

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian bahan bakar

Bahan bakar merupakan suatu bahan yang berfungsi dalam proses pembakaran. Tujuan dari proses pembakaran bahan bakar yaitu untuk menghasilkan energi yang disebut energi panas, yang hasilnya dapat diubah menjadi energi lain, seperti energi penerangan, energi mekanis dan lainnya

Bahan bakar berdasarkan sumbernya dapat dibagi menjadi 3, yaitu bahan bakar nabati, bahan bakar mineral, dan bahan bakar fosil. Bahan bakar nabati merupakan bahan bakar yang berasal dari tumbuhan. Adapun tumbuhan yang menjadi komposisi utama dalam pengolahan bahan bakar nabati berupa tumbuhan yang memiliki kandungan minyak. Bahan bakar mineral berasal dari tambang sehingga sering disebut dengan minyak bumi.

Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar dengan sumber utama fosil, yaitu berasal dari organisme maupun tumbuhan yang telah lama mati yang mengendap di tanah. Perwujudan dari bahan bakar fosil sendiri berupa gas alam (gas), minyak bumi (cair), dan batubara (padat) . Energi mempunyai arti sebagai kegiatan atau aktivitas. Menurut Robert L. Wolke energi yaitu suatu kegiatan untuk membuat sesuatu terjadi, dan masih banyak ungkapan mengenai definisi energi oleh para ahli terdahulu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengertian energi adalah suatu usaha atau upaya agar segala hal yang ada di sekitar kita terjadi.

Sumber energi tak terbarukan atau disebut *non-renewable energy* yaitu sumber energi yang tidak bisa diisi ulang oleh alam dalam waktu yang singkat dan bukan

merupakan suatu proses alam yang berkelanjutan. Sumber energi tak terbarukan berasal dari perut bumi yang berupa padat, cair, maupun gas.

Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi yang proses pengisiannya berlangsung secara cepat dan diproses sendiri oleh alam. Potensi dari sumber energi terbarukan ini sangat besar, karena sumber energi ini dapat dengan cepat ditemukan dan diterapkan dilingkungan, seperti energi surya, energi angin, energi panas bumi, biomassa, bioetanol dan lainnya (Zakariya dkk. 2020).

2.2 Jenis-jenis bahan bakar

Berdasarkan bentuk dan wujudnya bahan bakar diklasifikasikan sebagai berikut :

a. Bahan bakar padat

Bahan bakar padat yang merupakan bahan bakar dengan bentuk dengan susunan molekul yang padat, misalnya kayu dan batubara.

b. Bahan bakar cair

Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, dimana antara molekulnya dapat bergerak bebas. misalnya bensin/gasolin/premium, minyak solar, minyak tanah yang merupakan bahan bakar cair. Bahan bakar cair yang biasa dipakai dalam industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi. Minyak bumi adalah campuran berbagai hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa: parafin, naphtena, olefin, dan aromatik. Kelompok senyawa ini berbeda dari yang lain dalam kandungan hidrogennya. Dengan menyuling minyak mentah, akan diperoleh beberapa jenis fraksi, misalnya, bensin atau premium, kerosen atau minyak tanah, minyak solar,

minyak bakar, dan lain-lain. Setiap minyak petroleum mentah mengandung keempat kelompok senyawa tersebut.

c. Bahan bakar gas

Bahan bakar gas ada dua jenis, yakni *compressed natural gas (cng)* dan *liquid petroleum gas (lpg)*. Cng pada dasarnya terdiri dari metana sedangkan lpg adalah campuran dari propana, butana dan bahan kimia lainnya. Lpg yang digunakan untuk kompor rumah tangga, sama bahannya dengan bahan bakar gas yang biasa digunakan untuk sebagian kendaraan bermotor (Nasution 2022).

2.3 Pengertian kayu

Kayu adalah bagian keras dari tumbuhan berkayu, khususnya pohon, yang terletak di batang, cabang, atau akar, tepatnya di antara lapisan kulit luar dan empulur. Kayu tersusun dari jaringan xilem sekunder yang berfungsi sebagai penghantar air dan nutrisi dari akar menuju daun serta sebagai penopang utama struktur tubuh pohon agar tetap tegak. Jaringan ini dibentuk oleh aktivitas kambium yang terus menerus menghasilkan lapisan baru seiring pertumbuhan pohon (rachman, 2018).

Secara kimiawi, kayu terdiri atas tiga komponen utama, yaitu *selulosa* (40–50%), *hemiselulosa* (15–25%), dan *lignin* (20–30%) selulosa memberikan kekuatan tarik, hemiselulosa berfungsi sebagai pengikat antarselulosa, sementara lignin memberikan kekakuan serta ketahanan terhadap serangan biologis dan pembusukan. Komposisi inilah yang membuat kayu menjadi bahan yang kuat, tahan lama, dan fleksibel untuk berbagai keperluan manusia (sukmana et al., 2022).

