

PENGARUH VARIASI BIOMASSA TERHADAP KARAKTERISTIK DAN KINERJA TUNGKU BIOMASSA INJEKSI UAP OVER FIRE



MUHAMMAD SUKMAN JAYA
D021 18 1021



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

**PENGARUH VARIASI BIOMASSA TERHADAP KARAKTERISTIK DAN
KINERJA TUNGKU BIOMASSA INJEKSI UAP OVER FIRE**

**MUHAMMAD SUKMAN JAYA
D021 18 1021**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**PENGARUH VARIASI BIOMASSA TERHADAP KARAKTERISTIK DAN
KINERJA TUNGKU BIOMASSA INJEKSI UAP OVER FIRE**

MUHAMMAD SUKMAN JAYA
D021 18 1021

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Mesin

pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI BIOMASSA TERHADAP KARAKTERISTIK DAN KINERJA TUNGKU BIOMASSA
INJEKSI UAP OVER FIRE**

MUHAMMAD SUKMAN JAYA

D021 18 1021

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian pada 3 Desember 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa

Mengesahkan:

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT
NIP. 19791112 200812 2 002

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT
NIP. 19711221 199802 1 001

Mengetahui:

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP. 19770707 200511 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Karakteristik dan Kinerja Tungku Biomassa Injeksi Uap Over Fire" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT sebagai Pembimbing Utama dan (Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT sebagai pembimbing pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 3 Desember 2024



Muhammad Sukman Jaya
D021181021

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanahu Wata'ala* atas rahmat, berkah serta izin-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini dengan judul “ **PENGARUH VARIASI BIOMASSA TERHADAP KARAKTERISTIK DAN KINERJA TUNGKU BIOMASSA INJEKSI UAP OVER FIRE**”. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat kelulusan dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu selama proses penelitian dilaksanakan hingga penyusunan skripsi ini selesai. Ucapan terima kasih terkhusus yang sedalam-dalamnya penulis persembahkan kepada Ibunda **Suhemi** dan Ayahanda **Rahman** serta Kakak **Rasmi Apriliani** yang senantiasa mendoakan, menyayangi, menyemangati dan menasehati penulis sampai bisa berada di tahap ini. Dengan segala keikhlasan dan kerendahan hati penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya terutama kepada:

1. Ibu **Dr. Eng. Novriany Amaliyah ST., MT** dan Bapak **Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam mengarahkan dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak **Ir. Andi Mangkau, MT** dan Bapak **Ir. Baharuddin Mire, MT** selaku dosen penguji atas segala saran dan masukan untuk perbaikan serta pengembangan skripsi ini.
3. Seluruh Dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan bantuan selama penulis menjalani perkuliahan.
4. Seluruh Staf Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala bantuan yang telah diberikan dalam pengurusan administrasi dan pengurusan lainnya selama penulis menjalani perkuliahan.
5. Kakak Topan Limbongallo yang telah menemani, membantu dan mendukung penulis dalam pengambilan data sehingga terselesainya skripsi ini.
6. Saudara – saudara seperjuangan REACTOR 2018 yang setia menemani, membantu, dan mendukung penulis dari awal kuliah dan seterusnya.
7. Teman – teman, kakak senior serta junior seperjuangan Laboratorium *Internal Combustion* yang telah bersedia menemani dan membantu selama masa penelitian dan penyusunan skripsi.
8. Sahabat seperjuangan 7 WONDERS dan SEKTOR GOWA MAKASSAR yang senantiasa memberikan bantuan tenaga dan waktu serta semangat dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih sudah menemani penulis melewati hari-hari baik maupun buruk selama masa perkuliahan.
9. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberi dukungan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Apabila terdapat kesalahan-kesalahan

dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis dan bukan para pemberi bantuan. Kritik dan saran yang membangun akan lebih menyempurnakan skripsi ini.

Penulis,

Muhammad Sukman Jaya

ABSTRAK

MUHAMMAD SUKMAN JAYA **PENGARUH VARIASI BIOMASSA TERHADAP KARAKTERISTIK DAN KINERJA TUNGKU BIOMASSA INJEKSI UAP OVER FIRE** (dibimbing oleh Novriany Amaliyah dan Andi Erwin Eka Putra).

Latar Belakang. Indonesia memiliki ketersediaan bahan organik berupa sisa pertanian dan Perkebunan yang berlimpah yaitu kayu trembesi dan tempurung kelapa. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa karakteristik dan kinerja antara tungku biomassa injeksi uap menggunakan bahan bakar kayu trembesi dengan tempurung kelapa. **Metode.** Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dimulai pada bulan Mei 2024 di Laboratorium *Internal Combustion* Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin. Variasi biomassa yang digunakan adalah kayu trembesi 1000 g, tempurung kelapa 1000 g, tempurung kelapa 500 g & kayu trembesi 500 g, tempurung kelapa 700 g & kayu trembesi 300 g, tempurung kelapa 300 g & kayu trembesi 700 g. Penelitian ini dilakukan dengan tahapan mengidentifikasi dan perumusan masalah, melakukan studi pustaka, pengambilan data, melakukan analisa hasil dan pembahasan, serta penarikan kesimpulan dan saran. **Hasil.** kinerja tungku biomassa injeksi uap menggunakan variasi bahan bakar tempurung kelapa 1000 g dengan volume air injeksi 800 ml dalam penelitian ini nilai terbaik dengan laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,00128 kg/s, daya termal 5,51485 kcal/s, dan efisiensi termal mencapai 32,67831%. **Kesimpulan.** Penggunaan variasi tempurung 700 g & trembesi 300 g sebagai bahan bakar dengan pada tungku biomassa injeksi uap over fire terbukti efisien.

