg)	ΔT ($^{\circ}C$)	Q_s (kJ)
Tongkol jagung dan Serbuk gergaji	20	4.182	63.33	5297.2
Tempurung kelapa dan Serbuk gergaji				
Tempurung kelapa dan Tongkol jagung				

Tabel 4.9.2 Tabel Perhitungan Kalor Laten Air

Bahan Bakar	Muap rata-rata (kg)	H_{fg} (kJ/kg)	Q_L (kJ)
Tongkol jagung dan Serbuk gergaji	2.8	2257.0	63196
Tempurung kelapa dan Serbuk gergaji	16		36112
Tempurung kelapa dan Tongkol jagung	8		18056

Tabel 4.9.3 Tabel Perhitungan Kalor Laten Air

Bahan Bakar	Kalor Terpakai (kJ)	Kalor Bahan Bakar (kJ)	η_{th} (%)
Tongkol jagung dan Serbuk gergaji	2.8	76296	90.483572
Tempurung kelapa dan Serbuk gergaji	16	182592	22.53.58327

Tempurung kelapa dan Tongkol jagung	8	124000	18.6087 0968
-------------------------------------	---	--------	-----------------

2) Pengujian 1 : 2

Tabel 4.10.4 Tabel Perhitungan Kalor Sensible Air

Bahan Bakar	Mair Mula-mula (kJ)	C _p (kJ/kg)	ΔT (°C)	Q _s (kJ)
Tongkol jagung dan Serbuk gergaji	20	4.182	60.33	18.846
Tempurung kelapa dan Serbuk gergaji				
Tempurung kelapa dan Tongkol jagung				

Tabel 4.10.5 Tabel Perhitungan Kalor Laten Air

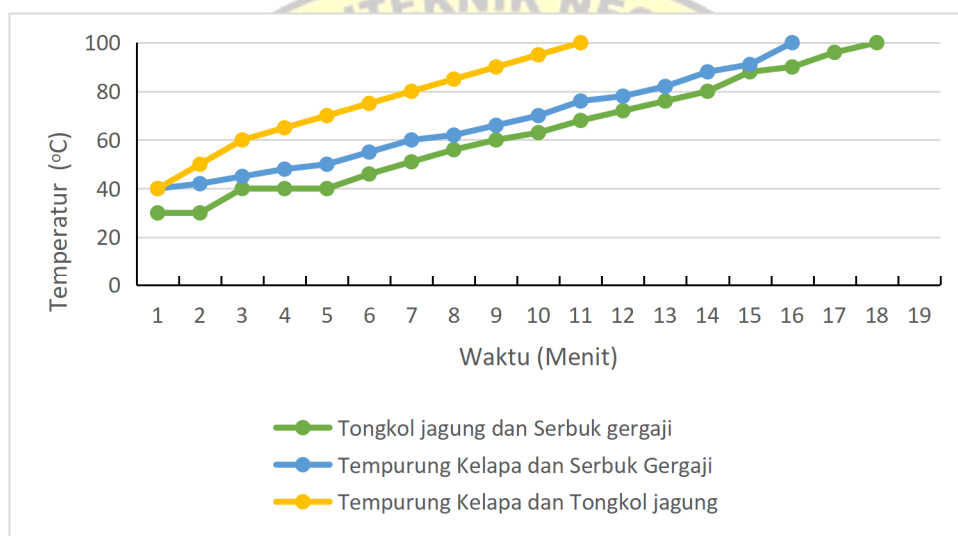
Bahan Bakar	Kalor Terpakai (kJ)	H _{fg} (kJ/kg)	Q _L (kJ)
Tongkol jagung dan Serbuk gergaji	5.2	2257.0	11736
Tempurung kelapa dan Serbuk gergaji	6		13542
Tempurung kelapa dan Tongkol jagung	5		11285

Tabel 4.10.6 Tabel Perhitungan Efisiensi Thermal Pemanas

Bahan Bakar	Kalor Terpakai (kJ)	Kalor Bahan Bakar (kJ)	η _{th} (%)
Tongkol jagung dan Serbuk gergaji	5.2	76296	9.69192781
Tempurung kelapa dan Serbuk gergaji	6	182592	7.6247961
Tempurung kelapa dan Tongkol jagung	5	124000	23.13274194