Dari sisi pemanfaatannya, kayu adalah bahan alami yang telah digunakan manusia sejak zaman prasejarah. Kayu digunakan untuk kebutuhan konstruksi, perabot rumah tangga, kerajinan, alat musik, transportasi (perahu, gerobak), hingga bahan bakar. Kayu juga menjadi bahan baku penting dalam industri seperti pembuatan pulp dan kertas, serta industri energi biomassa. Kemampuan kayu untuk diperbaharui menjadikannya sebagai sumber daya yang strategis dalam pembangunan berkelanjutan (budhi & hermawan, 2018).

Industri kecil dan menengah diberbagai bidang produksi relatif masih berjalan dengan baik, walau ada kendala ketersediaan bahan bakar minyak tanah yang mulai sulit ditemui dipasaran, dan mahal. Pelaku industri kecil demikian juga masarakat kota umumnya menggunakan bahan bakar minyak tanah dan sekarang banyak beralih ke lpg. Namun bagi industri kecil dan masarakat pedesaan bahan bakar minyak ataupun lpg dirasakan terlalu mahal, apalagi subsidi pemerintah cenderung berkurang. Juga faktor kepercayaan masarakat terhadap keamanan penggunaan lpg dirasa masih ada. Sehingga program konversi minyak ke lpg belum berhasil maximal kususnya di industri kecil dan masarakat pedesaan. Untuk mengatasi permasalahan mahalnya energi minyak dan gas, dan mempertahankan rasa aman terhadap penggunaan bahan bakar, masarakat pedesaaan dan industri kecil cenderung kembali ke tungku bahan bakar kayu.

2.4 Kayu sebagai bahan bakar

Kayu merupakan salah satu bahan bakar biomassa yang paling tua dan paling banyak digunakan di dunia, khususnya di daerah pedesaan dan negara berkembang. Sebagai sumber energi, kayu digunakan secara langsung dengan cara dibakar untuk menghasilkan panas, yang dimanfaatkan dalam aktivitas memasak, pemanasan, pengeringan hasil pertanian, dan juga dalam proses industri berskala kecil.

Kayu terdiri dari jaringan biologis kompleks yang tersusun atas *selulosa*, *hemiselulosa*, dan *lignin*, yang semuanya merupakan senyawa organik penghasil energi. Selama proses pembakaran, ketiga komponen ini akan terurai secara termal dan menghasilkan panas. Nilai kalor dari kayu sangat bervariasi tergantung pada jenis kayu, kadar air, serta kepadatannya. Umumnya, kayu keras seperti jati atau mahoni memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibanding kayu lunak seperti sengon atau pinus (putra & hasanah, 2020).

- a) Jenis kayu: menentukan jumlah energi yang dilepaskan selama pembakaran.
- b) Kadar air : kayu yang kering (kurang dari 20%) akan terbakar lebih efisien.
- c) Densitas kayu: semakin padat kayu, semakin lama waktu pembakarannya dan semakin tinggi energinya.

Kelebihan utama kayu sebagai bahan bakar adalah:

- a) Mudah diperoleh, terutama di daerah pedesaan.
- b) Biaya relatif murah dan dapat digunakan tanpa teknologi kompleks.
- c) Sumber energi terbarukan, selama dikelola secara berkelanjutan.

2.5 Jenis-jenis kayu yang digunakan

A). Kayu cemara gunung (*Casuarina junghuhniana* miq)

Dalam kehidupan sehari-hari, kayu merupakan bahan yang sangat sering dipergunakan untuk penggunaan alat kebutuhan. Terkadang sebagai barang dalam bentuk padat, kayu tidak dapat digantikan dengan bahan lain karena sifat khasnya. Sebagai pengguna dari kayu yang setiap jenisnya mempunyai sifat-sifat yang berbeda, perlu mengenal sifat-sifat kayu tersebut. Pemilihan atau penentuan jenis kayu untuk tujuan penggunaan tertentu harus betul-betul sesuai dengan yang diinginkan.

Keterbatasan bahan baku kayu baik untuk konstruksi maupun non konstruksi, khususnya yang berasal dari hutan tropis perlu segera diatasi. Salah satunya dengan upaya diversifikasi bahan dengan melakukan pemanfaatan jenis-jenis kayu yang belum banyak dikenal, namun memiliki potensi yang besar dan memiliki sifat kayu yang unggul. Kayu dari hutan.