Kata kunci: tungku biomassa, tempurung kelapa, kayu trembesi, injeksi uap, efisiensi.

ABSTRACT

MUHAMMAD SUKMAN JAYA **EFFECT OF BIOMASS VARIATION ON THE CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE OF OVER FIRE STEAM INJECTION BIOMASS FURNACE** (supervised by Novriany Amaliyah and Andi Erwin Eka Putra).

Background. Indonesia has abundant availability of organic materials in the form of agricultural residues and plantations, namely saman wood and coconut shells. **Aim.** This study aims to analyze the characteristics and performance between steam injection biomass stoves using saman wood fuel and coconut shell. **Method.** This research was conducted experimentally starting in May 2024 at the Internal Combustion Laboratory of the Department of Mechanical Engineering, Hasanuddin University. The biomass variations used were 1000 g saman wood, 1000 g coconut shell, 500 g coconut shell & 500 g saman wood, 700 g coconut shell & 300 g saman wood, 300 g coconut shell & 700 g saman wood. This research was conducted with the stages of identifying and formulating problems, conducting literature studies, collecting data, analyzing results and discussions, and drawing conclusions and suggestions. **Results.** The performance of the steam injection biomass furnace using 1000 g coconut shell fuel variation with 800 ml injection water volume in this study is the best value with a fuel consumption rate of 0.00128 kg/s, thermal power of 5.51485 kcal/s, and thermal efficiency reaching 32.67831%. **Conclusion.** The use of 700 g coconut shell & 300 g saman wood variation as fuel with over fire steam injection biomass furnace proved to be efficient.

Keywords: biomass furnace, coconut shell, saman wood, steam injection, efficiency.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN PENGAJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Landasan Teori	3
BAB II METODE PENELITIAN	14
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	14
2.2 Alat dan Bahan	14
2.3 Skema Penelitian	17
2.4 Metode Pengumpulan Data	18
2.5 Prosedur Penelitian	18
2.6 Diagram Alir	21
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	22
3.1 Hasil	22
3.2 Perhitungan	25
3.3 Pembahasan	31
BAB IV KESIMPULAN	40
4.1 Kesimpulan	40
4.2 Saran	40

DAFTAR PUSTAKA.....	41
LAMPIRAN	43

DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Data Pengujian.....	22
2. Pengujian Mendidihkan Air dengan Variasi Kayu Trembesi 1000 g.....	22
3. Pengujian Mendidihkan Air dengan Variasi Tempurung Kelapa 1000 g.....	23
4. Pengujian Mendidihkan Air dengan Variasi Tempurung Kelapa 500 g & Kayu Trembesi 500 g	23
5. Pengujian Mendidihkan Air dengan Variasi Tempurung Kelapa 700 g & Kayu Trembesi 300 g	24
6. Pengujian Mendidihkan Air dengan Variasi Tempurung Kelapa 300 g & Kayu Trembesi 700 g	24

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Skema konversi biomassa	4
2. Tungku biomassa injeksi uap <i>over fire</i>	7
3. Bagian-bagian tungku biomassa injeksi uap <i>over fire</i> pada pusat saluran ..	7
4. Tungku Biomassa Injeksi Uap (<i>Over Fire</i>)	14
5. Termokopel dan Sensor Tipe K	14
6. Anemometer	15
7. Timbangan Digital	15
8. Panci	16
9. Tungku Biomassa Injeksi Uap (<i>Over Fire</i>)	16
10. Termokopel dan Sensor Tipe K	16
11. Air	17
12. Skema Penelitian	17
13. Temperatur Air Dalam Panci Terhadap Waktu	32
14. Temperatur Ruang Bakar Terhadap Waktu	32
15. Temperatur Ujung Cerobong Terhadap Waktu	33
16. Temperatur Air Injeksi Terhadap Waktu	34
17. Kecepatan Udara Masuk Terhadap Waktu	35
18. Laju Konsumsi Bahan Bakar Terhadap Variasi Air Injeksi	36
19. Daya Termal Terhadap Variasi Air Injeksi	37
20. Efisiensi Termal Terhadap Variasi Air Injeksi	38

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Gambar Alat.....	43
2. Dokumentasi Pengambilan Data.....	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini kebutuhan energi merupakan salah satu sumber kehidupan manusia yang tidak dapat dipisahkan. Energi dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu energi yang bersumber dari makhluk hidup dan tanaman. Pada penelitian kali ini, peneliti berfokus kepada energi yang bersumber dari tumbuhan yang disebut dengan biomassa. Energi biomassa merupakan sumber energi alternatif yang perlu mendapatkan prioritas dalam pengembangannya.

Menurut Cahyono (2013), Indonesia memiliki ketersediaan bahan organik berupa sisa pertanian dan perkebunan yang berlimpah. Beberapa contohnya adalah kayu trembesi, ranting, daun, sekam padi, ampas tebu, cangkang dan tempurung kelapa, karena Indonesia merupakan Negara kepulauan yang memiliki sumber daya alam melimpah dimana banyak menghasilkan limbah alam yang belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah alam tersebut dapat meliputi limbah hasil pertanian dan kehutanan seperti kayu trembesi, dan tempurung kelapa. Kayu trembesi dan tempurung kelapa tersebut dapat dijadikan energi biomassa karena tidak sulit didapatkan serta cara (teknologi) pengolahannya pun tidak rumit. Salah satu cara untuk mengolahnya yaitu melalui proses termokimia. Dengan proses termokimia, biomassa dapat dikonversikan menjadi energi melalui tiga cara yaitu: pembakaran langsung (*direct combustion*), gasifikasi, dan pirolisis. Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode pembakaran langsung.