4. 10 Grafik dan Pembahasan

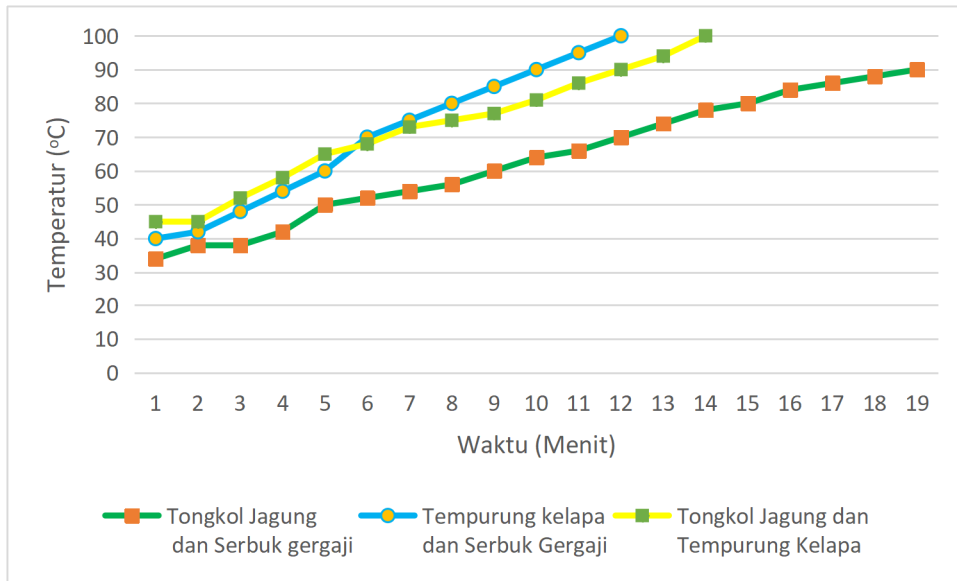
- 1) Perbandingan Temperature Pendidihan Air pada Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa (**Pengujian 1 : 1**)



Gambar 4.2 Perbandingan Temperature Pendidihan Air pada Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa (**Pengujian 1 : 1**)

Gambar 4.2 menunjukkan grafik perbandingan temperatur pendidihan air pada bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa pada pengujian 1 : 1. Dari gambar grafik di atas di ketahui bahwa waktu tercepat untuk menaikkan temperatur sampai 100 °C atau mencapai titik didih adalah dengan menggunakan bahan bakar tempurung kelapa dan tongkol jagung yaitu dengan waktu 11 menit, untuk bahan bakar tempurung kelapa dan serbuk gergaji mampu menaikkan temperature 100 °C dengan waktu 16 menit dan untuk bahan bakar tongkol jagung dan serbuk gergaji mampu menaikkan temperature 100 °C di perlukan waktu selama 18 menit.

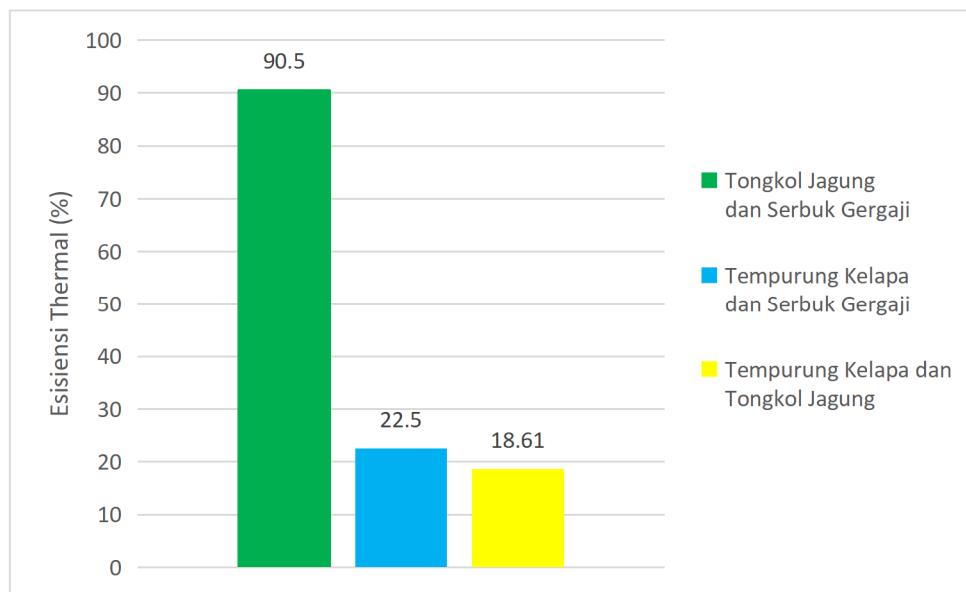
2) Perbandingan Temperature Pendidihan Air pada Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa (**Pengujian 1 : 2**)



Gambar 4.3 Perbandingan Temperature Pendidihan Air pada Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa (**Pengujian 1 : 2**)

Gambar 4.3 menunjukkan grafik perbandingan temperatur pendidihan air pada bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa pada pengujian 1 : 2. Dari gambar grafik di atas di ketahui bahwa waktu tercepat untuk menaikkan temperatur sampai 100 °C atau mencapai titik didih adalah dengan menggunakan bahan bakar tempurung kelapa dan serbuk gergaji yaitu dengan waktu 12 menit, untuk bahan bakar tongkol jagung dan tempurung kelapa mampu menaikkan temperature 100 °C dengan waktu 14 menit dan untuk bahan bakar tongkol jagung dan serbuk gergaji mampu menaikkan temperature 100 °C di perlukan waktu selama 19 menit.