Kayu cemara gunung di alternatifkan untuk menggantikan pasokan kayu komersial lain yang semakin berkurang.

Cemara gunung merupakan salah satu jenis tanaman fast growing (cepat tumbuh). Kegunaan lain dari tanaman ini yaitu sebagai sumber energi, khususnya kayu bakar. Kayu ini merupakan sumber energi dominan bagi masyarakat pedesaan yang pada umumnya berpenghasilan rendah. Menurut departemen ekonomi sumber daya manusia 2005, 80% sumber energi masyarakat pedesaan diperoleh dari kayu bakar, khususnya untuk memasak. Penggunaan kayu cemara gunung masih terbatas secara lokal untuk bahan bakar dan kayu arang. Dalam upaya peningkatan nilai guna dan pengoptimalan penggunaan kayu, teknologi dan rekayasa dalam bidang perkayuan sangatlah penting. Dalam pemilihan kayu yang baik sifat fisik

atau keawetan kayu merupakan hal yang penting. Faktor ini diperlukan karena kayu akan digunakan untuk menahan beban dengan aman dalam jangka waktu yang telah ditentukan. Oleh karena itu, pemanfaatan kayu cemara gunung untuk pengolahan kayu memerlukan pemahaman terhadap sifat-sifat penting dari kayu tersebut sehingga kayu dapat dimanfaatkan secara maksimal (Gatut Prakosa dkk. 2018).

B). Kayu kopi

Beberapa penelitian telah mengembangkan kompor biomassa yang menggunakan kayu kopi sebagai bahan bakar. Kompor ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi konsumsi bahan bakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kayu kopi dalam kompor biomassa dapat mencapai efisiensi termal hingga 48,8%, lebih tinggi dibandingkan dengan metode pembakaran tradisional .

Kulit kopi mengandung hidrogen peroksida dan mudah terbakar, sehingga memiliki banyak manfaat. Salah satu manfaat kulit kopi adalah dapat diolah menjadi briket. Briket merupakan bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti atau kayu bakar di dapur. Dalam rangka menciptakan/ menggunakan energi terbarukan untuk menghemat bahan bakar. Berbagai upaya telah dilakukan. Briket juga merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi krisis energi ini. Kopi sudah menjadi kebutuhan dalam kehidupan masyarakat (Rahayu dan Iryani 2024).

C). Kayu pinus

tanaman pinus sangat banyak manfaatnya yaitu menghasilkan cairan yang terdapat di kayunya seperti cairan getah yang disebut resin berwarna putih. Cairan ini sangat bermanfaat bagi industricat, gondorukem. Batangnya dapat dibuat kertas, pulp, kayu, bangunan. Pinus termasuk jenis tanaman yang cepat tumbuh pada tanah yang tidak subur (rudjiman, 1991). padi menghasilkan berbagai limbah seperti sekam padi, batang padi, dan merang. Indonesia memproduksi kira-kira 25 juta ton beras. Pada tingkat produksi demikian jumlah sekam yang dihasilkan adalah sebanyak 6,5 juta ton. Walaupun disana-sini sekam padi dipakai untuk berbagai keperluan, antara sebagai bahan bakar, namun limbah ini pada umumnya dibuang begitu saja dan kurang dimanfaatkan. Nilai panas yang terkandung dalam sekam padi adalah cukup besar yaitu sekitar 4.000 kkal/kg. Jumlah energi panas yang terkandung dalam limbah ini adalah sebesar 26 triliun kkal pertahun kadir, 1995 (Nugroho dkk. 2016).

2.6 Pengertian biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang berasal dari makhluk hidup, terutama tumbuhan dan hewan, yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Biomassa terdiri dari berbagai jenis material seperti kayu, sisa pertanian, limbah organik, kotoran hewan, dan limbah makanan, yang semuanya mengandung energi kimia yang dapat dikonversi menjadi panas, listrik, atau bahan bakar cair.

Biomassa merupakan sumber energi terbarukan karena berasal dari proses fotosintesis dan dapat diperbaharui dalam siklus waktu yang relatif singkat. Energi dari biomassa dilepaskan melalui pembakaran langsung atau melalui proses

konversi termokimia seperti pirolisis dan gasifikasi dan biokimia seperti fermentasi dan digesti anaerob (agustian et al. 2021).