Hampir 40% populasi dunia masih mengandalkan kompor biomassa sebagai alat utama untuk memasak. Teknologi injeksi udara, dalam bentuk *over-fire*, *under-fire*, dan *staged* (kombinasi antara *under-fire* dan *over-fire*), telah digunakan selama beberapa dekade untuk mengurangi emisi pada pembakaran biomassa industri skala kecil. Baru-baru ini, para peneliti mulai mengintegrasikan injeksi udara ke dalam kompor biomassa, tetapi jumlah penelitian terbatas, dan injeksi udara yang tidak tepat dapat memperburuk kinerja kompor (Barbour et al., 2021).

(Barbour et al., 2021), telah melakukan pengujian, mengembangkan dan menganalisis tiga strategi injeksi udara kompor roket biomassa pembakaran kayu menggunakan dinamika dan eksperimen fluida komputasi. Penelitian ini menguji kompor roket biomassa dengan injeksi udara *overfire* dan *under-fire*, dan kemudian mengembangkan sistem injeksi udara bertahap yang menggabungkan karakteristik jet optimal dari sistem *over-fire* dan *under-fire*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kinerja yang signifikan, baik dalam hal pengurangan emisi dan peningkatan laju pembakaran dapat dicapai dengan injeksi udara paksa. Dengan melakukan pengetesan air mendidih diperoleh efisiensi termal dibandingkan dengan konfigurasi kompor alami (37,5 %), dengan kompor *over-fire* berkinerja terbaik dari ketiganya (36,3 %), diikuti oleh kompor *under-fire* (31,9 %) dan kompor injeksi udara bertahap (28,1 %).

(Bentson et al., 2022), telah melakukan pengujian untuk mengukur potensi dampak efisiensi dan kinerja emisi dari *Jet-Flame* ketika dipasang di enam jenis tungku biomassa yang berbeda (tiga tungku api terbuka atau terlindung dan tiga tungku roket) dibandingkan dengan kinerja rancangan alami masing-masing tungku. Tambahan penguat rancangan *Jet-Flame forced* baru-baru ini dikembangkan untuk menerapkan pancaran udara primer paksa untuk berbagai jenis kompor menggunakan kipas kecil 1.5 W yang ditempatkan di badan besi cor yang dimasukkan di bawah lapisan bahan bakar dari tungku biomassa. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi termal dengan arang dari tungku dengan rancangan alami (*Natural Draft*) adalah tungku *Open Fire* 15.3%, tungku *African Bucket* 18.7%, tungku *Asian Bucket* 29.8%, tungku *Heavy Rocket* 32.8%, tungku *Medium Rocket* 41% dan tungku *Light Rocket* 38.7%. Sedangkan efisiensi termal dengan arang dari tungku dengan penguatan *Jet-Flame* adalah tungku *Open Fire* 21.1%, tungku *African Bucket* 23.1%, tungku *Asian Bucket* 41.8%, tungku *Heavy Rocket* 35.1%, tungku *Medium Rocket* 45.4% dan tungku *Light Rocket* 47.1%.

Teknik injeksi udara ke dalam tungku biomassa dapat meningkatkan kinerja dari tungku biomassa, dengan menggunakan tenaga listrik untuk menggerakkan kipas injeksi udaranya (Bentson et al., 2022). Menggunakan energi panas dari tungku biomassa itu sendiri untuk tenaga injeksi uap adalah salah satu cara pemanfaatan energi panas untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi tungku biomassa tanpa bantuan energi listrik. Maka dari latar belakang inilah yang mendasari penulis melakukan penelitian dengan judul ” **PENGARUH VARIASI BIOMASSA TERHADAP KARAKTERISTIK DAN KINERJA TUNGKU BIOMASSA INJEKSI UAP OVER FIRE**”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi bahan bakar terhadap karakteristik tungku?
2. Bagaimana pengaruh variasi bahan bakar terhadap kinerja tungku?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisa karakteristik antara tungku biomassa injeksi uap menggunakan bahan bakar kayu trembesi dengan tempurung kelapa.
2. Untuk menganalisa kinerja antara tungku biomassa injeksi uap menggunakan bahan bakar kayu trembesi dengan tempurung kelapa.

1.3.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Bagi Mahasiswa, sebagai persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bagi Akademik

- a. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya dilingkup Departemen Teknik Mesin.
- b. Merupakan pustaka tambahan untuk menunjang proses perkuliahan.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memudahkan pelaksanaan penelitian sehingga tujuan dari penelitian dapat dicapai, perlu adanya batasan masalah, yaitu:

1. Tipe tungku pembakaran yang digunakan adalah tungku/kompur roket dengan injeksi uap *over fire*
2. Biomassa yang digunakan adalah kayu trembesi dan tempurung kelapa.
3. Cairan yang digunakan untuk injeksi uap adalah air tawar.
4. Variasi volume air injeksi yang digunakan 800 ml.

