

**RANCANG BANGUN ALAT TUNGKU BIOMASSA SEBAGAI
PEMANAS AIR DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR
SERBUK GERGAJI, TONGKOL JAGUNG DAN TEMPURUNG
KELAPA**



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

LISA IRAYANTI S

342 19 008

SULFIKAR. S

342 19 019

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2022

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun Alat Tungku Biomassa Sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Togkol Jagung dan Tempurung Kelapa” oleh Lisa Irayanti S NIM 342 19 008 dan Sulfikar. S NIM 342 19 019 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya pada Program Studi D3 Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2022

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Sri Suwasti, S.ST., M.T.
NIP. 19741123 200112 2 001



Musrady Mulyadi, S.ST., M.T.
NIP. 19720201 200112 1 002

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin,




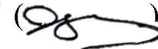




Rendi Nur, S.ST., M.T., Ph.D.
NIP. 19741106 200212 1 002

HALAMAN PENGESAHAN

Pada hari ini, tim penguji laporan tugas akhir telah menerima hasil ujian sidang laporan tugas akhir oleh mahasiswa Lisa Irayanti S NIM 342 19 008 dan Sulfikar. S NIM 342 19 019 dengan judul “Rancang Bangun Alat Tungku Biomassa Sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Togkol Jagung dan Tempurung Kelapa”.

Makassar, September 2022

Tim Penguji Ujian Laporan Tugas Akhir:

- | | | |
|--|---------------|---|
| 1. Yiyin Klistafani, S.T., M.T. | Ketua | () |
| 2. A.M.Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. | Sekretaris | () |
| 3. Sonong, S.T., M.T. | Anggota I | () |
| 4. Dr. Jamal, S.T., M.T. | Anggota II | () |
| 5. Sri Suwasti, S.ST., M.T. | Pembimbing I | () |
| 6. Musrady Mulyadi, S.ST., M.T. | Pembimbing II | () |

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat Rahmat dan Karunia-Nyalah semata sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir penulis yang berjudul “Rancang Bangun Alat Tungku Biomassa Sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Togkol Jagung dan Tempurung Kelapa”. Tugas akhir ini disusun sebagai persyaratan kelulusan pada Program Studi Teknik Konversi Energi Diploma-3 Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis banyak mendapat saran, dorongan, dukungan serta keterangan-keterangan dari berbagai pihak yang merupakan pengalaman yang tidak dapat diukur secara materi. Oleh karena itu, dengan segala hormat dan kerendahan hati perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta dan seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan baik material maupun moral sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang, Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D.
3. Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D. selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Ibu Sri Suwasti, S.ST., M.T. selaku ketua Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

5. Ibu Sri Suwasti, S.ST., M.T. selaku dosen pembimbing I. dan Ibu Bapak Musrady Mulyadi, S.ST., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah banyak membantu dan membimbing dalam mengerjakan tugas akhir ini.
6. Para dosen dan seluruh staf Politeknik Negeri Ujung Pandang yang tidak disebutkan namanya satu persatu atas torehan ilmunya kepada penulis.
7. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2019 khususnya kelas 3A Teknik Konversi Energi atas kebersamaan dan kerjasama selama ini.
8. Seluruh teman-teman dan sahabat yang telah memberikan motivasi.
9. Semua pihak yang terlibat, tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa dalam tugasakhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mohon maaf dan sangat mengharapkan kritik serta masukan yang bersifat membangun bagi penulis.

Akhir kata semoga dapat bermanfaat bagi penulis, institusi pendidikan dan masyarakat luas. Aamiin.

Makassar, September 2022

Penulis

DAFTAR ISI

	Hlm
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
SURAT PERNYATAAN.....	xiii
RINGKASAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	16
1.1 Latar Belakang	16
1.2 Rumusan Masalah	18
1.3 Ruang Lingkup Kegiatan.....	19
1.4 Tujuan dan Manfaat Kegiatan.....	19
1.4.1 Tujuan Kegiatan.....	19
1.4.2 Manfaat Kegiatan.....	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	21
2.1 Energi Terbarukan.....	21
2.2 Biomassa.....	22
2.2.1 Pengertian Biomassa.....	22

2.2.2 Konversi Energi Biomassa	23
2.2.3 Pemanfaatan Energi Biomassa	24
2.2.4 Jenis-jenis biomassa	27
2.2.5 Potensi Limbah Biomassa	31
2.3 Pembakaran.....	33
2.4 Perpindahan Panas.....	34
2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi	34
2.4.2 Perpindahan panas Konveksi.....	35
2.4.3 Perpindahan Panas Radiasi.....	36
2.5 Tungku Pembakaran.....	37
2.6 Dapur Tradisional.....	38
2.7 Blower.....	39
BAB III METODE KEGIATAN.....	41
3.1 Tempat dan Waktu Kegiatan.....	41
3.2 Alat dan Bahan.....	41
3.3 Prosedur / Langkah Kerja	42
3.3.1 Studi Literatur	42
3.3.2 Tahap Perancangan	42
3.3.3 Tahap Pembuatan dan Perakitan Alat	45
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	46
3.5 Teknik Pengolahan/Analisis Data	47
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	50
BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN	51
4.1 Hasil Rancang Bangun	51

4.2 Hasil Pengujian	52
4.2.1 Data Kuantitatif.....	52
4.3 Hasil Analisa Data.....	57
4.3.1 Perhitungan Data Tempurung Kelapa.....	57
4.3.2 Perhitungan Data Tongkol Jagung.....	59
4.3.3 Perhitungan Data Serbuk Gergaji	61
4.3.4 Perhitungan Data Campuran.....	63
4.4 Tabel Hasil Analisa Data	66
4.5 Grafik dan Pembahasan	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	73

DAFTAR GAMBAR

	Hlm.
Gambar 2.1 Batubara Merupakan Bahan Bakar Fosil Tidak Terbarukan	21
Gambar 2.2 Serbuk geraji	28
Gambar 2.3 Tongkol Jagung	30
Gambar 2.4 Batok Kelapa	31
Gambar 2.5 Dapur Tadisional	39
Gambar 3.1 Rancang Bangun Alat Tungku Biomassa sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Togkol Jagung dan Tempurung Kelapa.....	43
Gambar 3.2 Alat Tungku Biomassa Tampak Samping	44
Gambar 3.3 Alat Tungku Biomassa Tampak Depan	44
Gambar 3.4 Alat Tungku Biomassa Tampak Atas.....	45
Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian	50
Gambar 4.1 Hasil Rancang Bangun Alat Tungku Biomassa Sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Togkol Jagung dan Tempurung Kelapa	51
Gambar 4.2 Perbandingan Temperatur Pendidihan Air pada Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Tongkol Jagung, Tempurung Kelapa dan Campuran.....	67
Gambar 4.3 Perbandingan Efisiensi Thermal Tungku pada Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Tongkol Jagung, Tempurung Kelapa dan Campuran.....	68

DAFTAR TABEL

	Hlm
Tabel 2.1 Potensi Energi Biomassa	32
Tabel 3.1 Alat yang Akan digunakan Dalam Perancangan dan Pengujian	41
Tabel 3.2 Bahan-bahan yang digunakan Dalam Perancangan dan Pengujian..	42
Tabel 3.3 Nilai LHV Biomassa	49
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tempurung Kelapa, 17 Agustus 2022.....	52
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tongkol Jagung, 18 Agustus 2022.....	53
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, 19 Agustus 2022.....	54
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Campuran, 20 Agustus 2022.....	56
Tabel 4.5 Tabel perhitungan kalor sensibel air.	66
Tabel 4.6 Tabel perhitungan kalor laten air.	66
Tabel 4.7 Tabel Perhitungan efisiensi thermal tungku.	66

DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
Q_s	Kalor Sensibel Air	Kj
Q_L	Kalor Laten Air	Kj
C_p	Kalor Jenis Air	4.182 kg °C
ΔT	Perubahan Suhu	°C
T	Temperatur Air	°C
T	Temperatur Ruang Bakar	°C
m_a	Massa awal air	Kg
m_b	Massa akhir air	Kg
m_{uap}	Massa Uap	Kg
t	Waktu	menit
h_{fg}	Enthalpi Penguapan	Kj/Kg
wf	Massa Bahan Bakar	Kg
LHV	Nilai Kalor Terendah Bahan Bakar	Kj/Kg
η_{th}	Efisiensi Thermal	%

DAFTAR LAMPIRAN

	Hlm
Lampiran 1 Tabel Hasil Analisis Data.....	74
Lampiran 2 Gambar Kerja.....	79
Lampiran 3 Dokumentasi Pembuatan.....	81
Lampiran 4 Dokumentasi Pengujian.....	86



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : LISA IRAYANTI S

NIM : 342 19 008

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam laporan Tugas Akhir ini yang berjudul judul **“Rancang Bangun Alat Tungku Biomassa Sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Togkol Jagung dan Tempurung Kelapa”** merupakan gagasan dan 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 telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 23 September 2022



LISA IRAYANTI S
NIM. 342 19 008

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : SULFIKAR. S

NIM: 342 19 019

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam laporan Tugas Akhir ini yang berjudul judul **“Rancang Bangun Alat Tungku Biomassa Sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Togkol Jagung dan Tempurung Kelapa”** merupakan gagasan dan 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 telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 23 September 2022



SULFIKAR. S
NIM. 342 19 019

RANCANG BANGUN ALAT TUNGKU BIOMASSA SEBAGAI PEMANAS AIR DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR SERBUK GERGAJI, TONGKOL JAGUNG DAN TEMPURUNG KELAPA

RINGKASAN

Bahan bakar merupakan sesuatu yang sangat penting bagi kehidupan. Sekarang ini masih banyak digunakan bahan bakar fosil dalam memenuhi kebutuhan, akan tetapi perlu diketahui bahwa bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (*non renewable*). Untuk itu perlu adanya alternatif lain untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Maka dari itu penulis membuat alat untuk menguji beberapa biomassa yang dapat dijadikan alternatif lain untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Tujuan Penelitian ini yaitu menghasilkan alat yang dapat memanaskan air dengan menggunakan bahan bakar biomassa.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui waktu pendidihan air pada variasi bahan bakar yaitu bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui besarnya efisiensi thermal tungku. Penelitian ini diawali dengan perancangan lalu dilanjutkan dengan tahap perakitan. Pengumpulan data dilakukan dengan pengujian alat, dan kemudian data dianalisis untuk mengetahui efisiensi thermal tungku.

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan temperatur pendidihan air dan efisiensi dari setiap bahan bakar berbeda-beda. pada pengujian bahan bakar tempurung kelapa dihasilkan waktu pendidihan air 13 menit dan efisiensi thermal 23,8 %, pada bahan bakar tongkol jagung waktu pendidihan air 18 menit dan efisiensi thermal 20,4 %, pada bahan bakar serbuk gergaji waktu pendidihan air 40 menit dan efisiensi thermal 21,3 %, dan pada bahan bakar campuran waktu pendidihan air 21 menit dan efisiensi thermal 23,1 %.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar merupakan sesuatu yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Hampir setiap manusia memerlukan bahan bakar untuk memenuhi kebutuhan dan menunjang kegiatannya, misal kegiatan memasak dalam kebutuhan rumah tangga. Sekarang ini masih banyak digunakan bahan bakar fosil atau bahan bakar minyak (BBM) dalam memenuhi kebutuhan, akan tetapi perlu diketahui bahwa bahan bakar fosil atau bahan bakar minyak (BBM) merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Untuk itu perlu adanya alternatif lain untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil atau bahan bakar minyak (BBM). Minyak bumi masih akan mendominasi energi primer dunia hingga tahun 2050, berdasarkan IMF sampai tahun 2035 dunia masih tergantung akan bahan bakar fosil. Indonesia menjadi salah satu konsumen energi terbesar didunia, meskipun Indonesia adalah negara penghasil energi, namun Indonesia juga merupakan salah satu cikal bakal negara konsumen energi terbesar dunia (Wacik, 2012).

Salah satu pengembangan bahan bakar alternatif sekarang ini yaitu energi yang berasal dari bahan-bahan organik yang tersedia di alam, karena sumber daya alam tersebut dapat diperbaharui. Salah satu bahan organik tersebut adalah limbah biomassa berupa sekam padi, batok kelapa, tongkol jagung dll yang keberadaannya banyak dijumpai dilingkungan sekitar.