Sebagai bahan bakar, biomassa memiliki potensi besar karena:

- a) Ramah lingkungan, karena emisi karbon dioksida dari pembakaran biomassa dianggap netral (karena telah diserap sebelumnya oleh tanaman selama pertumbuhannya).
- b) Mudah terurai, karena berasal dari bahan organik.
- c) Tersedia secara melimpah, terutama di negara agraris seperti indonesia.
- d) Namun, pemanfaatan biomassa juga memiliki tantangan seperti:
- e) Kandungan air yang tinggi, dapat menurunkan efisiensi pembakaran.
- f) Kandungan abu atau tar, yang dapat mengotori sistem pembakaran.
- g) Distribusi dan penyimpanan, yang memerlukan pengolahan agar biomassa lebih stabil dan padat energi seperti menjadi briket atau pellet.

Contoh biomassa:

- 1) Kayu bakar
- 2) Jerami padi
- 3) Sekam padi
- 4) Tandan kosong kelapa sawit
- 5) Kulit jagung
- 6) Serbuk gergaji
- 7) Kotoran hewan ternak

2.7 Biomassa sebagai energi alternatif

Tingkat penggunaan biomassa di Indonesia cukup tinggi yang digunakan pada sektor rumah tangga misalnya untuk keperluan memasak. Namun masyarakat umumnya menggunakan biomassa dengan cara dibakar secara langsung. Sehingga metode pembakaran yang dihasilkan kurang efisien dan tidak ramah lingkungan. Maka dari itu, sejak dahulu kompor gasifikasi biomassa telah dibuat dan tingkat pengembangannya sampai dengan sekarang ini. Berbagai desain dan model telah banyak dikembangkan untuk mengkonversi biomassa sebagai sumber energi alternatif untuk menghasilkan kinerja yang lebih baik.

Gorontalo telah menetapkan pertanian sebagai program unggulan yang berbasis jagung. Saat ini limbah hasil pertanian berupa tongkol jagung yang melimpah tersebut tidak dimanfaatkan dan hanya dibakar secara langsung oleh masyarakatnya. Terutama masyarakat yang tinggal dipemukiman pelosok desa bahkan daerah terisolir sehingga dipastikan bahwa jangkauan suplai energi listrik dari PLN tidak terdapat pada daerah tersebut. Oleh karena itu, Teknologi kompor gasifikasi yang dapat mengkonversi biomassa menjadi energi panas yang hemat energi dan ramah lingkungan sebagai solusi yang tepat untuk diperkenalkan kepada pemerintah daerah maupun komunitas masyarakat yang ada.

Tujuan Penelitian ini adalah rancang bangun dan fabrikasi kompor biomassa dengan bahan baku tongkol jagung. Hasil fabrikasi telah diuji kinerjanya dengan variasi ukuran bahan bakar yaitu 1;2 dan 3 cm masing-masing dengan jumlah bahan bakar 2 kg. Metode yang digunakan adalah water boiling test (WBT) terhadap 3 liter air. Berdasarkan pengujian didapatkan hasil berupa start-up tercepat terjadi

pada menit ke 5 dan waktu terlama pada menit ke 7, konsumsi bahan bakar yang dihasilkan berturut-turut 0,75 kg/h; 1.7 kg/h dan 2.6 kg/h. Power output yang didapatkan adalah terendah sebesar 0.53 kWh dan tertinggi sebesar 1.89 kWh. Sedangkan efisiensi termal kompor gasifikasi dihasilkan sebesar 23.7% (Djafar dkk. 2017)

Energi alternatif menjadi salah satu solusi utama dalam menjawab krisis energi global dan perubahan iklim. Di antara berbagai jenis energi terbarukan yang sedang dikembangkan, biomassa menempati posisi penting karena ketersediaannya yang melimpah, terutama di wilayah tropis dan agraris seperti Indonesia. Biomassa merujuk pada semua bahan organik yang berasal dari tumbuhan dan hewan, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar melalui proses pembakaran langsung atau konversi energi lainnya.

Pemanfaatan biomassa sebagai energi alternatif menawarkan pendekatan berkelanjutan karena siklus karbonnya yang seimbang. Karbon yang dilepaskan saat biomassa dibakar akan diserap kembali oleh tanaman melalui proses fotosintesis, menjadikannya sebagai sumber energi rendah emisi dibandingkan bahan bakar fosil. Contoh biomassa yang banyak digunakan meliputi kayu bakar, limbah pertanian, limbah kehutanan, kotoran hewan, dan limbah organik rumah tangga.

Salah satu bentuk pemanfaatan biomassa yang banyak diterapkan adalah sebagai bahan bakar padat untuk sistem pembakaran domestik dan industri, seperti tungku biomassa dan boiler. Dalam konteks rumah tangga, kayu sebagai bagian dari biomassa masih menjadi sumber energi utama di banyak pedesaan, meskipun

pemanfaatannya kini mulai ditingkatkan melalui teknologi tungku yang lebih efisien dan ramah lingkungan seperti tungku biomassa injeksi *overfire*.