1.5 Landasan Teori

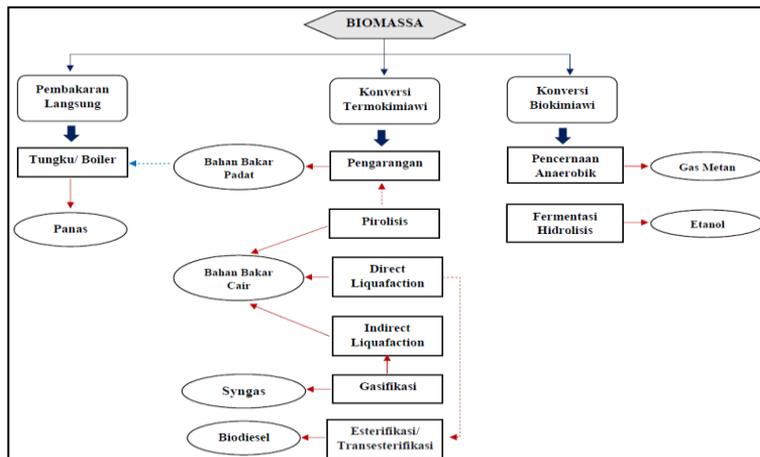
1.5.1 Biomassa

Pada dasarnya biomassa merupakan produk fotosintesis, yakni butir-butir hijau daun merupakan yang bekerja sebagai sel-sel surya, menyerap energi matahari dan mengkonversi karbon dioksida dengan air menjadi suatu senyawa karbon, hidrogen dan oksigen. Senyawa ini dapat dipandang sebagai suatu penyerapan energi yang dapat dikonversi menjadi suatu lain. Hasil konversi dari senyawa itu dapat berbentuk arang atau karbon, tar, dan lainnya. Energi yang disimpan itu dapat pula dimanfaatkan dengan langsung membakar kayu itu, panas yang dihasilkan digunakan untuk memasak atau keperluan lain..

Biomassa merupakan bahan energi dapat diperbaharui karena dapat diproduksi dengan cepat. Karena itu bahan organik yang diproses melalui proses geologi seperti minyak dan batubara tidak dapat digolongkan dalam kelompok biomassa. Biomassa umumnya mempunyai kadar volatile relatif tinggi, dengan kadar karbon tetap yang rendah dan kadar abu lebih rendah dibanding batubara. Biomassa juga memiliki kadar volatil yang tinggi (sekitar 60-80%) dibanding kadar volatil batubara, sehingga biomassa lebih reaktif dibandingkan batubara (Kadir, 1995).

Upaya yang dilakukan untuk mengembangkan biomassa adalah mendorong pemanfaatan limbah industri pertanian dan kehutanan sebagai sumber energi secara terintegrasi dengan industrinya, mengintegrasikan pengembangan biomassa dengan kegiatan ekonomi masyarakat, mendorong pabrikasi teknologi konversi energi biomassa dan usaha penunjang, dan meningkatkan penelitian dan pengembangan pemanfaatan limbah termasuk sampah kota untuk energi.

Biomassa dapat dikonversi menjadi energi dalam bentuk bahan bakar cair, gas, panas, dan listrik. Agar biomassa dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar, diperlukan teknologi untuk mengkonversi biomassa. Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu; pembakaran langsung, konversi termokimiawi, konversi biokimiawi. (Laondi, 2021):



Gambar 1. Skema konversi biomassa
(Sumber: Laondi, 2021)

1.5.1.1 Tempurung Kelapa

Kelapa merupakan komoditi unggulan selain dibuat kopra maupun untuk konsumsi. Tempurung kelapa terletak pada bagian dalam buah kelapa setelah sabut kelapa. Tempurung kelapa merupakan lapisan keras yang memiliki ketebalan 3 mm sampai 5 mm. Selama ini limbah tempurung kelapa dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk memasak, dibuat cinderamata, digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan briket arang dan juga serbuk arang tempurung kelapa digunakan sebagai bahan pengisi filter. Kelapa merupakan komoditi unggulan selain dibuat kopra maupun untuk konsumsi.

1.5.1.2 Kayu Trembesi

Kayu Trembesi (*Albizia saman*) yang berasal dari genus *Albizia* memiliki persebaran luas di wilayah beriklim tropis seperti Indonesia. Pertumbuhannya pun cepat sehingga jumlahnya termasuk besar. Trembesi memiliki tingkat kepadatan menengah yang masih kalah dibanding jati. Tingkat keawetan IV, tingkat kuat III, dan berat jenis 0,6. Kayu ini bisa besar dalam waktu relatif lebih cepat dibanding kayu jenis lainnya seperti mahoni. Dari sifat ini, kita bisa memperoleh kayu dengan diameter yang lebar hingga 1,5 meter. Adapun beberapa kekurangan kayu Trembesi. Dua dari berbagai kekurangan tersebut adalah tingkat keawetan dan kekuatannya. Trembesi masuk dalam kelas awet IV. Ini artinya, kayu tersebut sangat rentan diserang hama seperti jamur, rayap, dan kutu bubuk. Sedangkan dari aspek kekuatan, kayu ini termasuk dalam kelas kuat III.

1.5.2 Tungku Biomassa

Tungku atau kompor adalah alat masak yang menghasilkan panas tinggi. Tungku mempunyai ruang tertutup/ terisolasi dari luar sebagai tempat bahan bakar diproses untuk memberikan pemanasan bagi barang-barang yang diletakkan di atasnya. Tungku/ kompor diperkenalkan sejak masa kolonial, yang menggunakan bahan bakar cair (terutama minyak tanah atau spiritus bakar), gas (dalam bentuk padatan cair LPG atau lewat pipa saluran), atau elemen pemanas (dengan daya listrik). Dalam ukuran besar, kompor dipakai di pabrik-pabrik yang membutuhkan proses pemanasan dengan kebutuhan kalori tinggi. Untuk skala kecil, kompor digunakan secara luas disetiap rumah tangga untuk memasak. Memasak umumnya dilakukan

dengan media panci, wajan, ketel, sedangkan memasak tanpa media disebut pemanggangan (Yunus Nasution et al., 2022).