Selain itu masyarakat juga masih kurang dalam pemanfaatannya sebagai energi alternatif pengganti bahan bakar fosil atau bahan bakar minyak (BBM).

Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi) karena beberapa sifatnya yang menguntungkan yaitu, dapat dimanfaatkan secara lestari karena sifatnya yang dapat diperbaharui (renewable resources), relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian (Ndraha, 2009).

Pembakaran adalah reaksi kimia apa saja yang menghasilkan cahaya dan kalor, khususnya persenyawaan yang cepat antara oksigen dengan setiap zat. Biasanya pembakaran hanya berkaitan dengan api, namun pembakaran meliputi banyak reaksi kimia lain, misalnya gas hidrogen terbakar oleh kalor, atau terbakarnya zat apa saja dalam kalor (Anonymous, 2015).

Konversi biomassa menjadi energi panas dengan cara pembakaran langsung dalam tungku dapat mencapai efisiensi sekitar 40 %. Bentuk biomassa dimana makin besar kandungan zat arang per satuan bobotnya, makin baik fungsi bahan tersebut sebagai bahan bakar. Akan tetapi besar kecilnya energi pembakaran dipengaruhi pula oleh beberapa faktor lain seperti (Abdullah, dkk., 1998):

- a. Sempurna atau tidaknya pembakaran berlangsung; artinya semua zat arang dan oksigen bereaksi menjadi CO₂.

- b. Terjadinya pembakaran habis (*complete combustion*) dimana bahan bakar terbakar habis tetapi zat oksigen yang diperlukan untuk pembakaran tidak semuanya bereaksi menjadi CO₂.

Pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar dalam kehidupan sehari-hari masih terbilang kurang karena rata-rata sekarang pembakaran banyak menggunakan bahan bakar cair dan gas 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 **“Rancang Bangun Alat Tungku Biomassa Sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa”**.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana cara membuat rancang bangun alat tungku biomassa sebagai pemanas air dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa?
2. Bagaimana pengaruh bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa terhadap waktu pendidihan air?

3. Berapa nilai efisiensi thermal rancang bangun alat tungku biomassa sebagai pemanas air dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa?

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. Obyek penelitian alat adalah memanaskan air.
4. Pengaruh tekanan udara diabaikan.
5. 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:

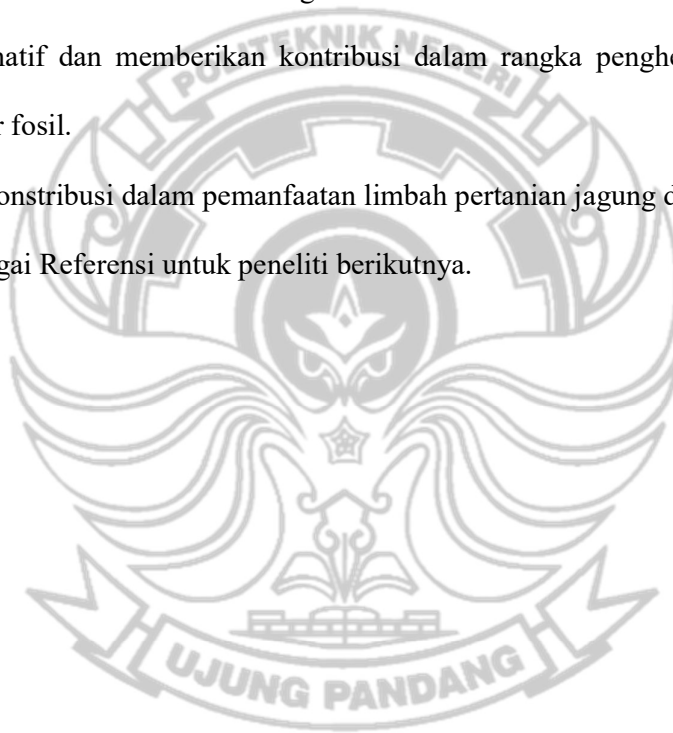
1. Untuk menghasilkan alat tungku biomassa sebagai pemanas air dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa.
2. Untuk mengetahui pengaruh bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa terhadap waktu pendidihan air?

3. Untuk mengetahui efisiensi termal alat tungku biomassa sebagai pemanas air dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa.

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.
3. Sebagai Referensi untuk peneliti berikutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan

Sebelum mengenal bahan bakar fosil, manusia sudah menggunakan biomassa sebagai sumber energi, contohnya menggunakan kayu untuk menyalakan api unggun. Sejak manusia berpindah dari pada minyak, gas bumi, atau batu bara untuk menghasilkan tenaga, penggunaan biomassa mulai tergeser dari kehidupan (Arhamsyah, 2010). Namun penggunaan energi fosil yang tinggi dan tidak dibarengi dengan trobosan energi terbarukan membuat manusia mengalami krisis energi. Hal ini disebabkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang sangat tinggi.



Gambar 2.1 Batubara Merupakan Bahan Bakar Fosil Tidak Terbarukan
(Sumber: Tia, 2020)

Energi terbarukan merupakan sumber energi alternatif yang akan menggeser dominasi peran energi fosil yang berasal dari minyak bumi, gas alam, dan batubara. Sumberdaya energi terbarukan berasal dari energi surya, angin, hidro,

panas bumi, biomassa, laut dan perairan (*marine and ocean*). Upaya menggeser itu disebabkan energi fosil semakin berkurang, dan memerlukan investasi yang lebih mahal, kepedulian pada perubahan global serta ada resiko lingkungan yang harus ditanggung untuk mendapatkan energi fosil. Ketiga hal ini merupakan tujuan (*goal*) dari sebuah kebijakan untuk energi terbarukan (Komor P. dan M. Bazilian, 2005).

2.2 Biomassa

2.2.1 Pengertian Biomassa

Biomassa adalah suatu limbah benda padat yang bisa dimanfaatkan lagi sebagai sumber bahan bakar. Biomassa meliputi limbah kayu, limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah hutan, komponen organik dari industri dan rumah tangga. Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi) karena beberapa sifatnya yang menguntungkan yaitu sumber energi ini dapat dimanfaatkan secara lestari karena sifatnya yang dapat diperbaharui (*renewable resources*), sumber energi ini relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian (Syafi'I, 2003 dalam Sinurat, 2011).

Biomassa adalah material atau bahan yang berasal dari tanaman, tumbuhan atau limbah pertanian yang digunakan sebagai sumber bahan bakar. Secara umum, sumber potensial biomassa diperoleh dari kayu, jagung, beras, minyak kelapa sawit dan ampas tebu. Secara umum, biomassa adalah bahan yang dapat diperoleh secara

langsung atau tidak langsung dari tanaman dan digunakan sebagai energi atau material dalam jumlah yang besar

Biomassa, istilah dalam industri energi akan merujuk pada sumber bahan biologis yang hidup atau yang baru saja mati yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar atau untuk produksi industri. Biasanya, biomassa mengacu pada bahan tanaman yang disimpan untuk digunakan sebagai biofuel, tetapi juga dapat mencakup bahan tanaman atau hewan yang digunakan untuk menghasilkan serat, bahan kimia, atau panas. Biomassa juga dapat mencakup limbah biodegradable yang dapat dibakar sebagai bahan bakar, seperti jerami, sekam, tempurung kelapa, kluster kosong dan tempurung kelapa sawit, serta limbah dari kayu.

2.2.2 Konversi Energi Biomassa

Teknologi konversi biomassa tentu saja membutuhkan perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan menghasilkan perbedaan bahan bakar yang dihasilkan.

Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga yaitu pembakaran langsung, konversi termokimiawi dan konversi biokimiawi. Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa telah dapat langsung dibakar. Beberapa biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan didensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan. Konversi termokimiawi merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar. Sedangkan konversi biokimiawi merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar.

1. Pembakaran langsung

Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa dapat langsung dibakar. Beberapa biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan didensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan.

2. Konversi termokimiawi

Konversi termokimiawi merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar.

3. Konversi biokimiawi

Konversi biokimiawi merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar.

2.2.3 Pemanfaatan Energi Biomassa

1. Biobriket

Briket adalah salah satu cara yang digunakan untuk mengkonversi sumber energi biomassa ke bentuk biomassa lain dengan cara dimampatkan sehingga bentuknya menjadi lebih teratur. Briket yang terkenal adalah briket batubara namun tidak hanya batubara saja yang bisa dibuat menjadi briket. Contoh biomassa lain yang dibuat menjadi briket adalah sekam, arang sekam, serbuk gergaji, serbuk kayu, dan limbah-limbah biomassa yang lainnya. Pembuatan briket tidak terlalu sulit, alat yang digunakan juga tidak terlalu rumit. Banyak jenis-jenis mesin pengempa briket mulai dari yang manual, semi mekanis, dan yang memakai mesin.

2. Gasifikasi

Gasifikasi biomassa merupakan proses konversi bahan selulosa dalam suatu reaktor gasifikasi (*gasifier*) menjadi bahan bakar. Gas tersebut dipergunakan sebagai bahan bakar motor untuk menggerakkan generator pembangkit listrik. Gasifikasi merupakan salah satu alternatif dalam rangka program penghematan dan diversifikasi energi. Selain itu gasifikasi akan membantu mengatasi masalah penanganan dan pemanfaatan limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan. Ada tiga bagian utama perangkat gasifikasi, yaitu:

- a. unit pengkonversi bahan baku (umpan) menjadi gas, disebut reaktor gasifikasi
- b. unit pemurnian gas,
- c. unit pemanfaatan gas.

3. Pirolisis

Ada beberapa tingkatan proses pirolisis, yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer adalah pirolisis yang terjadi pada bahan baku (umpan), sedangkan pirolisis sekunder adalah pirolisis yang terjadi atas partikel dan gas/uap hasil pirolisis primer. Penting diingat bahwa pirolisis adalah penguraian karena panas lebih dari 150 °C, sehingga keberadaan O₂ dihindari pada proses tersebut karena akan memicu reaksi pembakaran.

4. Liquification

Proses perubahan wujud dari gas ke cairan dengan proses kondensasi, biasanya melalui pendinginan, atau perubahan dari padat ke cairan dengan peleburan, bisa juga dengan pemanasan atau penggilingan dan pencampuran dengan cairan lain untuk memutuskan ikatan. Pada bidang energi liquification terjadi pada batubara dan gas menjadi bentuk cairan untuk menghemat transportasi dan memudahkan dalam pemanfaatan.

5. Biokimia

Pemanfaatan energi biomassa yang lain adalah dengan cara proses biokimia, seperti hidrolisis, fermentasi, dan anaerobic digestion. Anaerobic digestion adalah penguraian bahan organik atau selulosa menjadi CH_4 dan gas lain melalui proses biokimia. Selain anaerobic digestion, proses pembuatan etanol dari biomassa tergolong dalam konversi biokimia. Biomassa yang kaya dengan karbohidrat atau glukosa dapat difermentasi sehingga terurai menjadi etanol dan CO_2 . Akan tetapi, karbohidrat harus mengalami penguraian (*hidrolisis*) terlebih dahulu menjadi glukosa. Etanol hasil fermentasi pada umumnya mempunyai kadar air yang tinggi dan tidak sesuai untuk pemanfaatannya sebagai bahan bakar pengganti bensin. Etanol ini harus didistilasi sedemikian rupa mencapai kadar etanol di atas 99.5%.

6. Densifikasi

Untuk meningkatkan manfaat biomassa dengan mudah adalah membentuk menjadi briket atau pellet. Briket atau pellet akan memudahkan dalam penanganan biomassa. Tujuannya adalah untuk meningkatkan densitas dan

memudahkan penyimpanan dan pengangkutan. Secara umum densifikasi (pembentukan briket atau pellet) mempunyai beberapa keuntungan. yaitu: menaikkan nilai kalor per unit volume, mudah disimpan dan diangkut, mempunyai ukuran dan kualitas yang seragam.