Selain pembakaran langsung, biomassa juga dapat dikonversi menjadi bentuk energi lain melalui proses:

- a) Fermentasi, untuk menghasilkan bioetanol dari pati dan gula tanaman.
- b) Anaerobic digestion, untuk menghasilkan biogas dari limbah organik.
- c) Pirolisis dan gasifikasi, yang mengubah biomassa menjadi gas sintetis atau bahan bakar cair (sopian & abidin, 2022).

Keuntungan utama biomassa sebagai energi alternatif adalah kemampuannya untuk mengurangi limbah, menyediakan energi lokal, serta menciptakan lapangan kerja baru, terutama di sektor pengolahan limbah dan pertanian energi. Namun, tantangannya mencakup pengelolaan emisi pembakaran, kebutuhan teknologi yang sesuai, serta kebijakan dukungan dari pemerintah.

Dengan kemajuan teknologi dan kesadaran lingkungan yang semakin meningkat, biomassa berpotensi menjadi tulang punggung energi alternatif di masa depan, khususnya di negara berkembang yang memiliki akses terbatas terhadap energi fosil.

2.8 Teori pembakaran

Pembakaran adalah suatu reaksi atau perubahan kimia apabila bahan mudah terbakar (combustible material) bereaksi dengan oksigen atau bahan pengoksidasi lain secara eksotermik. Menurut Naruse et al (1999), melakukan penelitian mengenai karakteristik pembakaran biomassa yang berasal dari limbah jagung. Didapatkan bahwa karakteristik pembakaran biomassa tergantung dari komposisi biomassa semisal lignin dan cellulose, disamping itu juga didapatkan bahwa biomassa dapat memperbaiki proses penyalaan. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran bahan padat, antara lain sebagai berikut :

1. Ukuran partikel Partikel yang lebih kecil ukurannya akan lebih cepat terbakar.
2. Kecepatan aliran udara Laju pembakaran biobriket akan naik dengan adanya kenaikan kecepatan aliran udara dan kenaikan temperatur.
3. Jenis bahan bakar Jenis bahan bakar akan menentukan karakteristik bahan bakar. Karakteristik tersebut antara lain kandungan volatile matter dan kandungan air (moisture).
4. Temperatur udara pembakaran Kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran. Model matematis laju pembakaran di dalam sebuah tungku pembakaran, mencerminkan urutan proses pembakaran bahan bakar padat. Pembakaran berlangsung secara cepat, sehingga satu proses berlangsung secara cepat menyusul proses sebelumnya. Sementara itu, proses perpindahan panas yang terjadi meliputi proses perpindahan panas secara konduksi dari dinding tungku pembakaran ke permukaan bahan bakar atau

sebaliknya, proses perpindahan panas konveksi dari udara sekitar ke bahan bakar atau sebaliknya (Kurniawan, E. 2012).

2.9 Pengertian injeksi pada tungku biomassa

Pengertian injeksi pada tungku biomassa mengacu pada proses memasukkan (menyuntikkan) suatu fluida – biasanya udara, uap air, atau gas – ke dalam ruang pembakaran untuk meningkatkan efisiensi pembakaran bahan bakar biomassa (seperti kayu, sekam, serbuk gergaji, dll).

A. Konsep dasar injeksi pada tungku biomassa:

- a) Meningkatkan pencampuran udara dan bahan bakar pembakaran lebih sempurna.
- b) Mengatur suhu pembakaran menghindari pembakaran yang terlalu cepat atau tidak merata.
- c) Mengoptimalkan efisiensi energi dari bahan bakar biomassa.

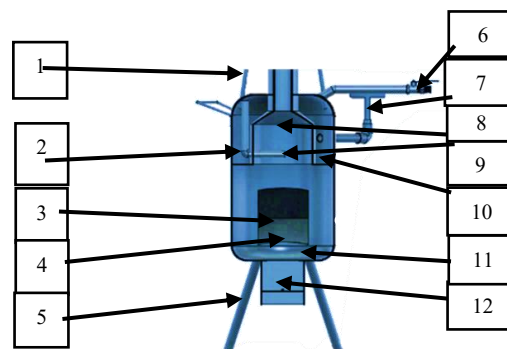
B. Contoh penerapan

Pada tungku biomassa injeksi *overfire*, terdapat:

- a) Tangki injektor uap (penyimpan air yang akan diuapkan)
- b) Katup kontrol uap (mengatur seberapa banyak uap yang masuk)
- c) Lubang injektor (untuk menyembrotkan uap/udara)
- d) Saluran masuk dan pipa injektor (mengalirkan uap ke ruang bakar)

2.10 Tungku biomassa injeksi *overfire*

Tungku biomassa injeksi *overfire* adalah alat pembakaran yang memanfaatkan bahan bakar biomassa (seperti kayu, sekam padi, tongkol jagung) dengan sistem injeksi udara sekunder (*overfire*) untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas pembakaran. udara tambahan diinjeksi dari atas atau samping disebut *overfire* ke ruang pembakaran. udara ini membantu membakar gas sisa dari pembakaran primer, sehingga meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi.