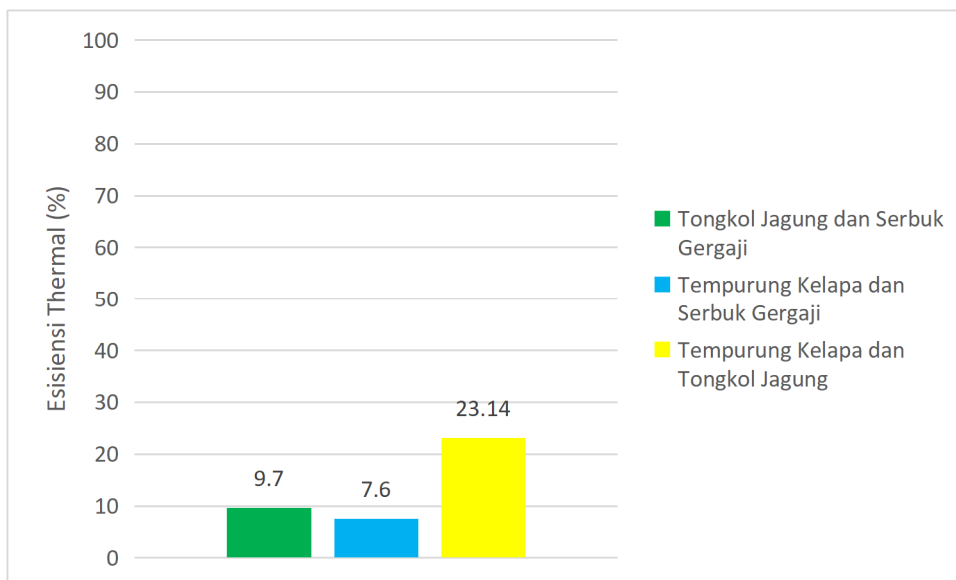
3) Perbandingan Efisiensi Thermal Pemanas pada Bahan Bakar Tongkol Jagung, Serbuk Gergaji dan Tempurung Kelapa pada Metode Pengujian 1 : 1



Gambar 4.4 Perbandingan Efisiensi Thermal Pemanas pada Bahan Bakar Tongkol Jagung, Serbuk Gergaji dan Tempurung Kelapa pada Metode Pengujian 1 : 1

Gambar 4.4 Menunjukkan perbandingan efisiensi thermal pemanas pada bahan bakar tongkol jagung, serbuk gergaji dan tempurung kelapa pada metode pengujian 1 : 1. Dari gambar di ketahui bahwa efisiensi thermal tiap-tiap percobaan berbeda, pada percobaan dengan menggunakan bahan bakar tempurung dan tongkol jagung merupakan efisiensi thermal dengan nilai terendah yaitu 18,6% kemudian pada percobaan dengan menggunakan bahan bakar tempurung kelapa dan serbuk gergaji memiliki nilai efisiensi yaitu 22,5% dan untuk percobaan dengan menggunakan bahan bakar tongkol jagung dan serbuk gergaji memiliki nilai efisiensi thermal terbesar yaitu 90,5%. Sehingga efisiensi thermal terbesar adalah pada percobaan dengan menggunakan bahan bakar tongkol jagung dan serbuk gergaji yaitu 90,5%. Hal ini di pengaruhi oleh nyala efektif yang lebih lama, sehingga kalor yang di gunakan untuk pendidihan air lebih besar.

4) Perbandingan Efisiensi Thermal Pemanas pada Bahan Bakar Tongkol Jagung, Serbuk Gergaji dan Tempurung Kelapa pada Metode Pengujian 1 : 2



Gambar 4.5 Perbandingan Efisiensi Thermal Pemanas pada Bahan Bakar Tongkol Jagung, Serbuk Gergaji dan Tempurung Kelapa pada Metode Pengujian 1 : 2

Gambar 4.5 Menunjukkan perbandingan efisiensi thermal pemanas pada bahan bakar tongkol jagung, serbuk gergaji dan tempurung kelapa pada metode pengujian 1 : 2. Dari gambar di ketahui bahwa efisiensi thermal tiap-tiap percobaan berbeda, pada percobaan dengan menggunakan bahan bakar tempurung kelapa dan serbuk gergaji merupakan efisiensi thermal dengan nilai terendah yaitu 7,6% kemudian pada percobaan dengan menggunakan bahan bakar tongkol jagung dan serbuk gergaji memiliki nilai efisiensi yaitu 9,7% dan untuk percobaan dengan menggunakan bahan bakar tempurung kelapa dan tongkol jagung memiliki nilai efisiensi thermal terbesar yaitu 23,14%. Sehingga efisiensi thermal terbesar adalah pada percobaan dengan menggunakan bahan bakar tongkol jagung dan serbuk gergaji yaitu 90,5%. Hal ini di pengaruhi oleh nyala efektif yang lebih lama, sehingga kalor yang di gunakan untuk pendidihan air lebih besar.