7. Karbonisasi

Proses untuk mengkonversi bahan organik menjadi arang. pada proses ini akan dilepaskan zat yang mudah terbakar seperti CO, CH₄, H₂, formaldehid, methana, formik dan acetil acid serta zat yang tidak terbakar seperti seperti CO₂, H₂O dan tar cair. Gas-gas yang dilepaskan pada proses ini mempunyai nilai kalor yang tinggi dan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan kalor pada proses karbonisasi.

2.2.4 Jenis-jenis biomassa

1. Serbuk geraji

Serbuk kayu gergaji merupakan salah satu jenis partikel kayu yang bobotnya sangat ringan dalam keadaan kering dan mudah diterbangkan oleh angin. Serbuk gergaji kayu itu sendiri dikenal sebagai limbah industri meubel yang banyak tertimbun dan cenderung menjadi sampah karena pemanfaatannya yang masih sedikit / relatif kecil, sehingga perlu ditangani secara serius. Selain itu, serbuk gergaji kayu hanya dimanfaatkan untuk sebagian kecil kebutuhan saja (Jauzi, 2014).



Gambar 2.3 Serbuk geraji
(Sumber: Annisaa Saraswati S. dan Fifit Astuti)

Pemanfaatan serbuk kayu menjadi alternatif baru untuk memperoleh beton serat karbon yang diperoleh dari pembakaran limbah serbuk kayu. Hasil pembakaran limbah serbuk kayu akan menghasilkan briket arang dan arang aktif yang mengandung karbon yang juga diharapkan dapat meningkatkan dan memperbaiki sifat mekanik dan sifat fisis beton yang jauh lebih baik dari beton yang tanpa bahan tambah tetapi tidak mengurangi mutu (Yusnita, 2009).

2. Kayu

Kayu merupakan hasil hutan dari kekayaan alam, merupakan bahan mentah yang mudah diproses untuk dijadikan barang sesuai kemajuan teknologi. Kayu memiliki beberapa sifat sekaligus, yang tidak dapat ditiru oleh bahan-bahan lain. Pengertian kayu disini ialah sesuatu bahan, yang diperoleh dari hasil pemungutan pohon-pohon di hutan, yang merupakan bagian dari pohon tersebut, setelah diperhitungkan bagian-bagian mana yang lebih banyak dimanfaatkan untuk sesuatu tujuan penggunaan. Baik berbentuk kayu pertukangan, kayu industri maupun kayu bakar (Dumanauw.J.F,1990).

Penggunaan kayu sebagai bahan bakar memberikan keuntungan yang lebih bila dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Keuntungan-keuntungan tersebut antara lain (Anonymous, 2004):

- Ketersediaannya melimpah Ketersediaan bahan ini pun bersifat relatif dan biasanya banyak terdapat di Indonesia karena kekayaan alamnya yang melimpah. Ini merupakan peluang bagi kita untuk mengembangkan kayu sebagai sumber energi lebih luas lagi. Sumber daya yang terbarukan (*renewable resources*)
- CO₂ yang disisakan dari proses pembakaran 90% lebih sedikit daripada pembakaran dengan bahan bakar fosil
- Mengandung lebih sedikit sulfur dan logam berat

3. Tongkol Jagung

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, di antaranya 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 ethanol 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 205°C (Mahardika dan Dewi, 2016).



Gambar 2.4 Tongkol Jagung
Sumber: (Kapita dkk, 2021)

4. Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa yang fungsinya secara biologis adalah pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabut dengan ketebalan berkisar antara 3–6 mm. Tempurung kelapa dikategorikan sebagai kayu keras tetapi mempunyai kadar lignin yang lebih tinggi dan kadar selulosa lebih rendah dengan kadar air sekitar enam sampai sembilan persen (dihitung berdasarkan berat kering) dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa (Tilman, 1981). Apabila tempurung kelapa dibakar pada temperatur tinggi dalam ruangan yang tidak berhubungan dengan udara maka akan terjadi rangkaian proses penguraian

penyusun tempurung kelapa tersebut dan akan menghasilkan arang, destilat, tar dan gas. Destilat ini merupakan komponen yang sering disebut sebagai asap cair (Pranata, 2008).

Tempurung kelapa termasuk golongan kayu keras dengan kadar air sekitar enam sampai sembilan persen (dihitung berdasar berat kering), dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa.



Gambar 2.5 Batok Kelapa
Sumber: (Kapita dkk, 2021)

2.2.5 Potensi Limbah Biomassa

Potensi limbah biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai energi pengganti bahan bakar fosil dan asal tanamannya ditunjukkan pada Tabel 2. Tanaman nomer 1-5 umumnya diproduksi oleh perkebunan milik swasta maupun milik negara. Tanaman nomer 6-8, umumnya diolah oleh rakyat dengan jumlah yang terbatas, sesuai kemampuan pengolah/rakyat. Berikut tabel Potensi energi biomassa di indonesia:

Tabel 2.1 Potensi Energi Biomassa

No	Jenis Tanaman	Jumlah Limbah (ton/tahun)	Energi Potensial (MWh)
1	Kelapa sawit		
	Tandan kosong	4.627.7444	6.427.422
	Cangkang	1.234.065	5.141.938
	Serabut	2.262.453	6.913.051
2	Tebu		
	Bagasse	8.068.416	17.257.445
3	Karet		
	Kayu karet	2.808.833	12.901.906
4	Kelapa		
	Cangkang	3.046.463	15.401.563
	Serabut	6.763.148	31.373.492
5	Kayu		
	Limbah kayu	8.345.932	19.473.841
6	Padi		
	Sekam padi	13.585.328	52.831.823
7	Ketela		
	Limbah ketela	7.322.800	36.980.140
8	Jagung		
	Limbah jagung	17.697.670	68.824.272
	TOTAL	84.873.553	268.610.875

Sumber: Irhan Febijanto, 2007

Dari tabel 2.1 diketahui total potensi energi yang bisa dihasilkan dari 8 jenis tanaman agro industri yakni sekitar 268.610.875 MWh. Dalam setahun energi ini

setara dengan energi yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik (capacity factor: 70%) dengan kapasitas 43.800 MW. Energi tersebut besarnya 3 kali lebih besar dibandingkan energi yang dibangkitkan oleh jaringan listrik sistem Jawa-Bali pada tahun 2004, yang tercatat sebesar 82.716.537 MWh. Dan potensi energi ini dapat menggantikan pemakaian BBM untuk HSD (High Speed Diesel) atau IDO (Industrial Diesel Oil) sejumlah 22.317 kton, sebuah jumlah yang sangat besar bagi penghematan pemakaian BBM.

2.3 Pembakaran

Menurut United Nation Environment Program dalam Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri di Asia (Tahun 2006) Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup. Oksigen (O₂) merupakan salah satu elemen bumi paling umum yang jumlahnya mencapai 20.9% dari udara. Bahan bakar padat atau cair harus diubah ke bentuk gas sebelum dibakar. Biasanya diperlukan panas untuk mengubah cairan atau padatan menjadi gas. Bahan bakar gas akan terbakar pada keadaan normal jika terdapat udara yang cukup. Sedangkan menurut Etna Rufiati. (2011) Kalor pembakaran, DH_c° (c = combustion) merupakan besarnya kalor yang dilepaskan pada reaksi pembakaran satu mol suatu unsur atau senyawa dalam keadaan standar. Berikut ini adalah contoh reaksi pembakaran.

Contoh: $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$ $DH_c^\circ = \text{kJ/mol}$

2.4 Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan disiplin ilmu yang mempelajari bagaimana panas dapat berpindah dari suatu benda ke benda lainnya melalui berbagai macam medium perambatan. Panas dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat lain akibat adanya perbedaan suhu. Dalam ilmu perpindahan panas, dikenal 3 (tiga) proses perpindahan panas dilihat dari medium perambatannya, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses dengan panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energy terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Menurut teori kinetik, suhu elemen suatu zat sebanding dengan energy kinetik rata-rata molekul –molekul yang membentuk elemen itu. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan positif relatif molekul-molekulnya disebut energi dalam. Jadi, semakin cepat molekul-molekul bergerak, semakin tinggi suhu maupun energi dalam elemen zat. Bila molekul- molekul di satu daerah memperoleh energi kinetik rata-rata yang lebih besar daripada yang dimiliki oleh molekul-molekul disuatu daerah yang berdekatan, sebagaimana diwujudkan oleh adanya beda suhu, maka molekul-molekul yang memiliki energy yang lebih besar itu akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul-molekul di daerah yang bersuhhu lebih rendah.

Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi penting pula dalam fluida fluida, tetapi di dalam medium yang bukan padat biasanya bergabung dengan konveksi (Frank Kreith dkk, 1997).

Jika media perpindahan panas konduksi berupa cairan, mekanisme perpindahan panas yang terjadi sama dengan konduksi dengan media gas, hanya kecepatan gerak molekul cairan lebih lambat daripada molekul gas. Tetapi jarak antara molekul-molekul pada cairan lebih pendek dari pada jarak antara molekul-molekul pada fase gas.

2.4.2 Perpindahan panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. (Frank Kreith dkk, 1997).

Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana mereka akan bercampur dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluidalainnya.

(Frank Kreith dkk, 1997). Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui 2 cara, yaitu:

1. Konveksi bebas/konveksi alamiah (*free convection/natural convection*)
Adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya. Contoh: plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.
2. Konveksi paksaan (*forced convection*) Adalah perpindahan panas yang aliran panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan adanya tenaga dari luar. Contoh: plat panas dihembus udara dengan kipas/blower.

2.4.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses dengan mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut. Panas radiasi dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk pak (*packet*) gelombang (kumpulan) energi yang terbatas. Gerakan panas radiasi di dalam ruang mirip perambatan cahaya dan dapat diuraikan dengan teori gelombang. Bilamana gelombang radiasi menjumpai benda yang lain, maka energi diserap di dekat permukaan benda tersebut. (Frank Kreith dkk, 1997).

Benda yang dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut radiator yang sempurna dan dikenal sebagai benda hitam (*black body*). Sedangkan benda yang tidak dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut dengan benda abu-abu (*gray body*). Benda hitam, emisitasnya berharga satu, sedangkan untuk benda abu-abu, nilai emisitasnya selalu lebih kecil dari satu (Luqman Buchori, 2004).

Ada beberapa sumber radiasi yang kita kenal di sekitar kehidupan kita, contohnya adalah televisi, lampu penerangan, alat pemanas makanan (*microwave oven*), komputer, dan lain-lain. Radiasi dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau disebut juga dengan foton adalah jenis radiasi yang tidak mempunyai massa dan muatan listrik. Misalnya adalah gamma dan sinar-X, dan juga termasuk radiasi tampak seperti sinar lampu, sinar matahari, gelombang microwave, radar dan handphone. (BATAN, 2008).

2.5 Tungku Pembakaran

Tungku pembakaran (*furnace*) adalah alat tempat terjadinya pembakaran suatu bahan bakar (padat, cair, dan gas) dimana gas hasil pembakaran tersebut dimanfaatkan panasnya untuk memanaskan suatu bahan. Tungku pembakaran (*Furnace*) berfungsi untuk memindahkan panas (kalor) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang berlangsung dalam suatu ruang pembakaran (*combustion chamber*) ke fluida yang dipanaskan dengan mengalirkannya melalui pipa-pipa pembuluh (*tube*). Tujuan dari pemindahan panas hasil pembakaran ke fluida adalah agar tercapai suhu operasi yang diinginkan pada proses berikutnya. Sumber panas Tungku pembakaran (*furnace*) berasal dari pembakaran antara bahan bakar padat, cair, dan gas dengan udara yang panasnya digunakan untuk memanaskan minyak mentah (*crude oil*) yang mengalir di dalam tube.

Furnace memiliki beberapa jenis atau tipe. Jenis-jenis furnace tersebut terdiri dari (Putri,2012):

- a. Tipe Box (*Box Furnace*) Dapur tipe box mempunyai bagian radiant dan konveksi yang dipisahkan oleh dinding batu tahan api yang disebut bridge wall.