Gambar 2.1 Bagian-bagian tungku biomassa injeksi uap *overfire*

Keterangan:

1. Dudukan panci untuk atau permukaan penyangga beban berfungsi sebagai tempat meletakkan alat masak panci, wajan, dll untuk menerima panas dari pembakaran.
2. Pipa saluran injektor uap berfungsi sebagai mengalirkan uap air dari tangki injektor menuju ruang pembakaran dalam tungku
3. Ruang pembakaran berfungsi sebagai tempat utama terjadinya proses pembakaran bahan bakar kayu, briket, dll. Di sinilah energi panas dihasilkan.

4. Besi jaring untuk bahan bakar berfungsi sebagai penyangga bahan bakar dan untuk menyaring serta memperlancar aliran udara dari bawah.
5. Kaki tungku berfungsi sebagai menopang seluruh struktur tungku agar stabil dan memiliki jarak dari permukaan tanah.
6. Keran control uap berfungsi sebagai mengatur seberapa banyak udara atau uap air yang masuk untuk mengontrol temperatur dan efisiensi pembakaran.
7. Saluran masuk tangki injektor. berfungsi sebagai pipa atau jalur yang digunakan untuk mengisi air ke dalam tangki injektor uap pada tungku biomassa.
8. Saluran cerobong berfungsi sebagai jalur pembuangan gas hasil pembakaran ke udara luar.
9. Lubang injektor uap. berfungsi sebagai tempat keluarnya uap dari tangki injektor ke ruang pembakaran.
10. Tangki injektor. berfungsi sebagai wadah penampung dan pemanas air untuk menghasilkan uap, yang kemudian disalurkan ke ruang pembakaran.
11. Ruang penampungan abu. berfungsi sebagai wadah untuk menampung sisa pembakaran bahan bakar
12. Ventilasi / saluran pembuangan abu. berfungsi sebagai jalur atau lubang khusus yang dirancang untuk mengeluarkan abu dari dalam tungku secara efisien, tanpa harus membongkar seluruh bagian tungku.

2.11 Manfaat injeksi uap pada pembakaran

Injeksi uap (*steam injection*) dalam proses pembakaran, terutama pada mesin pembakaran dalam atau sistem pembangkit energi, memiliki beberapa manfaat penting, baik dari sisi efisiensi maupun lingkungan. Berikut adalah penjelasan mengenai manfaat injeksi uap pada pembakaran:

1. Meningkatkan efisiensi termal

Uap air yang disuntikkan ke dalam ruang bakar dapat meningkatkan efisiensi termal mesin. Uap menyerap sebagian panas dari pembakaran dan membantu menjaga suhu yang lebih seragam, sehingga pembakaran bahan bakar menjadi lebih sempurna.

2. Meningkatkan daya mesin

Pada beberapa aplikasi (seperti mesin turbin gas atau diesel), injeksi uap dapat meningkatkan massa total gas dalam silinder/turbin, sehingga menghasilkan tekanan lebih besar dan peningkatan output daya.

3. Menghemat bahan bakar

Dengan uap membantu proses pembakaran, jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya yang sama bisa lebih rendah, yang berarti efisiensi bahan bakar meningkat.

5. Mengurangi endapan karbon dan keausan

Uap juga dapat membantu membersihkan ruang bakar dari endapan karbon, serta menjaga suhu lebih stabil. Ini bisa mengurangi keausan komponen mesin dan memperpanjang umur operasional.

2.12 Kinerja tungku biomassa injeksi *overfire*

Tungku biomassa injeksi *overfire* merupakan salah satu inovasi dalam teknologi pembakaran biomassa yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi termal dan menurunkan emisi pembakaran. Sistem ini menggunakan injeksi udara sekunder dari atas (*overfire*), yang bertujuan untuk membakar ulang gas-gas volatil yang dihasilkan selama pembakaran primer, sehingga menghasilkan panas tambahan dan mengurangi asap yang terbuang.