4.11 Pengembangan pada alat

Pengembangan yang dilakukan pada penelitian saat ini adalah melakukan pengembangan pada :

- 1) Material yang digunakan pada penelitian sebelumnya adalah material berupa drum baja (*steel drum*), maka pada penelitian yang terbaru ini penulis mengganti bahan drum baja menjadi baja S45C karbon, dengan sifat mekanis yang seimbang, serta pengantaran panas yang lebih baik, serta memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi sehingga memberikan kekuatan dan kekerasan yang lebih baik dibandingkan baja karbon rendah, ini menjadikannya lebih tahan terhadap tekanan.
- 2) Alat ukur, pada penelitian sebelumnya alat ukur yang digunakan masih berupa alat ukur analog, maka pada penelitian ini penulis melakukan pengembangan yaitu mengganti alat ukur analog ke alat ukur digital, berupa sensor suhu termokopel yang memudahkan dalam pembacaan data, serta tingkat akurasi yang lebih akurat dibandingkan dengan alat ukur analog.
- 3) Penambahan mikrokontroler berupa arduino uno, dimana pada penelitian sebelumnya tidak ada, maka pada penelitian terbaru ini penulis menambahkan arduino uno untuk mengontrol sensor dan layar display yang ada agar mudah dalam membaca data.

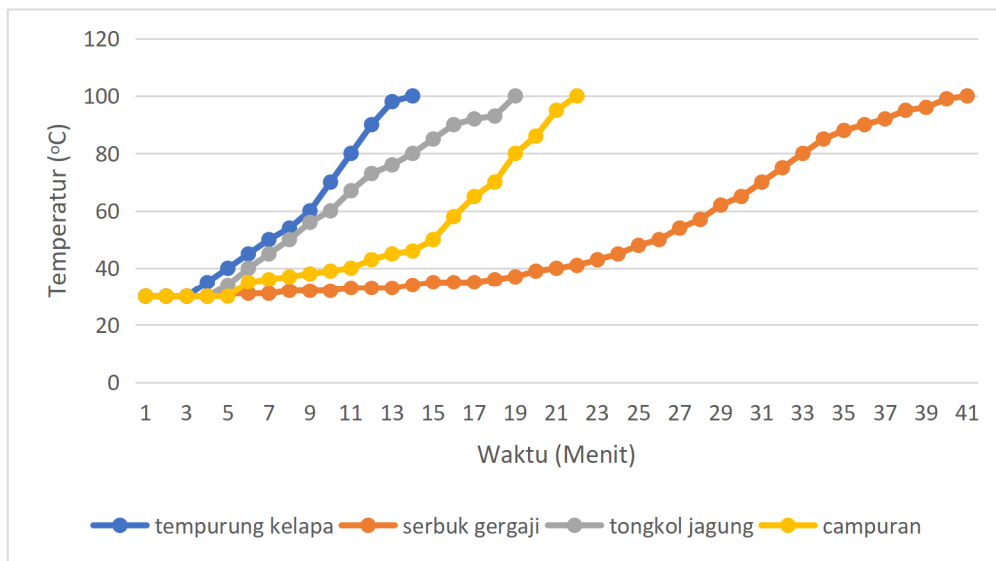
4.12 Kelebihan alat yang dulu dan sekarang

Beberapa kelebihan alat yang baru dibandingkan yang lama:

- 1) Pembacaan data yang lebih mudah dan akurat.
- 2) Menggunakan material yang lebih kuat.