Burner dipasang pada ujung dapur dan api diarahkan tegak lurus dengan pipa atau dinding samping dapur (api sejajar dengan pipa). Aplikasi dapur tipe box :

1. Beban kalor berkisar 60-80 MMBtu/Jam atau lebih.
2. Dipakai untuk melayani unit proses dengan kapasitas besar.
3. Umumnya bahan bakar yang dipakai adalah fuel oil.
4. Dipakai pada instalasi-instalasi tua, adakalanya pada instalasi baru yang mempunyai persediaan bahan bakar dengan kadar abu (*ash*) tinggi.

b. Tipe Silindris Tegak (*Vertical*) Tungku pembakaran (*Furnace*) tipe ini mempunyai bentuk konstruksi silinder dan bentuk alas (lantai) bulat. Tube dipasang vertical ataupun konikal. Burner dipasang pada lantai sehingga nyala api tegak lurus ke atas sejajar dengan dinding Tungku pembakaran (*Furnace*). Tungku pembakaran (*Furnace*) ini dibuat dengan atau tanpa ruang konveksi. Jenis pipa pemanas yang dipasang di ruang konveksi biasanya menggunakan finned tube yang banyak digunakan pada furnace dengan bahan bakar gas. Aplikasi dapur tipe silindris :

1. Digunakan untuk pemanasan fluida yang mempunyai perbedaan suhu antara inlet dan outlet tidak terlalu besar atau sekitar 2000F (900C).
2. Beban kalor berkisar antara 10 s.d. 200 gj/jam.
3. Umumnya dipakai pemanas fluida umpan reaktor.

2.6 Dapur Tradisional

Penggunaan bahan bakar biomassa pada dapur tradisional menimbulkan asap yang sangat banyak. Asap tersebut, bila terhirup dalam jumlah berlebih berpotensi menimbulkan gangguan fungsi pernafasan. Publikasi PBB menunjukkan bahwa

tiap tahun lebih dari 1 juta orang di dunia yang meninggal karena infeksi akut pernafasan yang disebabkan karena menghirup udara berasap di dapur. Dengan demikian penting sekali mendesain satu jenis kompor biomass yang efisien dan ramah lingkungan.



Gambar 2.5 Dapur Tadisional
Sumber: Ridwan, 2012

2.7 Blower

Blower adalah mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan tertentu juga sebagai pengisapan atau pemvakuman udara atau gas tertentu (Hadinata dkk, 2015). Kipas angin (*fan*) adalah perangkat mekanis yang digunakan untuk membuat aliran gas kontinu seperti udara. Dalam setiap sistem pendingin, yang menggunakan gas sebagai penghantar, kipas angin adalah unit wajib yang menciptakan aliran udara dalam system. Sistem ini dapat dilihat dalam kipas angin sederhana yang digunakan di rumah tangga. Ketika membutuhkan tekanan yang tinggi diperlukan blower yang digunakan sebagai pengganti kipas angin. Sehingga, Fan dapat menghasilkan aliran gas dengan sedikit tekanan dan volume gas yang lebih besar, sementara blower dapat menghasilkan rasio tekanan yang relative lebih

tinggi dengan volume aliran gas yang lebih besar (Hadinata dkk, 2015). Adapun jenis-jenis kipas angin (*fan*) antara lain:

1. Berdasarkan pengaturan kecepatannya

Berdasarkan pengaturan kecepatannya, *fan* ada yang memiliki kecepatan sehingga dapat diatur kecepatannya dan ada pula memiliki kecepatan konstan.

2. Berdasarkan desainnya

a. *Centrifugal fan*

Centrifugal fan adalah mesin yang digunakan untuk menggerakkan udara atau gas lainnya. *Fan* ini menaikkan kecepatan dari aliran udara dengan bagian berputarnya. *Fan* ini memanfaatkan energi kinetik dari kipasnya untuk menaikkan tekanan udara.

b. *Axial fan*

Axial fan memakai gaya poros untuk menggerakkan udara atau gas, berputar dengan poros utama dengan kipas yang dipasang secara tegak lurus dari diameter luar poros. *Axial fan* biasa digunakan pada sistem ventilasi silindrikal pendek, yang aliran masuk dan keluarnya dapat dihubungkan.

3. Berdasarkan Penempatannya

a. *Exhaust fan*

Exhaust fan adalah fan yang ditempatkan setelah komponen utamanya sehingga fungsinya untuk menarik udara/gas ke arah komponen tersebut.

b. *Blower fan*

Blower fan adalah fan yang ditempatkan sebelum komponen utamanya sehingga fungsinya untuk mendorong udara/gas ke arah komponen tersebut.

BAB III

METODE KEGIATAN

3.1 Tempat dan Waktu Kegiatan

Lokasi pembuatan dan pengujian rancangan bangun alat tungku biomassa sebagai pemanas air dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung dan tempurung kelapa dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Waktu pembuatan dan pengerjaan rancang bangun ini dilakukan selama 5 bulan mulai dari bulan Maret 2022 sampai dengan Juli 2022.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan dalam pembuatan alat sebagai berikut:

Tabel 3.1 Alat yang Akan digunakan Dalam Perancangan dan Pengujian

NO	Nama Alat	Jumlah	Satuan
1.	Mesin Las	1	Buah
2.	Gerinda	1	Buah
3.	Blower 2 inch	1	Buah
4.	Meteran	1	Buah
5.	Thermometer	2	Buah
6.	Barometer	1	Buah
7.	Stopwatch	1	Buah
8.	Spidol permanen	1	Buah
9.	Timbangan	1	Buah

Tabel 3.2 Bahan-bahan yang digunakan Dalam Perancangan dan Pengujian

No	Bahan	Jumlah	Satuan
1.	Besi Siku	12	Meter
2.	Drum	2	Buah
3.	Plat 1.45	1	Lembar
4.	Pipa Besi	30	Cm
5.	Katup	1	Buah
6.	Aluminium foil	2	Meter
7.	Serbuk Gergaji	15	Kg
8.	Tempurung Kelapa	15	Kg
9.	Tongkol Jagung	15	Kg
10.	Minyak Tanah	0.5	Liter
11.	Air	80	Liter
12.	Korek Api	1	Buah

3.3 Prosedur / Langkah Kerja

3.3.1 Studi Literatur

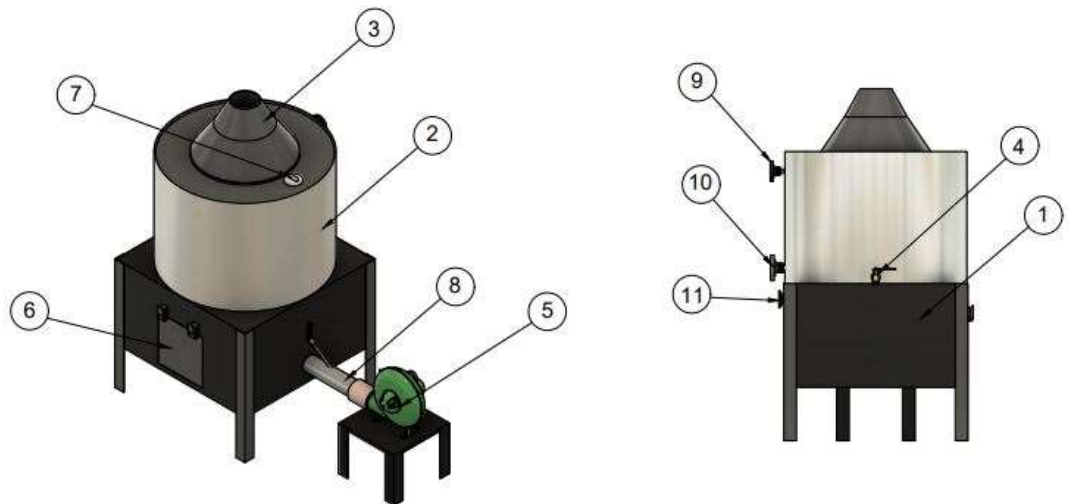
Tahap perencanaan dilakukan studi literatur mengenai sistem yang dibuat dengan tujuan mengumpulkan informasi agar memudahkan dalam pengerjaan rancang bangun.

3.3.2 Tahap Perancangan

Tahap perancangan merupakan proses mendesain alat dengan kata lain membuat pola rancangan alat yang merupakan langkah awal sebelum digunakan. Alat Tungku Biomassa sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Bahan Bakar

Serbuk Geraji, Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa dapat dilihat pada Gambar

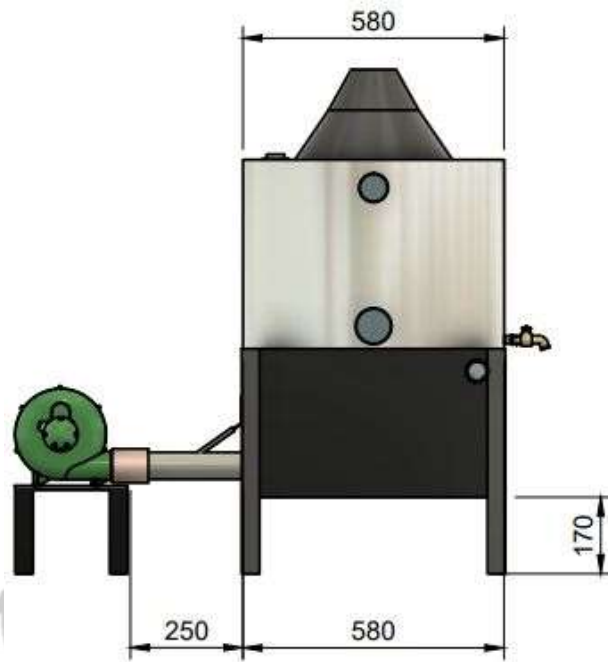
3.1



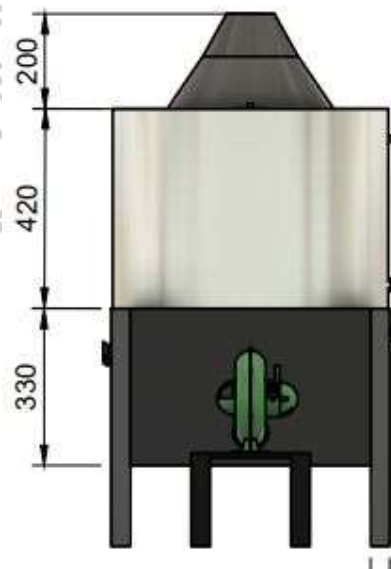
Gambar 3.1 Rancang Bangun Alat Tungku Biomassa sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa

Keterangan:

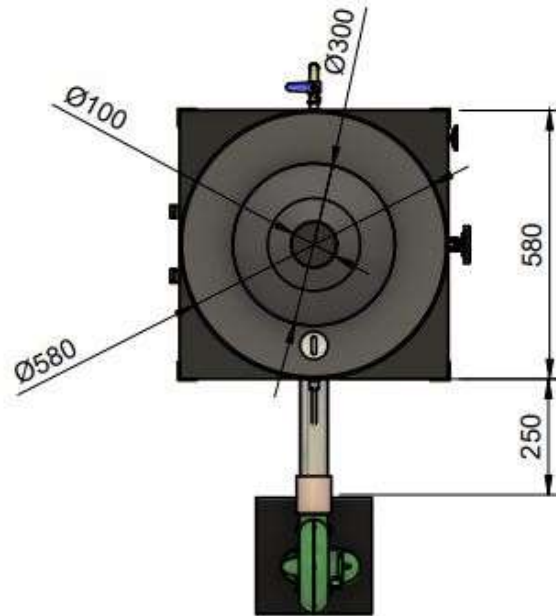
- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1: Ruang bakar | 8: Pipa udara masuk ruang bakar |
| 2: Ruang air | 9: Barometer |
| 3: Cerobong | 10: Termometer air |
| 4: Katup keluar | 11: Termometer pembakaran |
| 5: Blower | |
| 6: Pintu masuk dan keluar ruang bakar | |
| 7: Jalur masuk air (Kondisi Terbuka) | |



Gambar 3.2 Alat Tungku Biomassa Tampak Samping



Gambar 3.3 Alat Tungku Biomassa Tampak Depan



Gambar 3.4 Alat Tungku Biomassa Tampak Atas

3.3.3 Tahap Pembuatan dan Perakitan Alat

Dalam proses pembuatan alat ini, alat dibuat sesuai dengan desain gambar 3.1 diatas. Pada proses pembuatan alat ini, ada beberapa komponen yang dibeli yaitu blower, Termometer gauge, Barometer, dan Katup. 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 Geraji, Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa :

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan seperti plat, besi siku, pipa besi, pemotong plat, serta alat ukur.
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 drum sesuai gambar kerja.
5. Menggabungkan seluruh komponen yang sudah di potong, menggunakan mesin las sesuai dengan gambar kerja.
6. Memasang kran dan alat ukur yang akan dipakai sesuai pada gambar yaitu thermometer gauge dan barometer.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Setelah rancang bangun 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 terdiri dari 4 jenis pengujian bahan bakar yaitu bahan bakar, 1 (serbuk geraji), 2 (tempurung kelapa), 3 (tongkol jagung), 4 (campuran). Sehingga total pengujian pada penelitian ini yaitu sebanyak 4 kali dengan massa bahan bakar yang sama.