Ada dua jenis tungku biomassa, yaitu tungku biomassa pembakaran langsung dan tungku biomassa pembakaran tidak langsung. Tungku biomassa pembakaran langsung adalah panas yang dihasilkan dari pembakaran biomassa langsung ditransfer ke dalam ruang pengering dengan cara langsung atau dipaksa dengan menggunakan blower, jadi yang masuk ke dalam ruang pengering atau oven berupa asap dan panas dari api, cara ini biasanya digunakan untuk pembuatan kopra hitam, pengeringan produk bukan makanan dan lain-lain. Tungku biomassa pembakaran tidak langsung adalah panas yang dihasilkan dari pembakaran biomassa hanya berupa udara panas saja, sedangkan asapnya dibuang ke udara, cara ini biasa digunakan untuk pembuatan kopra putih, pengeringan ikan, pengeringan kopi, pengeringan kakao dan lain-lain.

Persyaratan tungku harus memiliki (Atim Abdul A, FA. Widiharsa, 2015):

1. Ruang bakar untuk bahan bakar.
2. Aliran udara dari lubang bawah menuju lubang atas dengan melewati ruang bakar yang terdiri dari aliran udara primer dan sekunder.
3. Ruang untuk menampung abu dari bahan bakar biomassa yang terletak di bawah ruang bakar.

1.5.3 Sistem Injeksi Uap

1.5.1.3 Manfaat Injeksi Uap Pada Pembakaran

Injeksi uap dalam pembakaran merupakan teknik yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi polutan selama pembakaran. Teknik ini sering diterapkan dalam industri, terutama pada penggunaan bahan bakar fosil seperti batu bara atau gas alam. Prinsipnya adalah memasukkan uap ke dalam ruang bakar, seperti mesin pembakaran internal atau tungku. Cara ini dapat memberikan berbagai pengaruh terhadap karakteristik pembakaran, seperti dijelaskan di bawah ini:

1. Peningkatan efisiensi: Injeksi uap dapat meningkatkan efisiensi proses pembakaran. Ketika uap diinjeksikan ke dalam ruang bakar dan terkena panas, uap tersebut menguap dan menciptakan pendinginan adiabatik. Hal ini mengurangi suhu pembakaran, yang dapat meningkatkan efisiensi termal. Artinya energi yang sebelumnya hilang sebagai panas dapat digunakan secara lebih efisien untuk menghasilkan listrik atau panas.
2. Mengurangi emisi NO_x: Injeksi uap dapat membantu mengurangi emisi nitrogen oksida (NO_x) selama pembakaran. NO_x merupakan polutan yang sering terbentuk pada suhu pembakaran tinggi. Penurunan suhu pembakaran akibat injeksi uap mengurangi pembentukan NO_x sehingga mengurangi emisi polutan tersebut.
3. Pemberian uap ke saluran cerobong pembakaran digunakan untuk memasukkan uap ke dalam nyala api untuk meningkatkan kapasitas tanpa asap. Uap yang diinjeksikan sering digunakan untuk mencegah pembakaran internal pada saluran cerobong dengan meningkatkan laju aliran volume dan oleh karena itu

peningkatan kecepatan melalui ujung cerobong untuk mencegah infiltrasi udara (laju aliran udara tak terkendali/kebocoran). Udara dan uap yang diinjeksikan berfungsi untuk meningkatkan pembakaran, sehingga memperluas kapasitas tanpa asap.

4. Pengurangan Partikel Padat: Injeksi uap juga dapat membantu mengurangi emisi partikel padat (partikulat) dalam beberapa proses pembakaran. Partikulat ini dapat terbentuk dalam proses pembakaran yang tidak sempurna. Injeksi uap air dapat membantu dalam pembakaran yang lebih efisien dan mengurangi jumlah partikulat yang dihasilkan.
5. Pengurangan CO₂: Meskipun tidak mengurangi emisi karbon dioksida (CO₂) dalam artian sebenarnya (karena uap air adalah bentuk lain dari H₂O), injeksi uap air dapat membantu mengoptimalkan pembakaran sehingga penggunaan bahan bakar lebih efisien. Ini, pada gilirannya, dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi CO₂ terkait.

Injeksi uap pembakaran adalah teknik yang digunakan untuk mengurangi emisi dan meningkatkan efisiensi dalam berbagai aplikasi industri. Namun efektivitas injeksi uap bergantung pada pengaturan dan jenis sistem pembakaran yang digunakan. Teknik ini memerlukan pemahaman dan pengendalian yang cermat untuk mencapai hasil yang diinginkan dan dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi proses pembakaran.