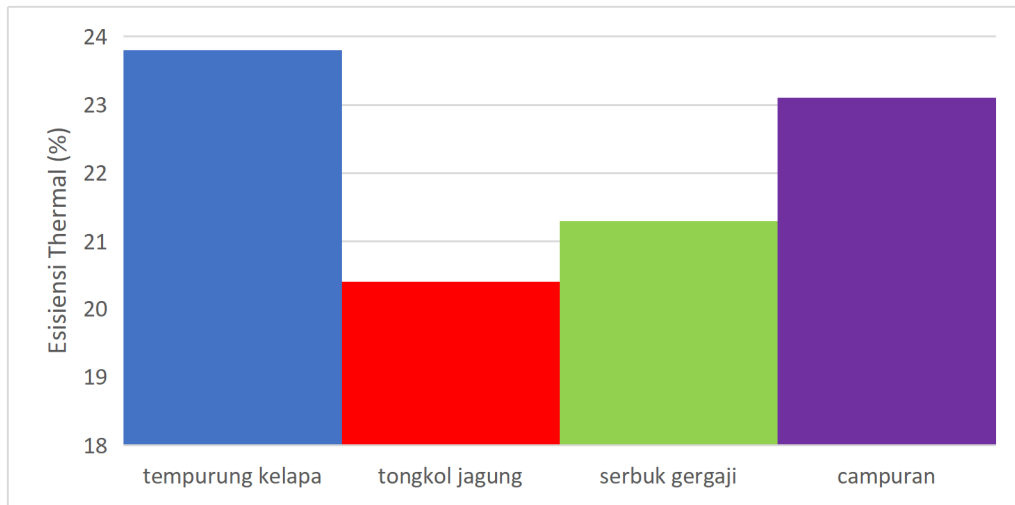
4.13 Perbandingan hasil penelitian terdahulu dan terbaru

- 1) Grafik perbandingan temperatur pendidihan air pada tempurung kelapa, serbuk gergaji, tongkol jagung, dan campuran.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan temperatur pendidihan air pada tempurung kelapa, serbuk gergaji, tongkol jagung, dan campuran.

- 2) Grafik perbandingan efisiensi thermal tungku pada bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung, tempurung kelapa, dan campuran.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan efisiensi thermal tungku pada bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung, tempurung kelapa, dan campuran

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Rancang bangun alat tungku biomassa sebagai pemanas air dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa berhasil dibuat dimulai dari mendesain alat. Selanjutnya dilakukan pembuatan alat yang terdiri dari ruang bakar dan ruang pemanas. dengan alat ukur yaitu sensor suhu 3 berupa sensor bahan bakar, sensor suhu pembakaran dan sensor suhu air.
- 2) Potensi pemanfaatan bahan bakar biomassa seperti serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa dalam meningkatkan efisiensi thermal pemanas air sebagai energi terbarukan dalam penggunaannya dapat dilihat pada penggunaan bahan bakar tongkol jagung dan serbuk gergaji yang merupakan efisiensi thermal tertinggi sehingga sesuai untuk di gunakan sebagai energi alternatif terbarukan.

- 3) Efisiensi thermal terbesar adalah pada percobaan 1 : 1 yaitu 90,5% menggunakan bahan bakar tongkol jagung dan serbuk gergaji. Sedangkan efisiensi thermal pada percobaan 1 : 2 dengan menggunakan bahan bakar tempurung kelapa dan tongkol jagung dengan nilai efisiensi thermal 23,14%.

5.2 Saran

- 1) Untuk penelitian selanjutnya di harapkan untuk memperhatikan keluaran pada alat berupa asap karena pada penelitian ini saat pengambilan data asap yang di hasilkan sangat banyak dan menyebar kemana-kemana sehingga mengakibatkan adanya polusi udara.



DAFTAR PUSTAKA

- Choirul Anwar Ilham. (2021). Apa itu Biomassa & Jenisnya: Pengertian Biogas, Ethanol, Biodiesel. Diakses dari <https://tirto.id/apa-itu-biomassa-jenisnya-pengertian-biogas-ethanol-biodiesel-gbck> pada Desember 2023.
- Chy Ana. (2015). 9 Manfaat Biomassa Bagi Lingkungan. Diakses dari <https://manfaat.co.id/manfaat-biomassa/amp> pada Desember 2023.
- Direktorat Jendral Pendidikan Vokasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2023). Mengenal Biomassa: 3 Energi Alternatif Ramah Lingkungan Menurut SMKN 5 Kupang. Diakses dari <https://www.vokasi.kemdikbud.go.id/read/b/mengenal-biomassa-3-energialternatif-ramah-lingkungan-menurut-smkn-5-kupang> pada Desember 2023.
- Egindo. (2021). Batubara. Diakses dari <https://egindo.com/tag/batubara/paged-2/2/> pada Desember 2023.
- Elga Aris Prastyo. (2022). Berbagai Macam Sensor Arduino Beserta Fungsinya. Diakses dari <https://www.arduinoindonesia.id/2022/11/berbagai-macam-sensor-arduino-beserta-fungsinya.html> pada Desember 2023.
- Fadhilla Alya. (2023). Mengenal Pengertian Biomassa, Jenis, Manfaat, dan Contohnya. Diakses dari <https://solarindustri.com/blog/pengertian-biomassa/> pada Desember 2023.
- Jeni & fajri. (2021). Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrit Panel Surya dan Termoelektrik Generator pada Perkebunan Bawang Merah. Dari Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Kamalina, Annasa Rizki. (2021). Apa Arti Energi Fosil dan Jenis-Jenisnya. Jakarta
- Mahardhika dan Ratna Dewi Farida. (2014). Analisis Pengembangan Usaha Pemanfaatan Limbah Bonggol Jagung Menjadi Produk Kerajinan Multiguna. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Megajaya. (2021). 14 Jenis-jenis Baja Yang Banyak Digunakan Di Industri. Diakses dari <https://www.megajaya.co.id/jenis-jenis%20baja/> pada Desember 2023.
- R Rahma. (2021). Pengertian Sumber Energi dan Jenis-Jenisnya. Diakses dari <https://www.gramedia.com/literasi/pengertian-remaja/> pada Desember 2023.
- Rakhoh. (2022). Importance and Advantages of Insulation In Steam Boilers. <https://rakhoh.com/en/importance-and-advantages-of-insulation-in-steam-boilers/> pada Desember 2023.