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 atau setara 20 Kg air. Kemudian memasukkannya ke dalam ruang air.
3. Menimbang dan memasukkan bahan bakar ke ruang pembakaran sebanyak 10 kg.
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 $\geq 80^{\circ}\text{C}$.
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.

3.5 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 (4.182Kj/Kg°C)

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

Kalor pada saat air mendidih (kalor laten air) dapat dicari 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 3.3 Nilai LHV Biomassa

Tipe	LHV (kJ/kg)
Batok kelapa	18.000
Tongkol jagung	13.000-15.000
Serbuk kayu/serbuk geraji	12.432
Campuran	14.477

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

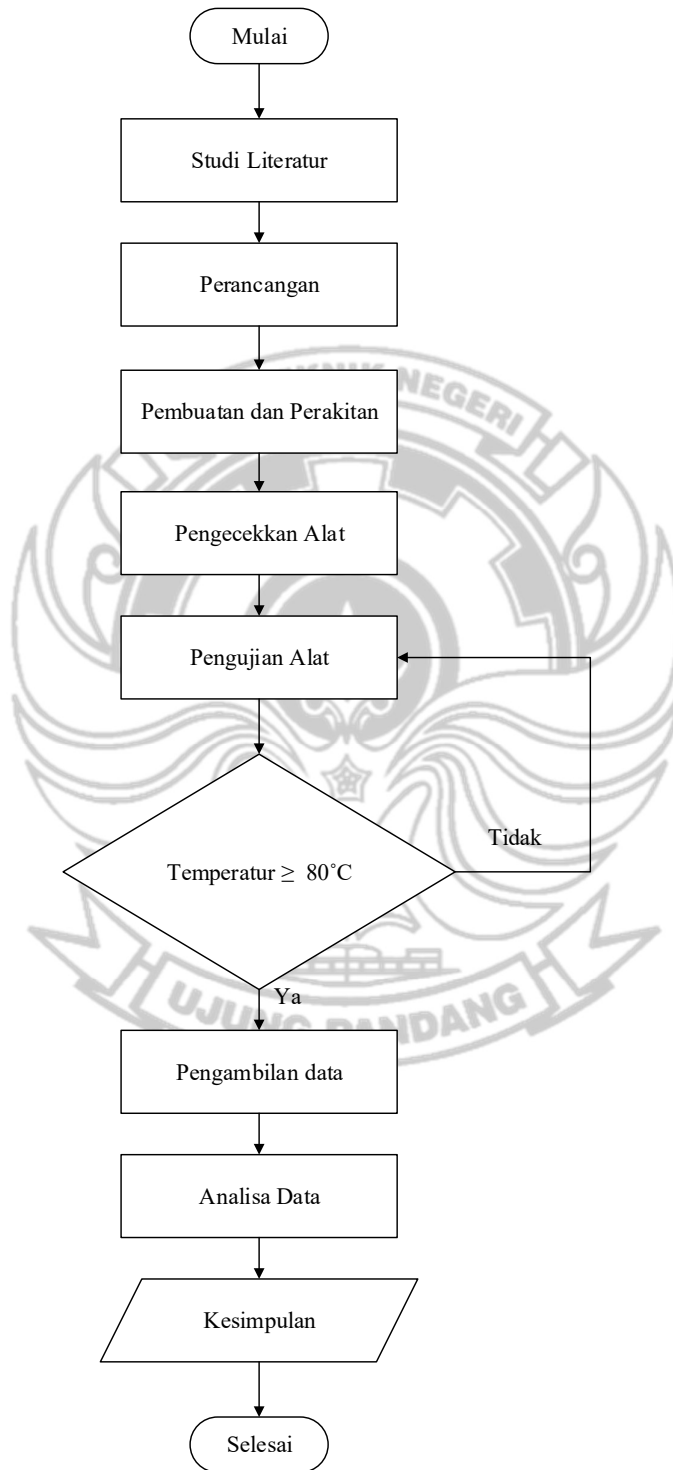
Sehingga efisiensi thermal tungku dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

Kalor yang terpakai= kalor sensible air + kalor laten air.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN

4.1 Hasil Rancang Bangun



Gambar 4.1 Hasil Rancang Bangun Alat Tungku Biomassa Sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, Togkol Jagung dan Tempurung Kelapa

Setelah melalui proses di atas maka didapat hasil sebuah tungku biomassa sebagai pemanas air dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, togkol jagung dan tempurung kelapa, dengan tinggi 112 cm lebar 610 mm dan lebar 58 cm. Dengan ukuran ruang bakar adalah 58 cm x 58 cm x 33 cm, dengan alat ukur yaitu termometer gauge 2 buah dan pressure gauge 1 buah.

4.2 Hasil Pengujian

4.2.1 Data Kuantitatif

Setelah melakukan pengambilan data dalam pengujian alat tungku biomassa sebagai pemanas air dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung, tempurung kelapa dan campuran dilakukan selama empat hari bertempat di bengkel las jalan politeknik, tamalanrea indah, kec tamalanrea, kota makassar.

Didapatkan data yang disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tempurung Kelapa, 17 Agustus 2022

Waktu (menit)	Temperatur air (°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Massa air mula-mula (Kg)	Massa air akhir (kg)	Massa bahan bakar awal (kg)	Massa bahan bakar akhir (kg)
0	30	0	20	15	10	6
1	30	0				
2	30	0				
3	35	50				
4	40	100				
5	45	150				
6	50	170				
7	54	180				
8	60	200				
9	70	225				
10	80	230				
11	90	240				
12	98	260				
13	100	275				

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Tongkol Jagung, 18 Agustus 2022.

Waktu (menit)	Temperatur air (°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Massa air mula-mula (Kg)	Massa air akhir (kg)	Massa bahan bakar awal (kg)	Massa bahan bakar akhir (kg)
0	30	0	20	16.7	10	5
1	30	0				
2	30	0				
3	30	25				
4	34	100				
5	40	160				
6	45	200				
7	50	240				
8	56	250				
9	60	250				
10	67	280				
11	73	290				
12	76	300				
13	80	Tidak terbaca				
14	85	Tidak terbaca				
15	90	Tidak terbaca				
16	92	Tidak terbaca				
17	93	Tidak terbaca				
18	100	Tidak terbaca				

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji, 19 Agustus 2022.

Waktu (menit)	Temperatur air (°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Massa air mula-mula (Kg)	Massa air akhir (kg)	Massa bahan bakar awal (kg)	Massa bahan bakar akhir (kg)
0	30	0				
1	30	0				
2	30	0				
3	30	0				
4	31	10				
5	31	10				
6	31	15				
7	32	15				
8	32	20				
9	32	20	20.0	12.0	10.0	1
10	33	25				
11	33	25				
12	33	30				
13	34	35				
14	35	40				
15	35	50				
16	35	78				
17	36	100				

Waktu (menit)	Temperatur air (°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Massa air mula-mula (Kg)	Massa air akhir (kg)	Massa bahan bakar awal (kg)	Massa bahan bakar akhir (kg)
18	37	130				
19	39	160				
20	40	180				
21	41	205				
22	43	230				
23	45	250				
24	48	280				
25	50	300				
26	54	Tidak terbaca				
27	57	Tidak terbaca				
28	62	Tidak terbaca				
29	65	Tidak terbaca				
30	70	Tidak terbaca				
31	75	Tidak terbaca				
32	81	Tidak terbaca				
33	85	Tidak terbaca				
34	88	Tidak terbaca				
35	90	Tidak terbaca				
36	92	Tidak terbaca				

Waktu (menit)	Temperatur air (°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Massa air mula-mula (Kg)	Massa air akhir (kg)	Massa bahan bakar awal (kg)	Massa bahan bakar akhir (kg)
37	95	Tidak terbaca				
38	96	Tidak terbaca				
39	99	Tidak terbaca				
40	100	Tidak terbaca				

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Bakar Campuran, 20 Agustus 2022.

Waktu (menit)	Temperatur air (°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Massa air mula-mula (Kg)	Massa air akhir (kg)	Massa bahan bakar awal (kg)	Massa bahan bakar akhir (kg)
0	30	0				
1	30	0				
2	30	0				
3	30	0				
4	30	0				
5	35	50				
6	36	100				
7	37	123	20.0	14.3	10.0	4.4
8	38	140				
9	39	145				
10	40	148				
11	43	160				
12	45	170				
13	46	200				
14	50	300				

Waktu (menit)	Temperatur air (°C)	Temperatur pembakaran (°C)	Massa air mula-mula (Kg)	Massa air akhir (kg)	Massa bahan bakar awal (kg)	Massa bahan bakar akhir (kg)
15	58	Tidak terbaca				
16	65	Tidak terbaca				
17	70	Tidak terbaca				
18	80	Tidak terbaca				
19	86	Tidak terbaca				
20	95	Tidak terbaca				
21	100	Tidak terbaca				

4.3 Hasil Analisa Data

4.3.1 Perhitungan Data Tempurung Kelapa

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

4.3.1.1 Menghitung Data Kalor Sensibel Air

Menggunakan rumus pada persamaan 1:

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

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

$$C_p = 4.182 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C}$$

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

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

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

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

4.3.1.2 Menghitung Kalor Laten Air

Menggunakan rumus pada persamaan 2:

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

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

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

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

$$= 5 \text{ Kg} \times 2257.0 \text{ Kj/Kg}$$

$$= 11285 \text{ Kj}$$

4.3.1.3 Menghitung kalor yang dihasilkan bahan bakar

Menggunakan rumus pada persamaan 4:

$$Q = W_f \cdot LHV$$

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

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

$$= 4 \text{ kg}$$

$$LHV = 18000 \text{ Kj/Kg}$$

$$Q = W_f \cdot LHV$$

$$= 4 \text{ kg} \times 18000 \text{ Kj/Kg}$$

$$= 72000 \text{ Kj}$$

4.3.1.4 Efisiensi Thermal Tungku

Menggunakan rumus pada persamaan 5:

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

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

$$= \frac{5854,8 \text{ Kj} + 11 \text{ Kj}}{72000 \text{ Kj}} \times 100\%$$

$$= 23.80 \%$$

4.3.2 Perhitungan Data Tongkol Jagung

Dengan menggunakan data pada menit ke 18 pada saat temperatur air sudah 100 °C

4.3.2.1 Menghitung Data Kalor Sensibel Air

Menggunakan rumus pada persamaan 1:

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

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

$$C_p = 4.182 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C}$$

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

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

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

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

4.3.2.2 Menghitung Kalor Laten Air

Menggunakan rumus pada persamaan 2:

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

$$\text{Dik: } m_{\text{uap}} = m_a - m_b = 20\text{Kg} - 16.7\text{Kg} = 3.3\text{Kg}$$

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

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

$$= 3.3 \text{ Kg} \times 2257.0 \text{ Kj/Kg}$$

$$= 7448.1 \text{ Kj}$$

4.3.2.3 Menghitung kalor yang dihasilkan bahan bakar

Menggunakan rumus pada persamaan 4:

$$Q = W_f \cdot LHV$$

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

$$= 10 \text{ kg} - 5 \text{ kg}$$

$$= 5 \text{ kg}$$

$$LHV = 13000 \text{ Kj/Kg}$$

$$Q = W_f \cdot LHV$$

$$= 5 \text{ kg} \times 13000 \text{ Kj/Kg}$$

$$= 65000 \text{ Kj}$$

4.3.2.4 Efisiensi Thermal Tungku

Menggunakan rumus pada persamaan 5:

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

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

$$= \frac{5854,8 \text{ Kj} + 7448,1 \text{ Kj}}{130000 \text{ Kj}} \times 100\%$$

$$= 20,46\%$$

4.3.3 Perhitungan Data Serbuk Gergaji

Dengan menggunakan data pada menit ke 40 pada saat temperatur air sudah 100 °C

4.3.3.1 Menghitung Data Kalor Sensibel Air

Menggunakan rumus pada persamaan 1:

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

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

$$C_p = 4,182 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C}$$

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

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

$$= 20 \text{ Kg} \times 4,182 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C} \times 70^\circ\text{C}$$

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

4.3.3.2 Menghitung Kalor Laten Air

Menggunakan rumus pada persamaan 2:

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

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

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

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

$$= 8 \text{ Kg} \times 2257.0 \text{ Kj/Kg}$$

$$= 18056 \text{ Kj}$$

4.3.3.3 Menghitung kalor yang dihasilkan bahan bakar

Menggunakan rumus pada persamaan 4:

$$Q = W_f \cdot LHV$$

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

$$= 10 \text{ kg} - 1 \text{ kg}$$

$$= 9 \text{ kg}$$

$$LHV = 12432 \text{ Kj/Kg}$$

$$Q = W_f \cdot LHV$$

$$= 9 \text{ kg} \times 12432 \text{ Kj/Kg}$$

$$= 111888 \text{ Kj}$$

4.3.3.4 Efisiensi Thermal Tungku

Menggunakan rumus pada persamaan 5:

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

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

$$= \frac{5854,8 \text{ Kj} + 18056 \text{ Kj}}{111888 \text{ Kj}} \times 100\%$$

$$= 21.37 \%$$

4.3.4 Perhitungan Data Campuran

Dengan menggunakan data pada menit ke 21 pada saat temperatur air sudah 100 °C

4.3.4.1 Menghitung Data Kalor Sensibel Air

Menggunakan rumus pada persamaan 1:

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

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

$$C_p = 4.182 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C}$$

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

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

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

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

4.3.4.2 Menghitung Kalor Laten Air

Menggunakan rumus pada persamaan 2:

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

$$\text{Dik: } m_{\text{uap}} = m_a - m_b = 20\text{Kg} - 14.3\text{Kg} = 5.7 \text{ Kg}$$

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

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

$$= 5.7 \text{ Kg} \times 2257.0 \text{ Kj/Kg}$$

$$= 12864.9 \text{ Kj}$$

4.3.4.3 Menghitung kalor yang dihasilkan bahan bakar

Menggunakan rumus pada persamaan 4:

$$Q = W_f \cdot LHV$$

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

$$= 10 \text{ kg} - 4.4 \text{ kg}$$

$$= 5.6 \text{ kg}$$

$$LHV = 14477.33\text{Kj/Kg}$$

$$Q = W_f \cdot LHV$$

$$= 5.6 \text{ kg} \times 14477.33\text{Kj/Kg}$$

$$= 78177.6 \text{ Kj}$$

4.3.4.4 Efisiensi Thermal Tungku

Menggunakan rumus pada persamaan 5:

$$\eta_{th} = \frac{\textit{k calor yang terpakai}}{\textit{k calor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{\textit{k calor sensible air + calor laten air}}{\textit{k calor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\%$$

$$= \frac{5854,8 \text{ Kj} + 12864,9 \text{ Kj}}{78177,6 \text{ Kj/Kg}} \times 100\%$$

$$= 23,08\%$$



4.4 Tabel Hasil Analisa Data

Tabel 4.5 Tabel perhitungan kalor sensibel air

Bahan Bakar	Mair Mula-mula (kg)	Cp	ΔT (°C)	Qs (Kj)
Tempurung Kelapa	20	4.182Kj/Kg.	30	5854.8
Tongkol Jagung				
Serbuk gergaji				
Campuran				

Tabel 4.6 Tabel perhitungan kalor laten air

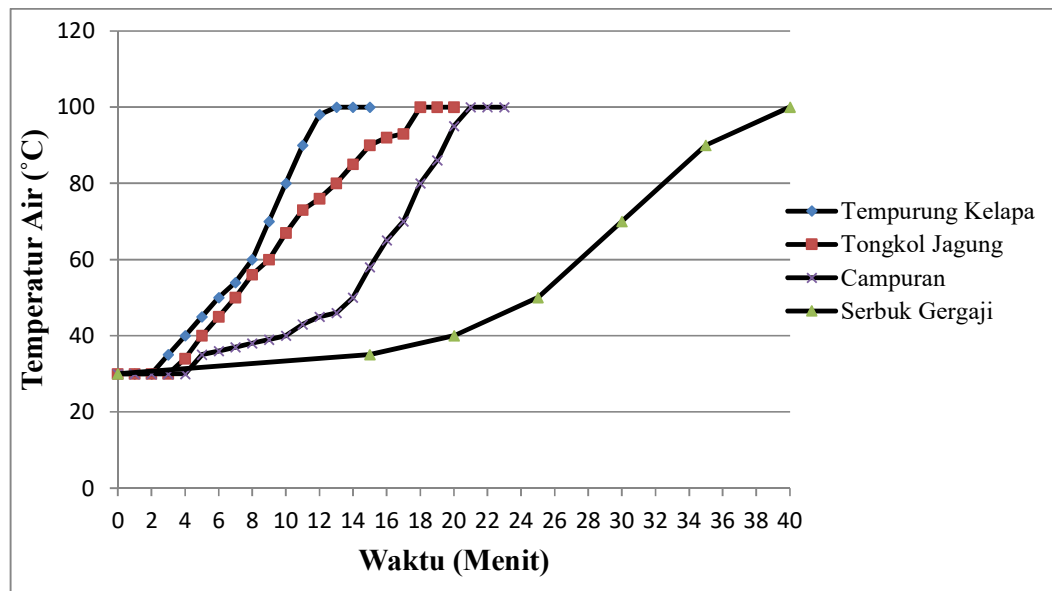
Bahan Bakar	muap rata-rata (Kg)	hfg (Kj/Kg)	QL (Kj)
Tempurung Kelapa	5	2257.0	11285
Tongkol Jagung	3.3		7448.1
Serbuk gergaji	8		18056
Campuran	5.7		12864.9

Tabel 4.7 Tabel Perhitungan efisiensi thermal tungku

Bahan Bakar	Kalor Terpakai (Kj)	Kalor Bahan Bakar (Kj)	η_{th} (%)
Tempurung Kelapa	17139.8	72000	23.80527778
Tongkol Jagung	13302.9	65000	20.466
Serbuk gergaji	23910.8	111888	21.37029887
Campuran	18719.7	78177.6	23.08991231

4.5 Grafik dan Pembahasan

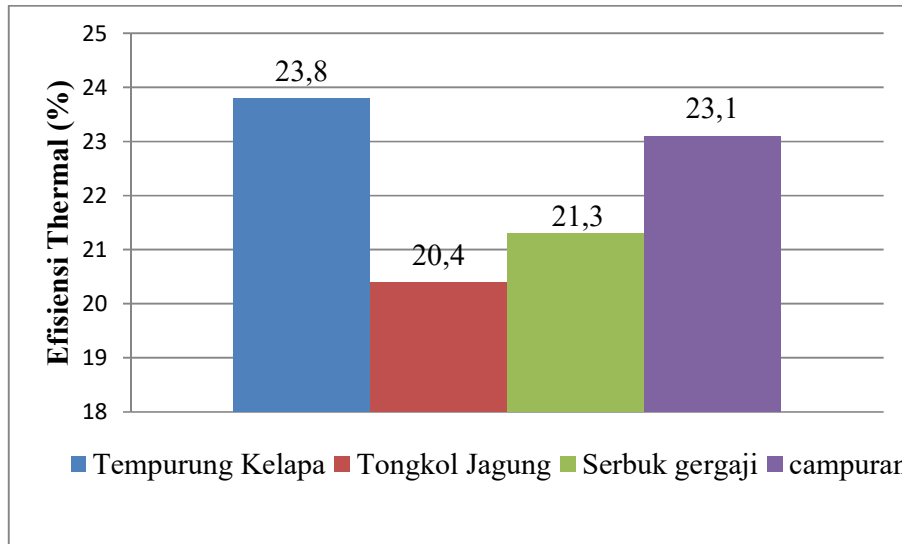
1. Perbandingan Temperatur Pendidihan Air pada Bahan Bakar Serbuk Geraji, Tongkol Jagung, Tempurung Kelapa dan Campuran.



Gambar 4.2 Perbandingan Temperatur Pendidihan Air pada Bahan Bakar Serbuk Geraji, Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa dan Campuran

Gambar 4.2 Menunjukkan grafik perbandingan temperatur pendidihan air pada bahan bakar serbuk geraji, tongkol jagung, tempurung kelapa dan campuran. Dari gambar diketahui bahwa waktu tercepat untuk menaikkan temperatur sampai 100 °C atau mencapai titik didih adalah dengan menggunakan bahan bakar tempurung kelapa yaitu dengan waktu 13 menit, untuk bahan bakar tongkol jagung mampu menaikkan temperatur sampai 100 °C dengan waktu 18 menit, untuk bahan bakar campuran mampu menaikkan temperatur sampai 100 °C dengan waktu 21 menit, sedangkan pada bahan bakar serbuk geraji mampu menaikkan temperatur 100 °C diperlukan waktu selama 40 menit.

2. Perbandingan Efisiensi Thermal Tungku pada Bahan Bakar Serbuk Geraji, Tongkol Jagung, Tempurung Kelapa dan Campuran.



Gambar 4.3 Perbandingan efisiensi thermal tungku pada Bahan Bakar Serbuk Geraji, Tongkol Jagung, Tempurung Kelapa dan Campuran.

Gambar 4.3 menunjukkan Perbandingan efisiensi thermal tungku pada bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung, tempurung kelapa dan campuran. Dari gambar diketahui bahwa efisiensi thermal tiap-tiap percobaan berbeda, pada percobaan dengan menggunakan bahan bakar tempurung kelapa efisiensi thermal 23.8%, untuk percobaan dengan menggunakan bahan bakar tongkol jagung terbesar 20.4%, untuk percobaan dengan menggunakan bahan bakar serbuk gergaji 21.3 % dan percobaan dengan menggunakan bahan bakar campuran 23.1 %. Sehingga efisiensi thermal terbesar adalah pada percobaan dengan menggunakan bahan bakar tempurung kelapa 23.8%. Hal ini dipengaruhi oleh nyala efektif yang lebih lama, sehingga kalor yang digunakan untuk pendidihan air lebih besar.

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 termometer gauge 2 buah dan pressure gauge 1 buah untuk mengetahui temperatur air, temperatur pembakaran dan tekanan didalam tabung air.
2. Pengaruh bahan bakar serbuk gergaji, tongkol jagung, tempurung kelapa dan campuran dengan waktu pendidihan air sebanyak 20 kg sampai 100 °C yaitu berbeda-beda. Urutan pendidihan air paling cepat yaitu bahan bakar tempurung kelapa dengan waktu 13 menit, kemudian bahan bakar tongkol jagung dengan waktu 18 menit, bahan bakar campuran dengan waktu 21 menit, dan terakhir serbuk gergaji dengan waktu 40 menit.
3. Efisiensi thermal terbesar adalah pada percobaan dengan menggunakan bahan bakar tempurung kelapa yaitu 23.8 %. Sedangkan efisiensi thermal menggunakan bahan bakar tongkol jagung efisiensi thermal 20.4 %, untuk bahan bakar serbuk gergaji 21.3 dan percobaan dengan menggunakan bahan bakar campuran sebesar 23.1 %.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu memperhitungkan ukuran pada ruang pemanas dan ruang bakar.
2. Perlu mempertimbangkan material yang digunakan untuk alat pemanas.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., A. K. Irwanto, et al. (1998). Energi dan Listrik Pertanian. JICA—DGHE/ IPB Project/ADAET.
- Anonimous, 2010. *Jenis-jenis Biomassa*. pendidikan. Diakses 1 Februari 2022.
- Arhamsyah, A. (2010). Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*.
- Dumanauw.J.F, 1990, *Mengenal kayu*. Gaja Mada Press; Jogjakarta.
- Elyvani, 2015, *Konversi Energi Biomassa*, tersedia pada: <http://elyvani.blogspot.com/> diakses pada tanggal 10 Desember 2022.
- Febijanto, Irhan, 2007, *Potensi Biomasa Indonesia Sebagai Bahan Bakar Pengganti Energi Fosil*, BPPT, Jakarta
- Kreith, Frank. 1997, *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*. Edisi Ketiga. Erlangga: Jakarta.
- Hadinata, Y. (2015). *Analisa Flame Temperature Di Furnace Pada Alat Rancang Bangun Pengering Tipe Tray Dengan Media Udara Panas*. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Handoyo. (2013). *Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Temperatur Pembakaran Pada Tungku Gasifikasi Sekam Padi*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Haryanto, Agus. 2017. Energi Terbarukan. Penerbit Innosain.
- Kapita,H.,Idrus,S., dan Fanumbi,F.2021. *Pemanfaatan Limbah Biomassa Kelapa dan Tongkol Jagung untuk Pembuatan Briket*. Teknik Lingkungan Universitas Pasifik Morotai.
- Kementerian ESDM, “Energi Terbarukan,” no. September, p. 12, 2012.
- Komor P. and M. Bazilian. 2005. *Renewable energy policy goals, programs, and technologies, Energy Policy*, Volume 33, Issue 14, September 2005, Pages 1873-1881, ISSN 0301-4215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2004.03.003>

- Mahardhika dan Dewi, F. R. 2016. *Analisis Pengembangan Usaha Pemanfaatan Limbah Bonggol Jagung Menjadi Produk Kerajinan Multiguna*. Jurnal Manajemen dan Organisasi. Vol 5 (3): 214-225.
- Ndraha N. 2009. *Uji komposisi bahan pembuat briket bioarang tempurung kelapa dan serbuk kayu terhadap mutu yang dihasilkan*. Sumatera Utara: USU.
- Ridwan, A. (2012). Rancang Bangun Tungku Biomassa Hemat Energi Dan Ramah Lingkungan Pada Tungku Tradisional Masyarakat Berbahan Bakar Kayu. *Photon: Jurnal Sain Dan Kesehatan*, 3(1), 69-78. <https://doi.org/10.37859/jp.v3i1.151>
- Syafii, 2003 *Meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian pemanfaatan sumber daya hutan*.blogspot.com di akses tanggal 02 -01 - 2022
- Saraswati, Annisaa dan Fifit Astuti. Pemanfaatan Tannin Limbah Serbuk Gergaji Kayu Sebagai Alternatif Perekat Kayu Alami Dengan Aditif Poliuretan. FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- The Japan Institute of Energy, “Buku Panduan Biomassa Asia: Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa,” Buku Pandu. Biomassa Asia Pandu. untuk produksi dan Pemanfaat. Biomassa, 2008.[1]
- TIA, BAYUSANDY (2020) *Studi Eksperimental Prototype Mesin Pengumpan Bahan Bakar Serbuk Kayu Untuk Difersifikasi Pada Tungku Pembakaran Genting*. Undergraduate (S1) thesis, Universitas Muhammadiyah Malang.
- Tilman, D., 1981. *Wood Combution: Principles, Processes and Economics*, Academics Press Inc., New York.
- Parinduri, Luthfi dan Taufik Parinduri. 2020. *Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan*, ISSN:2598–1099 (Online).(https://jurnal.uisu.ac.id), diakses 20 januari 2022).
- Pranata, J., 2008. *Pemanfaatan Sabut dan Tempurung Kelapa serta Cangkang Sawit untuk Pembuatan Asap Cair sebagai Pengawet Makanan Alami*. <http://word-to-pdf.abdio.com> diakses 10 Januari 2022.
- Wacik, Jero. 2012. *Minyak Bumi Mendominasi Bauran Energi Primer Dunia Hingga 2050*.<http://esdm.go.id/berita/migas/40-migas/6024-minyakbumi-mendominasi-bauran-energi-primer-dunia-hingga-2050.html>.



Lampiran 1 Tabel Hasil Analisis Data

1. Tabel Hasil Analisis Data Dengan Menggunakan Bahan Bakar Tempurung Kelapa

Waktu (Menit)	Temperatur Air (°C)	Temperatur air mula-mula (°C)	Massa Air Mula-mula (kg)	Massa Air Akhir (kg)	Temperatur Pembakaran (°C)	Wf (kg)	ΔT (°C)	Qs (Kj)	hfg (Kj/Kg)	Massa uap (kg)	QL (kj)	LHV (Kj/Kg)	Q (Kj)	Kalor yang Terpakai (kj)	Efisiensi (%)
0	30	30	20	15	0	4	0	0	2430.5	0	0	18000	72000	0	0
3	35	30	20	15	50	4	5	418.2	2418.6	0	0	18000	72000	418.2	0.58
4	40	30	20	15	100	4	10	836.4	2406.7	0	0	18000	72000	836.4	1.16
5	45	30	20	15	150	4	15	1254.6	2394.8	0	0	18000	72000	1254.6	1.74
6	50	30	20	15	170	4	20	1672.8	2382.7	0	0	18000	72000	1672.8	2.32
7	54	30	20	15	180	4	24	2007.36	2370.7	0	0	18000	72000	2007.36	2.78
8	60	30	20	15	200	4	30	2509.2	2358.5	0	0	18000	72000	2509.2	3.48
9	70	30	20	15	225	4	40	3345.6	2333.8	0	0	18000	72000	3345.6	4.64
10	80	30	20	15	230	4	50	4182	2308.8	0	0	18000	72000	4182	5.80
11	90	30	20	15	240	4	60	5018.4	2283.2	0	0	18000	72000	5018.4	6.97
12	98	30	20	15	260	4	68	5687.52	2262.28	0	0	18000	72000	5687.52	7.89
13	100	30	20	15	275	4	70	5854.8	2257	5	11285	18000	72000	17139.8	23.80

2. Tabel Hasil Analisis Data Dengan Menggunakan Bahan Bakar Tongkol Jagung

Waktu (Menit)	Temperatur Air (°C)	Temperatur air mula-mula (°C)	Massa Air Mula-mula (kg)	Massa Air Akhir (kg)	Temperatur Pembakaran (°C)	Wf (kg)	ΔT (°C)	Qs (Kj)	hfg (Kj/Kg)	Massa uap (kg)	QL (kj)	LHV (Kj/Kg)	Q (Kj)	Kalor yang Terpakai (kj)	Efisiensi (%)
0	30	30	20	16.7	0	5	0	0	2430.5	0	0	13000	65000	0	0
3	30	30	20	16.7	25	5	0	0	2430.5	0	0	13000	65000	0	0
4	34	30	20	16.7	100	5	4	334.56	2420.98	0	0	13000	65000	334.56	0.51
5	40	30	20	16.7	160	5	10	836.4	2406.7	0	0	13000	65000	836.4	1.28
6	45	30	20	16.7	200	5	15	1254.6	2394.8	0	0	13000	65000	1254.6	1.93
7	50	30	20	16.7	240	5	20	1672.8	2382.7	0	0	13000	65000	1672.8	2.57
8	56	30	20	16.7	250	5	26	2174.64	2368.26	0	0	13000	65000	2174.64	3.34
9	60	30	20	16.7	250	5	30	2509.2	2358.5	0	0	13000	65000	2509.2	3.86
10	67	30	20	16.7	280	5	37	3094.68	2341.24	0	0	13000	65000	3094.68	4.76
11	73	30	20	16.7	290	5	43	3596.52	2326.36	0	0	13000	65000	3596.52	5.53
12	76	30	20	16.7	300	5	46	3847.44	2318.8	0	0	13000	65000	3847.44	5.91
13	80	30	20	16.7	Tidak terbaca	5	50	4182	2308.8	0	0	13000	65000	4182	6.43
14	85	30	20	16.7	Tidak terbaca	5	55	4600.2	2296	0	0	13000	65000	4600.2	7.07
15	90	30	20	16.7	Tidak terbaca	5	60	5018.4	2270.2	0	0	13000	65000	5018.4	7.72
16	92	30	20	16.7	Tidak terbaca	5	62	5185.68	2278	0	0	13000	65000	5185.68	7.97
17	93	30	20	16.7	Tidak terbaca	5	63	5269.32	2275.4	0	0	13000	65000	5269.32	8.10
18	100	30	20	16.7	Tidak terbaca	5	70	5854.8	2257	3.3	7448.1	13000	65000	13302.9	20.46

3. Tabel Hasil Analisis Data Dengan Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Gergaji

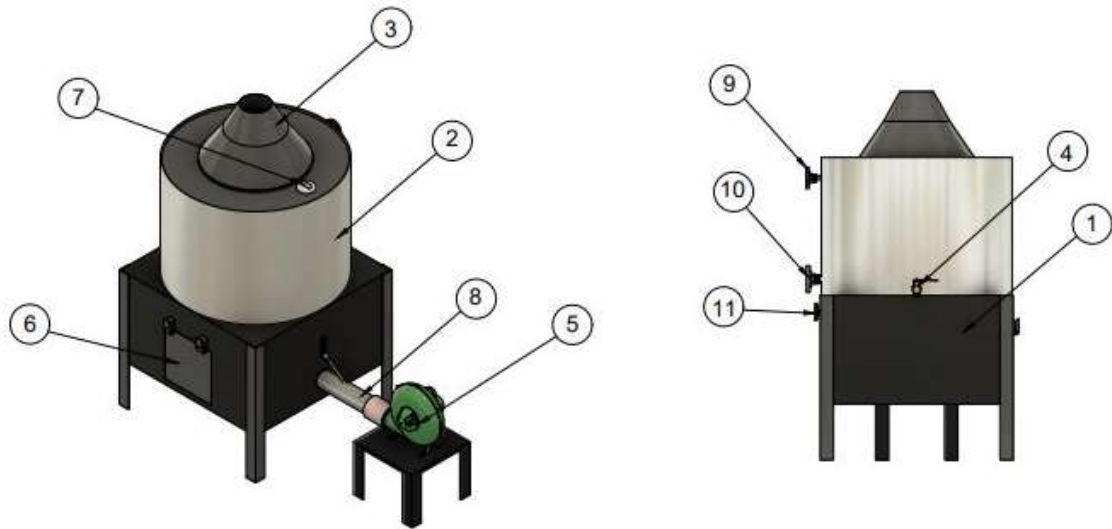
Waktu (Menit)	Temperatur Air (°C)	Temperatur air mula-mula (°C)	Massa Air Mula-mula (kg)	Massa Air Akhir (kg)	Temperatur Pembakaran (°C)	Wf (kg)	ΔT (°C)	QS (Kj)	hfg (Kj/Kg)	Massa uap (kg)	QL (kj)	LHV (Kj/Kg)	Q (Kj)	Kalor yang Terpakai (kj)	Efisiensi (%)
0	30	30	20	12	0	9	0	0	2430.5	0	0	12432	111888	0	0
1	30	30	20	12	0	9	0	0	2430.5	0	0	12432	111888	0	0
2	30	30	20	12	0	9	0	0	2430.5	0	0	12432	111888	0	0
3	30	30	20	12	0	9	0	0	2430.5	0	0	12432	111888	0	0
4	31	30	20	12	10	9	1	83.64	2430.5	0	0	12432	111888	83.64	0.074
5	31	30	20	12	10	9	1	83.64	2428.1	0	0	12432	111888	83.64	0.074
6	31	30	20	12	15	9	1	83.64	2428.1	0	0	12432	111888	83.64	0.074
7	32	30	20	12	15	9	2	167.28	2425.7	0	0	12432	111888	167.28	0.149
8	32	30	20	12	20	9	2	167.28	2425.7	0	0	12432	111888	167.28	0.149
9	32	30	20	12	20	9	2	167.28	2425.7	0	0	12432	111888	167.28	0.149
10	33	30	20	12	25	9	3	250.92	2423.4	0	0	12432	111888	250.92	0.224
11	33	30	20	12	25	9	3	250.92	2423.4	0	0	12432	111888	250.92	0.224
12	33	30	20	12	30	9	3	250.92	2423.4	0	0	12432	111888	250.92	0.224
13	34	30	20	12	35	9	4	334.56	2421.0	0	0	12432	111888	334.56	0.299
14	35	30	20	12	40	9	5	418.2	2418.6	0	0	12432	111888	418.2	0.373
15	35	30	20	12	50	9	5	418.2	2418.6	0	0	12432	111888	418.2	0.373
16	35	30	20	12	78	9	5	418.2	2418.6	0	0	12432	111888	418.2	0.373
17	36	30	20	12	100	9	6	501.84	2416.2	0	0	12432	111888	501.84	0.448
18	37	30	20	12	130	9	7	585.48		0	0	12432	111888	585.48	0.523
19	39	30	20	12	160	9	9	752.76		0	0	12432	111888	752.76	0.672
20	40	30	20	12	180	9	10	836.4	2406.7	0	0	12432	111888	836.4	0.747
21	41	30	20	12	205	9	11	920.04		0	0	12432	111888	920.04	0.822

22	43	30	20	12	230	9	13	1087.32		0	0	12432	111888	1087.32	0.971
23	45	30	20	12	250	9	15	1254.6	2394.8	0	0	12432	111888	1254.6	1.121
24	48	30	20	12	280	9	18	1505.52		0	0	12432	111888	1505.52	1.345
25	50	30	20	12	300	9	20	1672.8	2382.7	0	0	12432	111888	1672.8	1.495
26	54	30	20	12	Tidak terbaca	9	24	2007.36		0	0	12432	111888	2007.36	1.794
27	57	30	20	12	Tidak terbaca	9	27	2258.28		0	0	12432	111888	2258.28	2.018
28	62	30	20	12	Tidak terbaca	9	32	2676.48		0	0	12432	111888	2676.48	2.392
29	65	30	20	12	Tidak terbaca	9	35	2927.4		0	0	12432	111888	2927.4	2.616
30	70	30	20	12	Tidak terbaca	9	40	3345.6	2333.8	0	0	12432	111888	3345.6	2.990
31	75	30	20	12	Tidak terbaca	9	45	3763.8	2321.4	0	0	12432	111888	3763.8	3.363
32	81	30	20	12	Tidak terbaca	9	51	4265.64		0	0	12432	111888	4265.64	3.812
33	85	30	20	12	Tidak terbaca	9	55	4600.2	2296.0	0	0	12432	111888	4600.2	4.111
34	88	30	20	12	Tidak terbaca	9	58	4851.12		0	0	12432	111888	4851.12	4.335
35	90	30	20	12	Tidak terbaca	9	60	5018.4	2283.2	0	0	12432	111888	5018.4	4.485
36	92	30	20	12	Tidak terbaca	9	62	5185.68	2278	0	0	12432	111888	5185.68	4.634
37	95	30	20	12	Tidak terbaca	9	65	5436.6	2270.2	0	0	12432	111888	5436.6	4.858
38	96	30	20	12	Tidak terbaca	9	66	5520.24		0	0	12432	111888	5520.24	4.933
39	99	30	20	12	Tidak terbaca	9	69	5771.16		0	0	12432	111888	5771.16	5.157
40	100	30	20	12	Tidak terbaca	9	70	5854.8	2257	8	18056	12432	111888	23910.8	21.370

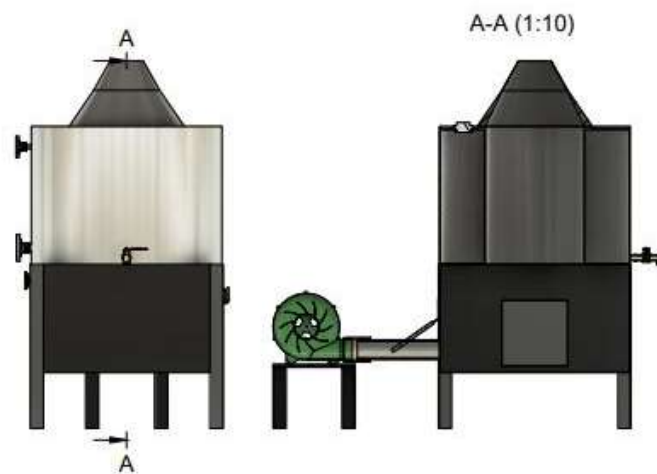
4. Tabel Hasil Analisis Data Dengan Menggunakan Bahan Bakar Campuran.

Waktu (Menit)	Temperatur Air (°C)	Temperatur air mula-mula (°C)	Massa Air Mula-mula (kg)	Massa Air Akhir (kg)	Temperatur Pembakaran (°C)	Wf (kg)	ΔT (°C)	Qs (Kj)	Hfg (Kj/Kg)	Massa uap (kg)	QL (kj)	LHV (Kj/Kg)	Q (Kj)	Kalor yang Terpakai (kj)	Efisiensi (%)
0	30	30	20	14.3	0	5.6	0	0	2430.5	0	0	14477	81073	0	0
5	35	30	20	14.3	50	5.6	5	418.2	2418.6	0	0	14477	81073	418.2	0.587
6	36	30	20	14.3	100	5.6	6	501.84	2416.22	0	0	14477	81073	501.84	0.6184
7	37	30	20	14.3	123	5.6	7	585.48	2413.84	0	0	14477	81073	585.48	0.782
8	38	30	20	14.3	140	5.6	8	669.12	2411.46	0	0	14477	81073	669.12	0.879
9	39	30	20	14.3	145	5.6	9	752.76	2409.08	0	0	14477	81073	752.76	0.9277
10	40	30	20	14.3	148	5.6	10	836.4	2406.7	0	0	14477	81073	836.4	1.0374
11	43	30	20	14.3	160	5.6	13	1087.32	2399.56	0	0	14477	81073	1087.32	1.3466
12	45	30	20	14.3	170	5.6	15	1254.6	2394.8	0	0	14477	81073	1254.6	1.5461
13	46	30	20	14.3	200	5.6	16	1338.24	2392.38	0	0	14477	81073	1338.24	1.6558
14	50	30	20	14.3	300	5.6	20	1672.8	2382.7	0	0	14477	81073	1672.8	2.0648
15	58	30	20	14.3	Tidak terbaca	5.6	28	2341.92	2363.38	0	0	14477	81073	2341.92	2.8827
16	65	30	20	14.3	Tidak terbaca	5.6	35	2927.4	2346.2	0	0	14477	81073	2927.4	3.6109
17	70	30	20	14.3	Tidak terbaca	5.6	40	3345.6	2333.8	0	0	14477	81073	3345.6	4.1296
18	80	30	20	14.3	Tidak terbaca	5.6	50	4182	2308.8	0	0	14477	81073	4182	5.1587
19	86	30	20	14.3	Tidak terbaca	5.6	56	4683.84	2298.56	0	0	14477	81073	4683.84	5.7755
20	95	30	20	14.3	Tidak terbaca	5.6	65	5436.6	2270.2	0	0	14477	81073	5436.6	6.7031
21	100	30	20	14.3	Tidak terbaca	5.6	70	5854.8	2257	5.7	12864.9	14477	81073	18719.7	23.0831

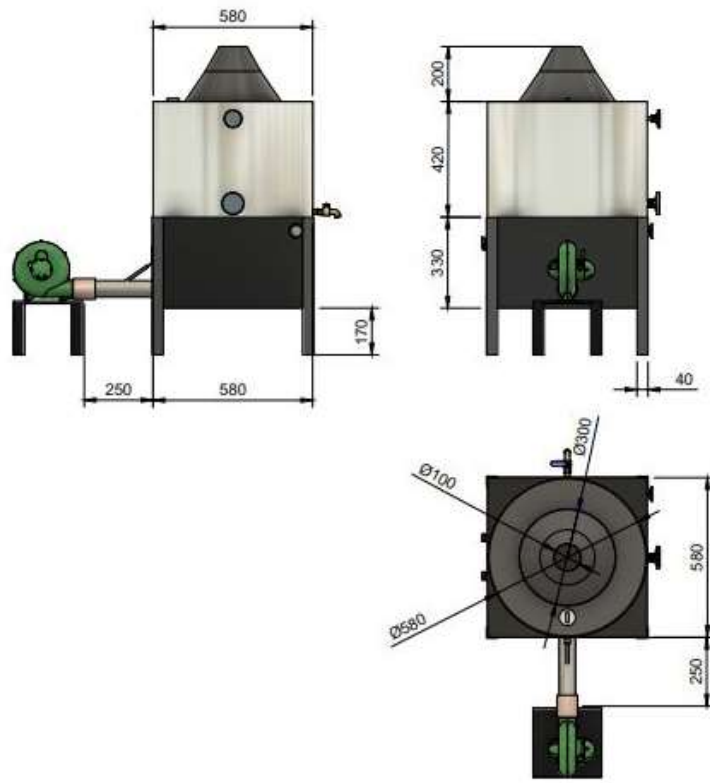
Lampiran 2 Gambar Kerja



Gambar Kerja 3D Alat Tungku Biomassa dan Bagian-Bagiannya



Gambar Kerja Potongan Alat



Gambar Kerja Tampak Samping, Depan, Atas Serta Dimensinya

Lampiran 3 Dokumentasi Pembuatan



Proses pengelasan rangka ruang bakar



Hasil Pengelasan Rangka Ruang Bakar



Proses Pengelasan Tiang Tungku



Hasil Pengelasan Tiang Tungku



Proses Pengelasan Tabung Air



Hasil Pengelasan Tabung Air



Proses Pengamplasan Ruang Bakar



Proses pengecatan Ruang Bakar



Alat Tungku Biomassa

Lampiran 4 Dokumentasi Pengujian



Proses Menimbang Bahan Bakar



Proses Pengukuran Temperatur Air



Proses Pengukuran Temperatur Pembakaran



Proses Penjemuran Tempurung Kelapa



Proses Pengambilan Serbuk Gergaji



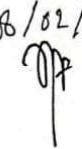

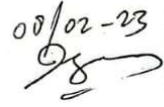
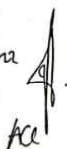
Hasil Pembakaran Tempurung Kelapa dan Campuran

LEMBAR REVISI JUDUL TUGAS AKHIR

Nama : Lisa Irayanti S/ Sulfikar. S

NIM : 34219008/ 34219019

Catatan Daftar Revisi Penguji :

No.	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1.	<u>Dr. Jamal, ST, MT</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Busi lengkap Keajaiban Point 4: Repond Tekan Uda dapat diataskannya - Tabel 4.1. ^{pin} waktu di samping - Tabel 4.1 saat fiba 100'e perulus di ventila. - Gambar 4.1. Tambahkan letaknya Grafik. 	<p>08/02/2023</p> 
2.	<u>Suany, ST, MT</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Hal. 41: ketetapan qbr no. 12 tdk ada. - Hal. 72: Tabel. & pulvis - Ciri kesesuaian simbol - Tambahkan referensi terkait penguji ke daftar penunns air tawar taylor. - Tambahkan referensi terkait deep pelitur material Bahan Bakar 	<p>ACC</p> <p>16/02 '23</p> 
3.	^{Prof.} <u>A.M. Shiddiqyus</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Diagram Alir - Grafik pd Gbr. 4.1. 	<p>00/02-23</p> 
4.	<u>Yiyin Klistafani, ST, MT</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Bab. IV Hasil Penguji-Bayun & urutannya di certai foto - Hal. 33 sitasi di lengkapi tahun. - Bab III tambahkan dasar Perancangan - Tambahkan Tujuan Penelitian di Ringkasan - Gbr. 3.2-3.3 	<p>21/12</p> <p>ACC</p> 

- Diagram Alir di Parbaikan (Temp. Air).
- Hal. 54 Situasi.
- Kesimpulan No.1.

di Sesuaikan Eviden yg benar
 - Daftar Pustaka di sesuaikan panduan
 Makassar, 23 September 2022
 Ketua Ujian Sidang,



Yiyin Klistafani, S.T., M.T.
 NIP 199005172015042001

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.