1.5.1.4 Tungku Biomassa dengan Injeksi Uap

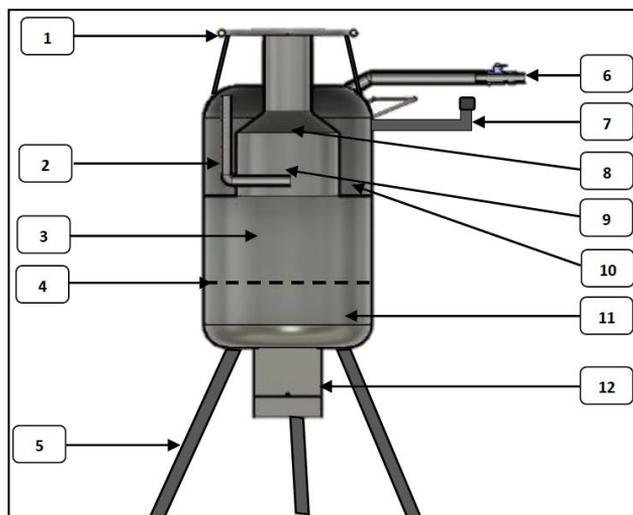
Injeksi uap pembakaran adalah teknik yang digunakan untuk mengurangi emisi dan meningkatkan efisiensi dalam berbagai aplikasi industri. Namun efektivitas injeksi uap bergantung pada pengaturan dan jenis sistem pembakaran yang digunakan. Teknik ini memerlukan pemahaman dan pengendalian yang cermat untuk mencapai hasil yang diinginkan dan dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi proses pembakaran.

Pada tungku biomassa dengan injeksi uap, panas dari pembakaran dari ruang bakar selain digunakan untuk memasak juga dimanfaatkan untuk memanaskan air di dalam tangki injektor yang akan dipakai nantinya sebagai uap injeksi ke dalam pembakaran. Menggunakan energi panas dari tungku biomassa itu sendiri untuk tenaga injeksi uap adalah salah satu cara pemanfaatan energi panas untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi tungku biomassa tanpa bantuan energi listrik sebagaimana diterapkan pada tungku biomassa dengan injeksi paksa udara. Metode injeksi uap pada tungku sudah dimanfaatkan di lapangan (dimasyarakat), tapi dengan penggunaan bahan bakar minyak bekas pelumas mesin. Pembakaran minyak bekas pelumas mesin di udara bebas memberikan dampak emisi yang buruk untuk lingkungan dan makhluk hidup, sehingga tidak bisa dimanfaatkan untuk keperluan memasak. Oleh karena itu penelitian dan pengembangan tungku biomassa dengan injeksi uap perlu dilakukan untuk pemanfaatan yang berkelanjutan.

Prinsip kerja tungku biomassa dengan injeksi uap adalah pada tungku memiliki tangki penampungan air di atas ruang bakar yang akan dipakai sebagai injeksi uap pada saluran cerobong api. Panas dari pembakaran biomassa di ruang bakar dimanfaatkan untuk mendidihkan air yang ada di dalam tangki penampungan air injeksi, kemudian uapnya akan disalurkan keluar melalui pipa dan diinjeksikan pada melalui lubang berdiameter 3 mm ke tengah saluran cerobong api (*over fire*). Ketika injeksi uap ini diaktifkan, tekanan dari uap akan memperkuat hembusan api pada saluran cerobong dan membantu menambah volume udara yang masuk melalui ventilasi bawah untuk meningkatkan laju pembakaran bahan bakar.



Gambar 2. Tungku biomassa injeksi uap *over fire*



Gambar 3. Bagian-bagian tungku biomassa injeksi uap *over fire* pada pusat saluran cerobong

Keterangan:

1. Dudukan untuk panci.
2. Pipa saluran injektor uap.
3. Ruang pembakaran.
4. Besi jaring untuk bahan bakar.
5. Kaki tungku.
6. Katup kontrol uap.
7. Saluran masuk tangki injektor.
8. Saluran cerobong.
9. Lubang injektor uap.
10. Tangki injektor.
11. Ruang penampungan abu.
12. Ventilasi / saluran pembuangan abu.

1.5.4 Parameter Pengujian

1. Laju Konsumsi Bahan Bakar (*Fuel Consumption Rate*)

Laju konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang digunakan dalam tungku biomassa dibagi dengan waktu operasi. Ini dihitung menggunakan rumus (Suyitno, 2011):

$$FCR = \frac{m_f}{t_f} \quad (1)$$

Keterangan:

- FCR = Laju konsumsi bahan bakar, (kg/s)
 m_f = Berat bahan bakar yang digunakan, (kg)
 t_f = Waktu operasi, (s)

2. Daya Termal

Daya termal adalah ukuran seberapa cepat bahan bakar terbakar, dituliskan dalam Watt (Joule/detik). Hal ini dipengaruhi oleh kompor (ukuran pintu masuk bahan bakar/ ruang bakar) dan pengoperasian pengguna (laju pengumpanan bahan bakar). Umumnya ini merupakan ukuran yang berguna untuk mengetahui keluaran panas kompor, dan merupakan indikator seberapa konsistennya operator menjalankan kompor melalui beberapa pengujian. Ini dihitung menggunakan rumus (Suyitno, 2011):

$$P_{Out} = \frac{\Delta m_k \times HHV}{\Delta t} \quad (2)$$

Keterangan:

- P_{Out} = Daya termal, (kcal/s)
 Δm_k = Berat bahan bakar yang terbakar, (kg)
 HHV = Nilai kalor (heating value) bahan bakar, (kcal/kg)
 Δt = Lama waktu pengujian, (s)

3. Efisiensi Termal

Efisiensi termal adalah rasio energi yang digunakan dalam pendidihan dan dalam penguapan air terhadap energi panas yang tersedia dalam bahan bakar. Ini dihitung dengan rumus (Suyitno, 2011):

$$\eta_t = \frac{SH+LH}{HHV \times \Delta m_k} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