Tilman, D. (1981). Wood Combustion: Principle, Processes, and Economics. A Subsidiary of Harcourt Brace *jovanovich*, Publishers. New York London Toronto Sydney San Francisco.

Troxell. (1998). The Testing of Engineering Materials Edisi 4. Penerbit Mc Graw Hill. New York. Dowling, N,E, 1991, Mechanical Behaviour of Material, Prentice, New Jersey.



L

A

M

P

I

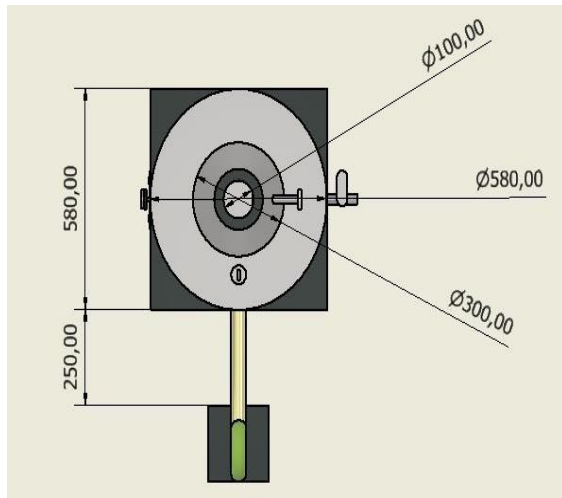
R

A

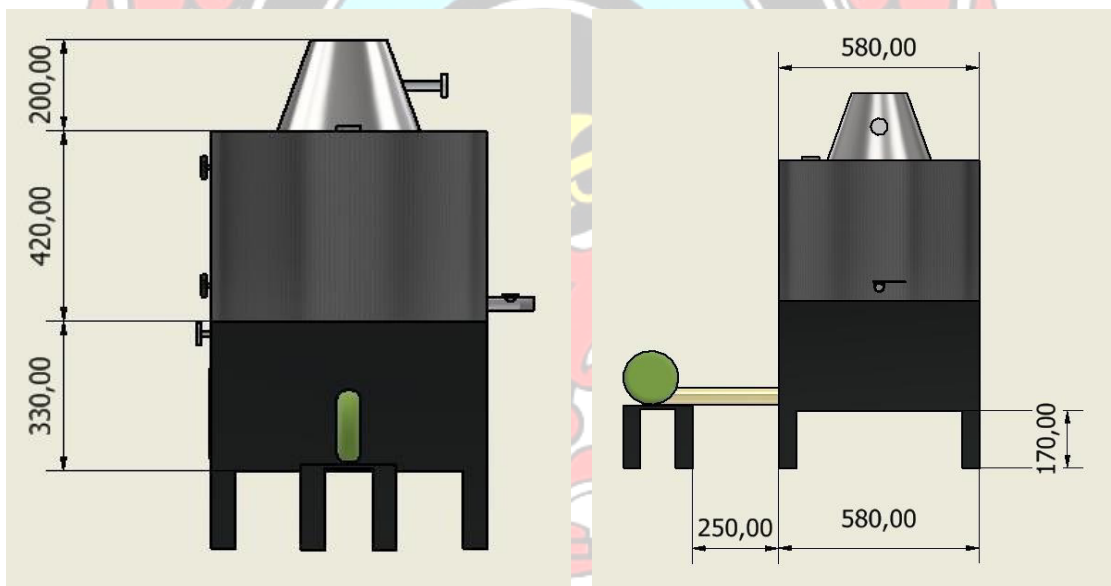
N



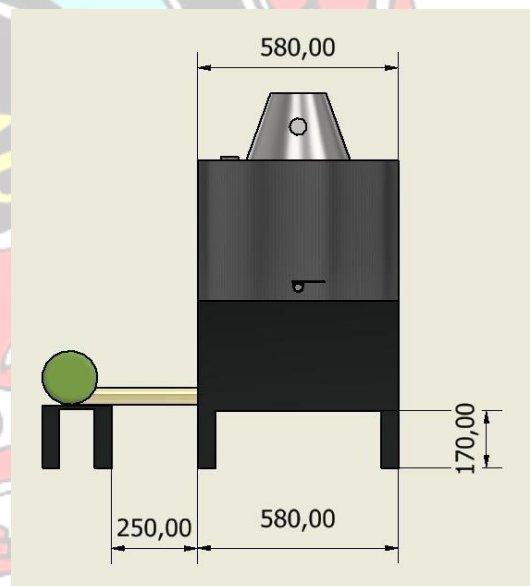
Lampiran 1 Dimensi alat pemanas air



(a)



(b)



(c)

Alat pemanas biomassa (a) Tampak atas (b) Tampak depan (c) Tampak samping

Lampiran 2 Listing Program

```
#include "MAX6675.h"
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Define the I2C address of the LCD (usually 0x27 or 0x3F)
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); // Adjust the address if necessary

const int dataPin = 7; // SO
const int clockPin = 6; // SCK
const int selectPin = 5; // CS

const int dataPin1 = 8; // SO
const int clockPin1 = 9; // SCK
const int selectPin1 = 10; // CS

const int dataPin2 = 2; // SO
const int clockPin2 = 4; // SCK
const int selectPin2 = 3; // CS

MAX6675 thermoCouple(selectPin, dataPin, clockPin);
MAX6675 thermoCouple1(selectPin1, dataPin1, clockPin1);
MAX6675 thermoCouple2(selectPin2, dataPin2, clockPin2);

uint32_t start, stop;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println(_FILE_);
  Serial.print("MAX6675_LIB_VERSION: ");
  Serial.println(MAX6675_LIB_VERSION);
  Serial.println();
  delay(250);

  // Initialize SPI
  SPI.begin();

  // Initialize thermocouples
  thermoCouple.begin();
  thermoCouple.setSPISpeed(4000000);
  thermoCouple1.begin();
  thermoCouple1.setSPISpeed(4000000);
  thermoCouple2.begin();
  thermoCouple2.setSPISpeed(4000000);
}
```

```

// Initialize the LCD
lcd.init();
lcd.backlight(); // Turn on the backlight
lcd.clear();    // Clear the screen
}

void loop() {
  delay(100);

  // Read temperature from the first thermocouple
  start = micros();
  int status = thermoCouple.read();
  stop = micros();
  float temp = thermoCouple.getTemperature();

  // Read temperature from the second thermocouple
  int status1 = thermoCouple1.read();
  float temp1 = thermoCouple1.getTemperature();

  // Read temperature from the third thermocouple
  int status2 = thermoCouple2.read();
  float temp2 = thermoCouple2.getTemperature();

  // Display temperatures on the Serial Monitor
  Serial.print(millis());
  Serial.print("\tstatus: ");
  Serial.print(status);
  Serial.print("\ttemp: ");
  Serial.print(temp);
  Serial.print("\tus: ");
  Serial.println(stop - start);

  Serial.print("\tstatus1: ");
  Serial.print(status1);
  Serial.print("\ttemp1: ");
  Serial.println(temp1);

  Serial.print("\tstatus2: ");
  Serial.print(status2);
  Serial.print("\ttemp2: ");
  Serial.println(temp2);

  // Display temperatures on the LCD
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0); // First row
  lcd.print("T1:");

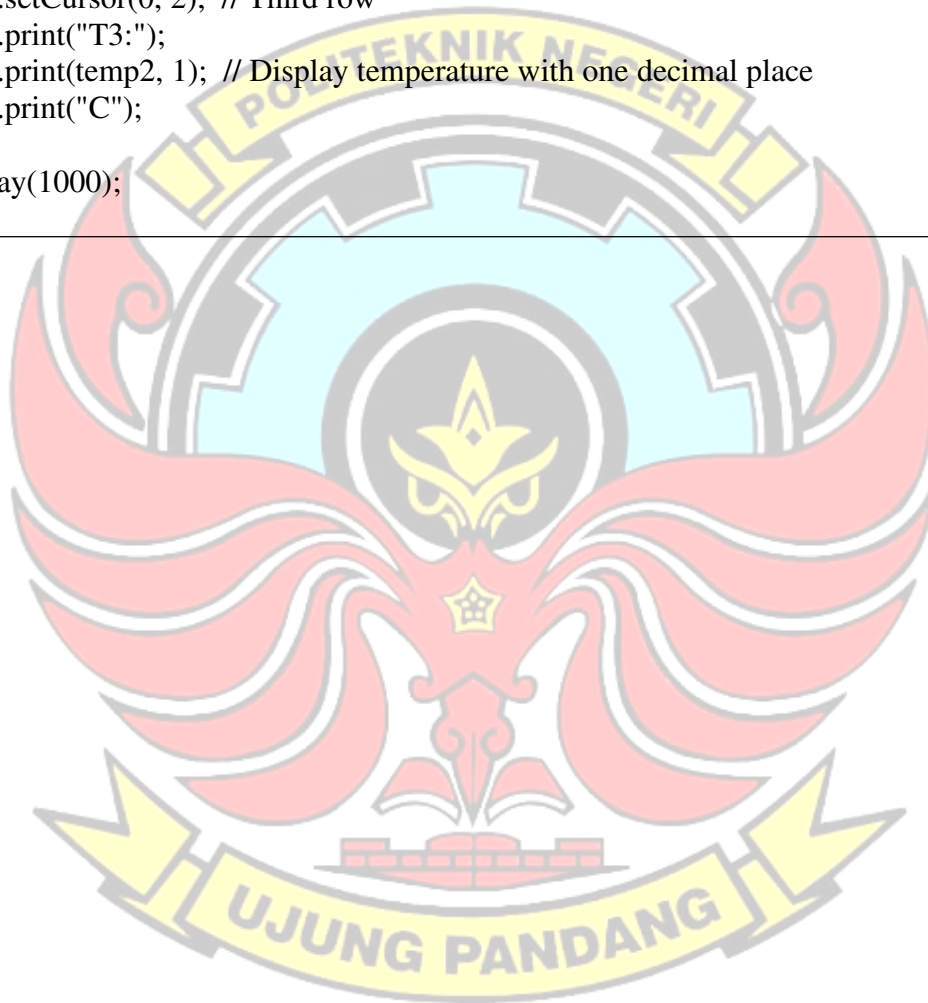
```

```
lcd.print(temp, 1); // Display temperature with one decimal place
lcd.print("C");

lcd.setCursor(0, 1); // Second row
lcd.print("T2:");
lcd.print(temp1, 1); // Display temperature with one decimal place
lcd.print("C");

lcd.setCursor(0, 2); // Third row
lcd.print("T3:");
lcd.print(temp2, 1); // Display temperature with one decimal place
lcd.print("C");

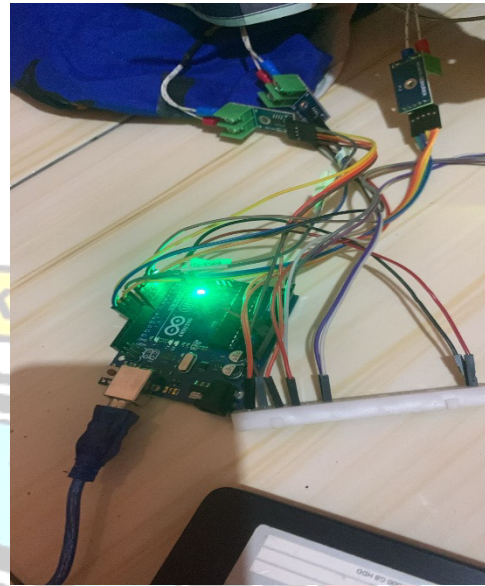
delay(1000);
}
```



Lampiran 3 Dokumentasi kegiatan



Hasil pembuatan rangka



Proses pembuatan program



Hasil pengelasan



Proses pengujian program



Proses pengujian alat



Proses pengujian alat



Hasil pengecatan alat


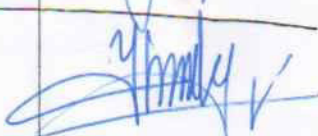




Proses pembakaran bahan bakar
didalam ruang bakar

**LAMPIRAN BERITA ACARA PELAKSANAAN
UJIAN SIDANG LAPORAN TUGAS AKHIR**

Nama : Fika Febrianti Agus/Muhammad Iqbal Yasin/Musyawirhusdin
NIM : 34221010/34221020/34221041

Catatan/Daftar Revisi Penguji :

No.	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1.	Ayu Fitriah S. M.Eng	<ul style="list-style-type: none"> • perhatikan petunjuk penulisan & EFD. • perbaiki antara flow chart & tabel. 	30/09/2024 
2.	Y. Rin Klistafani M.T	• sesuai draft Revisi yg ada.	
3.	Abdul Rahma M.T	sesuai draft Revisi yg ada	
4.	Prof. A.M. Shiddiq Yunus	<ul style="list-style-type: none"> - Jelaskan, pengembangan apa - Jelaskan kelebihan yg dulu & sekarang - Perbandingan Hasil dulu & sekarang 	30/09/24 

Makassar, 26 September 2024
Ketua Ujian Sidang,



Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.
NIP 197808042001121001