Kinerja dari tungku biomassa injeksi *overfire* dapat dievaluasi melalui sejumlah parameter tanpa perlu mengulas detail mekanisme perpindahan panas secara konduksi maupun konveksi. Fokus penilaian lebih diarahkan pada efektivitas penggunaan energi bahan bakar serta efisiensi pembakaran berdasarkan parameter langsung di lapangan (putra & handoko, 2020).

1. Suhu maksimum ruang bakar

Salah satu indikator utama kinerja tungku adalah suhu tertinggi yang tercapai di dalam ruang bakar. Suhu yang tinggi menandakan pembakaran yang lebih sempurna dan efisiensi energi yang lebih baik. Sistem *overfire* terbukti mampu meningkatkan suhu maksimum karena adanya pembakaran sekunder dari gas-gas mudah terbakar

2. Waktu pemanasan (*time to boil*)

Efisiensi tungku juga diukur dari waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan air. Semakin cepat air mendidih, maka efisiensi pembakaran semakin tinggi. Injeksi *overfire* membantu mempercepat waktu didih karena proses pembakaran yang lebih optimal menghasilkan panas lebih besar

3. Efisiensi termal

Efisiensi termal dihitung dari perbandingan antara energi yang diserap oleh medium pemanas (seperti air dalam panci) dengan energi yang tersedia dalam bahan bakar. Sistem *overfire* menunjukkan efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan sistem *underfire* karena proses pembakaran berlangsung dua tahap

4. Konsumsi bahan bakar

Kinerja tungku dinilai pula berdasarkan jumlah bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan panas tertentu. Sistem *overfire* memungkinkan penggunaan bahan bakar yang lebih hemat karena pembakaran berlangsung lebih sempurna, sehingga tidak banyak energi yang terbuang dalam bentuk asap atau sisa pembakaran yang tidak terbakar sempurna

5. Stabilitas nyala api

Nyala api yang stabil menunjukkan pembakaran berlangsung dengan baik dan merata. Sistem injeksi *overfire* membantu menjaga kestabilan nyala api dengan suplai udara yang terkontrol, terutama saat kayu mulai mengeluarkan gas volatil pada suhu tinggi.

2.13 Rumus yang digunakan

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):

$$FCR = \frac{m_f}{t_f} \dots\dots\dots(2.1)$$

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):

$$P_{Out} = \frac{\Delta m_k \times HHV}{\Delta t} \dots\dots\dots(2.2)$$

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. Panas sensibel (*sensibel 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):

$$SH = M_w \times C_p \times \Delta T \dots\dots\dots (2.3)$$

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)

4. Panas laten (*laten heat*)

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

$$LH = W_e \times H_{fg} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

LH = Panas laten, (kcal)

W_e = Berat air yang diuapkan, (kg)

H_{fg} = Panas laten air, (540 kcal/kg)

5. 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):

$$\eta_t = \frac{SH+LH}{HHV \times \Delta m_k} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

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)

2.14 Jurnal rujukan

1. Kabupaten Pesawaran memiliki perkebunan kakao dengan luas 9,023 Ha dengan produksi kakao sebesar 2,969 ton per tahun. Sejumlah petani kakao mengembangkan sistem pengeringan menggunakan tungku pengering berbahan bakar kayu, karena lebih menguntungkan daripada dengan pengeringan matahari. Pengeringan biji kakao dengan sinar matahari membutuhkan waktu yang lama (sekitar 7 hari) dengan kadar air akhir hanya 12% dan tergantung pada keadaan cuaca. Pengeringan biji kakao adalah proses pasca panen terakhir, yang menggunakan pemanas udara untuk mengurangi kadar air dalam biji kakao menjadi 7,0%.

Pengambilan data untuk analisis efisiensi termal tungku modifikasi meliputi: pengukuran temperatur dalam ruang bakar, dinding dalam oven, temperatur sekitar ruang bakar (temperatur ambang), kecepatan angin dari blower dengan alat anemometer. Proses pengeringan biji kakao dilakukan untuk mengukur perubahan rasio kadar air berat basah (%) terhadap variasi temperatur 50-80 C dan lama pengeringan 1-25 jam. Secara lengkap data-data yang diperoleh selama simulasi pengujian tungku konvensional dan modifikasi

Bahan bakar kayu yang digunakan sebagai sumber panas biomasa adalah jenis kayu karet yang sudah dikeringkan. Kayu karet memiliki HHV sekitar 17,098 kJ/kg (Badaruddin dkk. 2017).

2. Energi biomassa adalah sumber energi terbarukan yang dihasilkan dari benda-benda di sekitar kita seperti kayu, limbah pertanian, kotoran hewan dan tanaman hidup. Biomassa digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan bentuk-bentuk energi lainnya. Bahan bakar ini bisa dalam bentuk gas, cair atau padat. Penggunaan energi biomassa memiliki berbagai manfaat yaitu manfaat lingkungan dan ekonomi. Energi biomassa telah menjadi energi alternatif bagi bahan bakar fosil yang saat ini umum dipakai untuk memproduksi energi.

Penggunaan energi terbarukan sebagai energi alternatif merupakan keharusan karena cadangan minyak bumi di Indonesia semakin menipis. Terutama penggunaan energi dari biomassa bisa menjadi energi alternatif dalam kebutuhan masak sehari-hari terutama di wilayah pedesaan. Akan tetapi penggunaan tungku biomassa konvensional pada masyarakat umumnya masih memiliki permasalahan dengan emisi gas buang hasil pembakaran dan efisiensi.

Pada penelitian ini dirancang tungku biomassa yang bisa mengurangi emisi gas buang dan meningkatkan efisiensi dari tungku tersebut. Metode penelitian yang digunakan berupa pengujian pengaruh kecepatan udara yang dialirkan ke dalam ruang pembakaran tungku dengan variasi kecepatan udara 0,5 m/s, 1,0 m/s dan 1,5 m/s. Dengan ketiga variasi pengujian di atas dapat kita ketahui seberapa besar pengaruh variasi kecepatan udara terhadap proses pembakaran di dalam tungku serta lama waktu pengujian berlangsung.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kecepatan udara yang dialirkan sangat berpengaruh pada energi yang dihasilkan oleh bahan bakar kayu, lama waktu pendidihan air dan efisiensi tungku. Dimana energi yang dihasilkan

bahan bakar kayu terbesar didapat pada kecepatan udara 1,0 m/s sebesar 612 kJ, waktu pendidihan air tercepat pada kecepatan udara 1,5 m/s dengan waktu 300 detik dan nilai efisiensi termal tungku terbaik adalah 58% pada pengujian tungku dengan penambahan aliran udara dengan kecepatan 1,5 m/s Ajis, A. A., Widiharsa, F. A., & Ma'ruf, M. (2015).

3. Saat ini, ketersediaan energi fosil semakin berkurang, khususnya minyak bumi, gas bumi dan batubara. Sejatinya sebelum mengenal energi fosil, manusia sudah menggunakan biomassa sebagai sumber energi. Namun sejak manusia beralih pada minyak, gas bumi atau batu bara untuk menghasilkan tenaga, penggunaan biomassa tergeser dari kehidupan manusia. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan dan berkelanjutan memiliki potensi yang sangat besar 146,7 juta ton per tahun. Sementara potensi biomassa yang berasal dari sampah untuk tahun 2020 diperkirakan sebanyak 53,7 juta ton. Peningkatan penggunaan biomassa dari limbah dapat mengurangi tingkat polusi di dunia dengan mengkonversi sampah menjadi sumber energi yang berguna. Penggunaan biomassa merupakan pilihan yang lebih ramah lingkungan bila dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar fosil, sekaligus dapat membantu mengurangi tingkat total emisi gas rumah kaca. Sumber biomassa dapat ditemukan di semua negara di dunia. Banyak teknologi berbeda yang dapat digunakan untuk mengkonversi energy biomassa menjadi bentuk energi yang berguna.

Sejatinya sebelum mengenal bahan bakar fosil, manusia sudah menggunakan biomassa sebagai sumber energi. Namun sejak manusia beralih pada minyak, gas bumi atau batu bara untuk menghasilkan tenaga, penggunaan biomassa

tergeser dari kehidupan manusia. Pada saat ini, ketersediaan energi fosil terus berkurang, khususnya minyak bumi. Setelah terjadinya krisis energi yang pernah mencapai puncak sekitar dekade 1970-an, dunia saat ini menghadapi kenyataan bahwa persediaan minyak bumi, sebagai salah satu tulang punggung produksi energi terus berkurang. Pada masa mendatang, energi dunia akan terancam dengan semakin sulit untuk menemukan sumber energi dari fosil. Eksplorasi yang telah dilakukan, konsumsi dalam jumlah besar serta pertambahan penduduk yang tinggi di masa depan, akan membuat persediaan energi fosil khususnya minyak bumi tidak dapat mengimbangi permintaan terhadap kebutuhan energi. Para ahli berpendapat, dengan pola konsumsi seperti sekarang diperkirakan energi fosil akan segera habis. Minyak bumi habis 30 tahun lagi pada tahun 2052, gas bumi habis 40 tahun lagi pada tahun 2060 dan batubara habis 70 tahun lagi pada tahun 2090,

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja, dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi bahan bakar. Konversi biomassa sebagai sumber energi terbarukan (parinduri dan parinduri, 2020).