- η_t = Efisiensi termal, (%)
- SH = Panas sensibel, (kkal)
- LH = Panas laten, (kkal)
- HHV = Nilai kalor bahan bakar, (kkal/kg)
- Δm_k = Berat bahan bakar yang terbakar, (kg)

1. Panas Sensibel (*Sensible Heat*)

Panas sensibel adalah jumlah energi panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur air. Ini diukur sebelum dan sesudah air mencapai temperatur pendidihan. Ini dihitung menggunakan rumus (Suyitno, 2011):

$$SH = M_w \times C_p \times \Delta T \quad (4)$$

Keterangan:

- SH = Panas sensibel, (kJ)
- M_w = Massa air, (kg)
- C_p = Panas jenis air, (4,2 kJ/kg°C)
- T_f = Temperatur air mendidih, (100°C)
- T_i = Temperatur awal air, (°C)

2. Panas Laten (*Laten Heat*)

Panas laten adalah jumlah energi panas yang digunakan dalam menguapkan air. Ini dihitung menggunakan rumus (Suyitno, 2011):

$$LH = W_e \times H_{fg} \quad (5)$$

Keterangan:

- LH = Panas laten, (kcal)
- W_e = Berat air yang diuapkan, (kg)
- H_{fg} = Panas laten air, (540 kcal/kg)

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2024 sampai Agustus 2024 bertempat di Laboratorium *Internal Combustion* Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan.

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

1. Tungku Biomassa

Tungku biomassa merupakan tungku yang berbahan bakar padat. Jenis tungku yang digunakan adalah tungku biomassa injeksi uap (*over fire*).



Gambar 4. Tungku Biomassa Injeksi Uap (*Over Fire*)

2. Termokopel

Termokopel berfungsi sebagai pengukur suhu air yang dididihkan, suhu ruang bakar dan suhu saluran cerobong tungku.



Gambar 5. Termokopel dan Sensor Tipe K

3. Anemometer

Anemometer berfungsi sebagai pengukur kecepatan aliran udara.



Gambar 6. Anemometer

4. Timbangan Digital

Timbangan digital berfungsi sebagai pengukur berat dari biomassa dan air yang digunakan.



Gambar 7. Timbangan Digital

5. Panci

Panci berfungsi sebagai wadah air yang akan di didihkan.



Gambar 8. Panci

2.2.2 Bahan

1. Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa digunakan sebagai bahan bakar kompor biomassa.



Gambar 9. Tempurung Kelapa

2. Kayu Trembesi

Kayu trembesi digunakan sebagai bahan bakar kompor biomassa.



Gambar 10. Kayu Trembesi

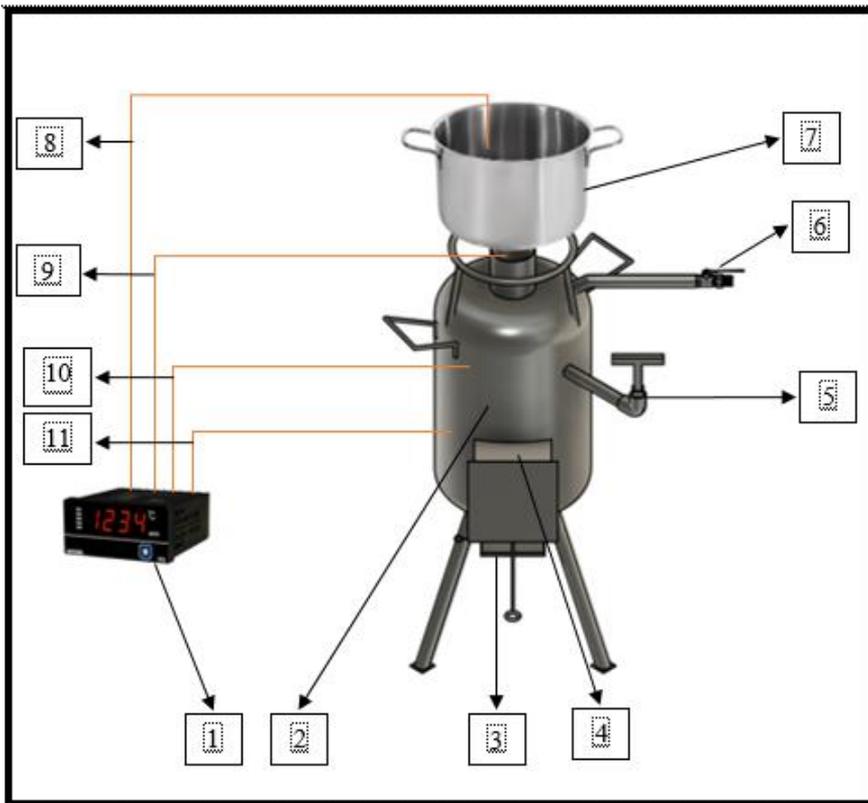
3. Air

Air berfungsi sebagai bahan pengujian untuk mengukur efisiensi termal.



Gambar 11. Air

2.3 Skema Penelitian



Gambar 12. Skema Penelitian

Keterangan:

1. Termokopel.
2. Tungku biomassa injeksi uap.
3. Saluran udara.

4. Saluran bahan bakar.
5. Saluran masuk tangki injektor.
6. Katup kontrol uap.
7. Panci.
8. Sensor suhu air dalam panci.
9. Sensor suhu pada saluran cerobong tungku.
10. Sensor suhu air injektor.
11. Sensor suhu ruang bakar.

2.4 Metode Pengumpulan Data

2.4.1 Studi Lapangan (*Field Research*)

Studi lapangan merupakan pengambilan data yang diperoleh dengan mengumpulkan data langsung dari analisa yang dilakukan dari tempat penelitian, meliputi setiap hasil penelitian, foto - foto, dan data yang relevan terhadap penelitian. Ini bisa berbentuk tulisan dan gambar sehingga mengelolanya dalam bentuk tabel dan grafik.

2.4.2 Studi Pustaka (*Library Research*)

Studi pustaka merupakan pengambilan data yang diperoleh dengan membaca dan mengumpulkan data-data teoritis melalui buku-buku, tulisan ilmiah, literatur serta catatan perkuliahan yang bersangkutan dengan masalah-masalah yang akan dibahas, sehingga diperoleh landasan yang digunakan dalam pemecahan masalah tersebut.

2.5 Prosedur Penelitian

2.5.1 Persiapan Biomassa

1. Mencari dan memotong tempurung kelapa dan kayu trembesi dilakukan dengan presisi, dengan potongan berukuran 2 x 2 cm hingga 3 x 3 cm dan panjang 10 cm.
2. Setelah bahan bakar dipilah dan dipotong kemudian dikeringkan dengan bantuan sinar matahari. Waktu yang dibutuhkan untuk pengeringan dengan sinar matahari adalah 24 jam atau 3 hari (dalam kondisi basah).
3. Setelah kering, maka bahan bakar siap untuk dijadikan bahan pengujian.
4. Untuk tiap pengujian dibutuhkan bantuan bambu dan kertas karton sebagai pemantik untuk penyalaan awal api. Potongan bambu ukuran 10 cm x 3 mm sebanyak 10 batang (15 gram) dan kertas karton ukuran 10 cm x 3 cm sebanyak 2 lembar.

2.5.2 Pengujian

A. Pengujian Mendidihkan Air

Untuk fase daya tinggi, pengujian dimulai pada suhu lingkungan dan menggunakan bahan bakar yang telah ditimbang sebelumnya untuk merebus sejumlah air dalam panci standar. Fase daya tinggi artinya proses pengujian

mendidihkan air dengan tungku di mana penguji berusaha untuk mendidihkan air dalam waktu yang lebih cepat (Clean Cooking Alliance, 2014).

1. Persiapan Setiap Pengujian Mendidihkan Air

- 1) Menyiapkan panci untuk pengujian, kemudian menimbang dan mencatat berat kering panci (gram), kemudian mengisi panci dengan air sebanyak 2,5 liter.
- 2) Mencatat berat panci berisi air (gram).
- 3) Mengukur dan mencatat kondisi sekitar: suhu udara (°C).
- 4) Memasang sensor termokopel pada ruang bakar, saluran cerobong tungku, dan tangki air injector.

2. Pengujian Mendidihkan Air

- 1) Menyiapkan *timer*.
- 2) Mengisi tangki injektor dengan air 800 ml.
- 3) Menimbang bahan bakar (1000 g).
- 4) Meletakkan panci yang berisi air di atas tungku, kemudian meletakkan sensor termokopel dalam panci sehingga suhu air dapat diukur di tengah (sekitar 5 cm dari bawah dasar panci).
- 5) Mengaktifkan termokopel dan mencatat temperatur awal dari air dalam panci, ruang bakar, saluran cerobong tungku dan air injektor.
- 6) Memasukkan bahan bakar serta pemantik ke dalam tungku dan menyalakan api.
- 7) Setelah api menyala, kemudian mengaktifkan pengatur waktu dan mencatat waktu dimulainya.
- 8) Mencatat temperatur air dalam panci, temperatur ruang bakar, temperatur saluran cerobong tungku, dan temperatur air injeksi setiap menit sampai air dalam panci mendidih.
- 9) Mengukur kecepatan aliran udara pada saluran masuk udara tungku menggunakan anemometer setiap menit sampai air dalam panci mendidih.
- 10) Saat air di panci mencapai suhu didih seperti yang ditunjukkan oleh termokopel segera lakukan langkah berikut:

6. Mencatat waktu keseluruhan sampai air mencapai suhu didih. Mencatat juga suhunya. Titik didih tidak harus 100°C, tetapi mengikuti formula (BSN, 2013):

$$t_D = \left(100 - \frac{h}{300}\right) \quad (6)$$

Keterangan:

t_D = Titik didih, (°C)

h = Ketinggian lokasi dari permukaan laut, (meter)

- mengeluarkan semua bahan bakar dari tungku dan memadamkan apinya. Nyala api dapat dipadamkan dengan meniup ujung batang kayu atau memasukkannya ke dalam ember berisi abu atau pasir; jangan gunakan air karena akan mempengaruhi berat sisa bahan bakar. Kemudian

menghancurkan semua arang yang lepas dari ujungnya ke dalam wadah untuk menimbang arang.

- Menimbang bahan bakar yang belum terbakar yang dikeluarkan dari tungku bersama dengan sisa bahan bakar yang telah ditimbang sebelumnya.
- Mengeluarkan semua sisa arang dari tungku. Kemudian menimbang sisa arang ini dengan arang yang sudah dibuang dari bahan bakar yang belum terbakar.

11) Menimbang panci beserta airnya. Kemudian buang air panasnya.

12) Menimbang sisa air dari tangki injektor, kemudian di buang

2.6 Diagram Alir

Sistematika dari penelitian ini dapat kita tinjau pada diagram alir sebagai berikut:

