SKRIPSI

Analisis Kelayakan Pemanfaatan Limbah Kayu Untuk Bahan Bakar Boiler (Studi Kasus di PT. Putra Albasia Mandiri)

ALFAN BAHRUL ALIM

18.0501.0010

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI S1

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG

2022

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Permasalahan

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah. Salah satu kekayaan alam Indonesia adalah hutan. Sebagian besar hutan di dunia berada di Indonesia. Hutan merupakan suatu hamparan ekosistem berisi sumber daya alam yang didominasi oleh pepohonan dan memiliki tiga fungsi, yaitu: fungsi Konservasi, fungsi Lindungi, dan fungsi Produksi (Tang et al., 2019). Hasil hutan di Indonesai terdapat banyak jenis diantaranya adalah hasil hutan kayu dan non kayu. Potensi ini dapat dimanfaatkan pada sektor pariwisata, sektor pembangunan, dan sektor perindustrian. Kayu hasil hutan Indonesia dimanfaatkan oleh industri untuk dijadikan produk. Pemanfaatan sumber daya alam dapat mendongkrak perekonomian nasional khususnya dari sektor perindustrian.

Manfaat hutan salah satunya adalah sebagai penghasil kayu yang dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan papan dan bahan baku industri perkayuan (*wooding*) serta merupakan komoditi ekspor non migas yang cukup strategis dalam menambah devisa bagi negara Indonesia (Bahari, 2007). Kayu merupakan bahan yang sangant bermanfaat pada sektor industri khususnya. Bahan ini kuat akan tetapi mudah untuk dipotong dan diukir. Perkembangan Industri kayu pada awalnya adalah industri pengrajin dan sangat diminati oleh industri luar negri untuk diolah kembali menjadi kayu lapis kemudian melakukan *re-ekspor*. Melihat potensi ini Indonesia mulai mengembangkan industri kayu lanjutan. Tidak hanya menghasilkan barang mentah tetapi sudah dapat menghasilkan barang setengah jadi maupun barang jadi dan menjadi barometer peningkatan ekonomi baru di Indonesia (Rambe, 2019).

Industri membutuhkan energi sebagai infrastruktur pengerak pada usaha yang dilakukan. Salah satu contoh energi yang paling banyak menyangkut kepentingan hidup orang banyak adalah energi listrik. Sektor industri sebagai pengerak ekeonomi suatu daerah membutuhkan energi salah satunya energi listrik. Apabila perekonomian meningkat maka juga akan meningkatkan kebutuhan listrik (Mubarak, 2018). Energi listrik tidak sepenuhnya digunakan pada sektor industri. Sumber energi lain juga digunakan didalam industri, sebagai contoh pada kasus ini adalah bahan bakar yang digunakan pada industri kayu. Sistem pengeringan pada industri kayu mengunakan ketel uap selanjutnya pada penelitian ini akan disebut *Boiler* digunakan sebagai sumber energi panas pada sistem *Klin Dry.*

Boiler atau ketel uap merupakan suatu alat berbentuk bejana tertutup yang berguna untuk menghasilkan uap dari hasil pembakarannya. Pengunaan bahan bakar untuk menyalakan *Boiler* memilki beberapa jenis zat, yaitu: padat (batu bara), cair (BBM), dan gas. Hasil pembakaran setiap zat memiliki perbedaan temperature dan juga suhu yang dipengaruhi lingkungan sekitar. Bahan bakar lain yang digunakan pada industri kayu untuk menyalakan *Boiler* adalah limbah kayu yang dihasilkan oleh proses produksi pada industri itu sendiri. Pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar penganti memiliki perbandingan kurang lebih 2:1 dengan mengunakan bahan bakar batu bara. Limbah kayu membutuhkan volume yang lebih banyak dibandigkan dengan mengunakan batu bara. Menjadi pilihan dari industri sendiri untuk memutuskan pengunaan bahan bakar mana yang lebih menguntungkan bagi proses produksi di industri pengolahan kayu (Gunarto et al., 2019).

Limbah kayu pada industri pengolahan kayu tidak dapat terhindarkan kemunculannya. Semakin banyak volume kayu yang diolah maka akan semakin banyak pula limbah kayu yang dihasilkan. Perusahaan apabila tidak melakukan pengendalian terhadap limbah kayu ini dapat terjadi penumpukan dan berdampak buruk bagi lingkungan. Data yang diambil pada bulan September tahun 2021 di PT. Putra Albasia Mandiri menunjukan bahwa dari sebanyak 5998,419 m^3 bahan baku kayu yang digunakan dalam satu bulan, total rendemen

produk jadi sebanyak 63,62 % dan sisanya sebesar 36,38 % atau sebanyak 2181,03 m^3 menjadi sampah produksi dengan rata-rata 72,701 m^3 perhari. Potensi kapasitas limbah kayu ini dapat dimanfaatakan dengan cara mengelola limbah kayu menjadi lebih bernilai. Limbah kayu memiliki beberapa jenis dan dipengaruhi oleh proses pengolahan yang dilakukan terhadap kayu tersebut. Jenis limbah kayu secara umum, yaitu: serbuk kayu, kulit kayu, dan potongan kayu. Volume jenis limbah kayu yang dihasilkan juga dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Limbah kayu ini dapat dimanfaatakn untuk dibuat produk baru yang bernilai jual. Melihat potensi volume limbah kayu yang setiap hari selalu bertambah, pada kasus ini limbah kayu dimanfaatkan sebagai bahan bakar utama untuk menyalakan ketel uap. Limbah kayu dipilih digunakan sebagai energi karena limbah kayu dapat langsung digunakan untuk bahan bakar tanpa penambahan bahan (Hasna et al., 2019). Meskipun disisi lain volume limbah kayu semakin menupuk, pemanfaatan limbah kayu dapat memberikan keuntunga bagi perusahaan (Rambe, 2019).

Berdasarkan kasus diatas peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan mengambil judul "Analisis Kelayakan Pemanfatan Limbah Kayu untuk Bahan Bakar *Boiler* (studi kasus di PT. Putra Albasia Mandiri)". Penulis di penelitian ini berfokus pada menganalisis efisiensi dari pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar dibandingkan mengunakan bahan bakar lain untuk *Boiler*. Alasan penulis untuk memilih kasus ini adalah karena upaya pengendalian produksi untuk memaksimalkan pengunaan bahan baku agar tidak terbuang atau hanya menimbunlkan limbah yang dapat berdampak buruk bagi lingkungan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar Belakang Rumusan Masalah pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis teknis pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar dibandingkan mengunakan bahan bakar lain?
2. Bagaimana analisis ekonomis pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar dibandingkan mengunakan bahan bakar lain?
3. Bagaimana analisis lingkungan pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar dibandingkan mengunakan bahan bakar lain?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan Latar Belakang Tujuan Penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Untuk Mengetahui efisiensi pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar dari aspek teknis.
2. Untuk Mengetahui aspek ekonomis dari pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar dibandingkan mengunakan bahan bakar lain.
3. Untuk Mengetahui aspek lingkungan dari pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar dibandingkan mengunakan bahan bakar lain.

D. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memahami efiseinsi dalam pengunaan sumber daya dan penagulangan dampak buruk pada lingkungan.
2. Memberikan ususlan perbaikan aktifitas, sehingga mengurangi dampak buruk bagi lingkungan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian yang Relevan

1. Penelitian yang dilakukan oleh Laili Budi Hartanto dkk (2020) dengan Judul Analisa Teknis dan Biaya Penggunaan Bahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit dan Batu Bara pada *Boiler* DZL4 di PT. Lautan Luas Tbk. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis jumlah kebutuhan serta biaya bahan bakar batu bara dan cangkang sawit. Metode penelitian adalah dengan menghitung kebutuhan kalor *boiler*, kebutuhan bahan bakar, jumlah biaya untuk setiap bahan bakar dan dilanjutkan dengan analisis. Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan kalor *boiler* dipengaruhi oleh kapasitas *boiler*, semakin besar kapasitas yang diinginkan semakin tinggi pula kebutuhan kalor *boiler*. Berdasarkan kebutuhan kalor *boiler* pada tiap kapasitas, maka kebutuhan bahan bakar batu bara dan cangkang sawit per jam berturut-turut sebesar 304 kg, 364 kg, 483 kg dan 430 kg, 511 kg, 681 kg. Berdasarkan jumlah konsumsi bahan bakar pada tiap kapasitas *boiler*, maka biaya untuk batu bara dan cangkang sawit per jam berturut-turut adalah Rp350.000, Rp419.000, Rp555.500, dan Rp365.500, Rp435.500, Rp579.000. Berdasarkan data hasil perhitungan tersebut, berkaitan dengan penggunaan jumlah bahan bakar dan biaya yang dibutuhkan, maka bahan bakar batu bara lebih efisien digunakan untuk pengoperasian *boiler* DZL4 pada tiap kapasitas.

2. Penelitian yang dilakukan oleh Luthfi Parinduri dkk (2019) dengan Judul Analisa Persediaan Limbah Kering Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik PTPN IV Kebun Adolina. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui konsumsi cangkang dan serabut yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan *boiler*, dan untuk mengetahui penghematan yang bisa dilakukan dengan mengurangi bahan bakar solar sebagai pengoperasian *boiler* dengan mengunakan bahan bakar cangkang dan serabut. Berdasarkan perhitungan kuantitatif didapati bahwa kebutuhan bahan bakar rata-rata dalam satu tahun dengan mengunakan cangkang sebanyak 730.375 kg dan serabut sebanyak 1.462.336 kg, dengan

ketersediaan rata-rata bahan bakar dari cangkang sebanyak 814.495 kg dan serabut sebanyak 1.553.473 kg, dari data tersebut menperlihatkan bahwa kebutuhan bahan bakar tercukupi dengan baik dan masih memiliki sisa sehingga tidak perlu menambah stok guna memenuhi kebutuhan bahan bakar. Bahan bakar solar masih digunakan untuk proses menghidupkan mesin dan kebutuhan rata-rata solar *boiler* dalam tiga tahun terakhir sebanyak 557 liter/bulan, apabila dikalikan dengan harga solar yang mencapai Rp. 9.800/liter maka akan mengeluarkan biaya sebesar Rp. 5.458.600 dan masih diangap wajar.

3. Penelitian yang dilakukan oleh Doddy Irawan dkk (2018) dengan Judul Analisa Perbadingan Bahan Bakar Batu Bara Dengan Cangkang Sawit Terhadap *Boiler* Cfb Di Pt Indonesia Chemical Alumina. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan konsumsi bahan bakar *boiler* di PT. ICA Tayan. Penelitian ini menganalisis serta menghitung konsumsi bahan bakar oleh *boiler* CFB *(circulating Fluidazed bed)* dengan kapatitan 75 ton/jam dengan cara mengambil data aktual dilapangan. Berdasarkan perhitungan didapati kebutuhan kalor adalah 50.192.920,48 kkal/jam dan jumlah bahan bakar batu bara yang diperlukan adalah 9,95 ton/jam atau 7.170,4 ton/bulan dan bahan bakar cangkang memerlukan 10,5 ton/jam atau 7.592,2 ton/bulan. Rata-rata konsumsi bahan bakar batu bara selama 1 bulan 8,2 ton/jam dan Rata-rata konsumsi bahan bakar cangkang selama 1 bulan 8,7 ton/jam. Berdasarkan perhitungan biaya bahan bakar batu bara dan bahan bakar cangkang, lebih ekonomis adalah biaya bahan bakar cangkang yaitu sebanyak Rp. 4.379.760.000/bulan jumlah pemakaiannya mencapai 6.256 ton/bulan. Sedangkan biaya pemakaian batu bara sebanyak Rp. 7.675.200.000/bulan dan jumlah pemakaiannya lebih rendah dari cangkang yaitu 5.904 ton /bulan.

Berdasarkan kepada beberapa penelitian sebelumnya untuk mengetahui efisiensi dari pemanfaatan limbah kayu pembahasan hanya sampai kepada analisis aspek teknik, analisis aspek ekonomi, dan analisis aspek lingkungan. Peneliti berencana untuk memperbarui dan melengkapi dari penelitian yang pernah dilakukan berkaitan dengan pemenafaatan limbah kayu untuk bahan bakar *boiler*.

B. Pemanfaatan Limbah Kayu

1. Limbah Kayu

Limbah merupakan zat atau bahan yang dihasilkan dari sisa proses produksi yang sudah tidak memiliki nilai untuk digunakan pada proses produksi utamanya dan dapat berupa barang rusak atau cacat dalam proses produksi (Halimah et al., 2018). Sedangkan limbah kayu adalah sisa-sisa kayu atau bagian kayu yang dianggap tidak bernilai ekonomi lagi dalam proses tertentu, pada waktu tertentu dan tempat tertentu yang mungkin masih bermanfaat pada proses dan waktu yang berbeda. Pada umumnya, limbah kayu terdiri atas: sisa gergajian, sisa potongan panjang dan pendek, dan kulit kayu (Setiawan et al., 2019). Limbah kayu sangat sulit untuk dikurangi, hanya bisa dimanfaatkan seoptimal mungkin menjadi barang yang bernilai ekonomis (Ramadhan & Hendrawan, 2018).

2. Dampak Limbah Kayu

Kayu menjadi salah satu sumber daya alam yang potensial untuk digunakan sebagai sumber energi maupun bahan pokok suatu produk karena keberadaanya yang mudah ditemui dan mudah diolah. Pengunaan kayu sebagai bahan produksi tidak bisa lepas dari menghasilkan limbah kayu, semakin banyak volume kayu yang diolah maka akan semakin banyak pula limbah yang dihasilkan. Penggunaan sumber daya alam dengan jumlah yang besar menyebabkan ketidakseimbangan antara sumber daya manusia dan sumber daya alam. Pembuangan limbah yang melebihi batas kemampuan alam untuk mengolah limbah akan menimbulkan limbah berserakan yang tidak mampu lagi diolah oleh alam (Kahfi et al., 2021).

3. Pemanfaatan Limbah

Limbah kayu yang dihasilkan dari kegiatan proses produksi dapat dioptimalisasi dengan dimanfaatkan sesuai jenis limbah yang dihasilkan dari proses sebelumnya. Industri pengolahan kayu khususnya industri *plywood* memiliki beberapa jenis limbah dan dimanfaaatkan sesuai dengan jenisnya, pada umumnya jenis limbah dan pemanfaatannya yaitu: serbuk gergaji dibuang ke pembuangan untuk menjadi bahan bakar *boiler*, potongan tepi finir dimanfaatkan sebagai tambalan lembaran finir yang rusak, potongan kayu lapis dimanfaatkan sebagai pembatas susunan finir dan kayu lapis, dan debu kayu lapis dimanfaatkan sebagai bahan bakar *boiler*. Limbah industri yang dihasilkan juga dapat diolah kembali dengan cara dikelola menjadi briket arang dan arang aktif yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi (Ramadhanti et al., 2019).

4. Potensi Bahan Bakar Limbah Kayu

Limbah kayu yang sudah benar-benar tidak dapat diolah lagi dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif, baik menjadi bahan bakar pokok maupun bahan bakar campuran. limbah kayu berfungsi sebagai energi pemanas alternatif yang keberadaannya dapat mengantikan batu bara dikarenakan melihat potensi volume limbah kayu yang semakin bertambah dan tidak perlu memperhatikan jenis limbah kayu (Muhammad et al., 2020). Data di perusahaan menunjukan bahwa pada bulan september 2021 dari 100 % total bahan baku produksi yang digunakan, 36,38 % menjadi sampah produksi atau limbah produksi. Energi panas dapat dihasilkan dari sumber daya limbah kayu dengan mengunakan mesin berupa ketel uap atau *Boiler* yang berfungsi mengkonversi bahan kimia atau sumber energi lain menjadi energi panas.

C. Boiler

1. Definisi boiler

Boiler atau ketel uap adalah bejana bertekanan (*pressure vessel*) dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk uap panas atau *steam*. Ketel uap juga termasuk mesin konversi energi yang mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi uap atau energi panas. Sistem boiler terdiri atas sistem air umpan, sistem uap panas (*steam*) dan sistem bahan bakar.

Sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* secara otomatis sesuai dengan kebutuhan tekanan *steam*. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam *boiler*. *Steam* dialirkan melalui sistem perpipaan ke titik lokasi penggunaan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar dan melakukan proses pembakaran untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada ruang pembakaran (*furnace*) tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem *boiler* atau tipe dari *boiler* tersebut, apakah mengunakan bahan bakar *liquid*, gas, *solid fuel* atau kombinasi (Hartanto et al., 2020).

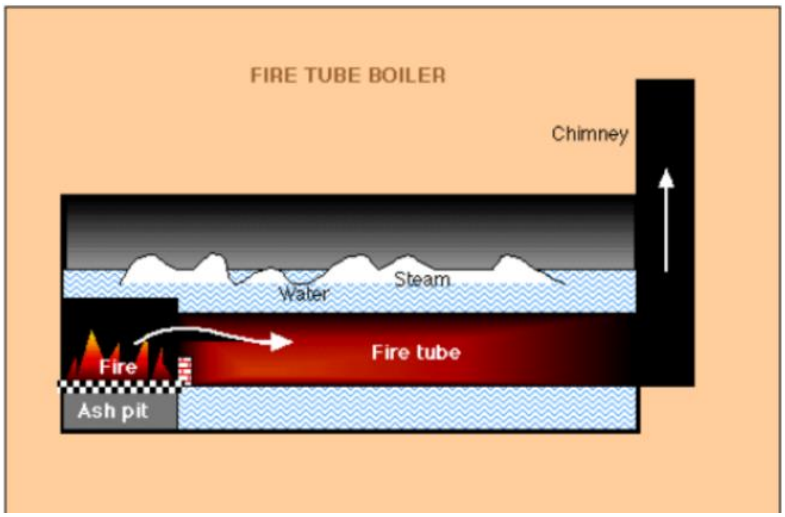
Bagian *boiler* secara umum yang paling utama terdiri dari *Furnace* (ruang bakar) sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas, dan *steam drum* yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial *steam* (energi panas). *Boiler* pada dasarnya terdiri dari drum yang tertutup ujung dan pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Klasifikasikan ketel *steam* tergantung kepada sudut pandang masing–masing. Secara umum syarat ideal *boiler* yaitu: dapat menghasilkan jumlah uap yang maksimum dengan jumlah bahan bakar yang minimum, kapasitas uap dan tekanan kerja harus konstan, perangkat pembakaran mampu membakar unsur-unsur bahan bakar secara sempurna sehingga di dapat hasil yang optimal, sirkulasi air harus baik agar diperoleh suhu yang merata pada seluruh bagian ketel, maka penyerapan kalor oleh air lebih efektif, konstruksi ketel sederhana, sehingga biaya pembuatan, operasi dan perawatan lebih ekonomis dan hemat tempat, dan alat-alat perlengkapan ketel harus berfungsi dengan baik sehingga ketel dapat beroperasi dengan baik dan aman (Muzaki & Mursadin, 2019).

2. Klasifikasi *Boiler*

Berdasarkan aliran fluida yang terdapat didalam *boiler*, secara garis besar *boiler* dibedakan menjadi 2 tipe utama, yaitu tipe *fire tube boiler* (*boiler* pipa api) dan tipe *water tube boiler* (*boiler* pipa air) (Hartanto et al., 2020).

a. Boiler Pipa Api (Fire Tube Boiler)

Fire Tube Boiler adalah salah satu tipe *boiler* yang mengalirkan panas hasil pembakaran melalui pipa-pipa. Gas panas hasil pembakaran dari ruang bakar mengalir didalam pipa, sehingga akan memanaskan dan menguapkan air yang berada di sekeliling pipa–pipa api tersebut seperti pada **Gambar 2.1**. Ketel uap pipa api pada umumnya digunakan untuk kebutuhan kapasitas *steam* yang relatif kecil dengan tekanan dan temperatur *steam* rendah dan sedang (Hartanto et al., 2020).

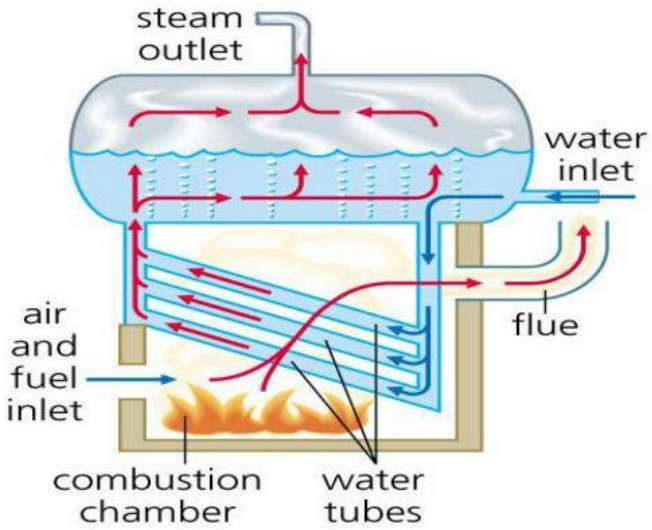


Gambar 2. 1 Cara Kerja Fire Tube Boiler

Sumber : (Muzaki & Mursadin, 2019)

b. Boiler Pipa Air (Water Tube Boiler)

Water Tube Boiler adalah salah satu tipe *boiler* yang mengalirkan air umpan boiler melalui pipa-pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas panas hasil pembakaran kemudian membentuk *steam* pada daerah uap di dalam drum. Ketel ini pada umumnya dipilih jika kebutuhan laju aliran *steam* dan tekanan *steam* sangat tinggi seperti pada ketel uap untuk pembangkit tenaga listrik (Hartanto et al., 2020). Cara kerja *Water Tube Boiler* seperti pada **Gambar 2.2.**



Gambar 2. 2 Cara Kerja *Water Tube Boiler*

Sumber : (Hartanto et al., 2020)

D. Analisis Aspek Teknis, Analisis Aspek Ekonomis, dan Analisis Aspek Lingkungan

1. Analisis Aspek Teknis

Analisis aspek teknis, aktifitas yang di lakukan yaitu dengan menganalisis kinerja dari *boiler*. Analisis kinerja *boiler* terdapat beberapa parameter perhitungan, yaitu: jumlah kalor yang dibutuhkan boiler (Q_b), jumlah bahan bakar yang dibutuhkan (m_f), jumlah kalor yg dihasilkan (Q_{in}), efisiensi thermal boiler (η_b). Analisis kinerja *boiler* pada perhitungannya membutuhkan nilai kalor bahan bakar yang merupakan nilai energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Data yang diperlukan untuk menghitung nilai kalor tersebut adalah persentase kandungan karbon (C), hidrogen (H_2), oksigen (O_2), sulfur (S), dan kadar air atau *moisture content* (M) dari bahan bakar. Hasil pengujian nilai kalor dari kayu Albasia oleh (Ismail et al., 2022) seperti pada **Tabel 2.1.**

Tabel 2. 1 Karakteristik Serbuk Kayu Albasia

No	Analisis	Parameter	Kuantitas
1.	*Proximate* (%) adb	Kadar Air	12.78 %
		Kadar Abu	1.02 %
		Volatile matter	71.51 %
		Fixed carbon	14.69 %
2.	*Ultimate* (%) adb	Sulphur	0.36 %
		Karbon	43.43 %
		Hidrogen	6.58 %
		Nitrogen	0.4 %
		Oksigen	48.21 %

Sumber : (Ismail et al., 2022)

a. Nilai Kalor Pembakaran Tinggi

Nilai Kalor Pembakaran Tinggi atau dikenal dengan istilah *High Heating Value* (HHV) atau *Gross Calorific Value* (GCV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan air dari proses pembakaran ikut diperhitungkan sebagai panas dari proses pembakaran (Hartanto et al., 2020). Nilai kalor pembakaran tinggi secara teoritis dapat dihitung dengan persamaan *Dulog* apabila diketahui komposisi bahan bakarnya seperti berikut ini.

$$HHV = 33950\,C + 144200\,(H_2 - \frac{O_2}{8}) + 9400\,S$$

Dimana:

HHV: Nilai Kalor atas (kJ/kg).

C : Presentase karbon dalam bahan bakar.

H_2 : Presentase hydrogen dalam bahan bakar.

O_2 : Presentase oksigen dalam bahan bakar.

S : Presentase Sulfur dalam bahan bakar.

b. Nilai Kalor Pembakaran Rendah

Nilai Kalor Pembakaran Rendah atau dikenal dengan istilah *Low Heating Value* (LHV) atau *Net Calorific Value* (NCV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan uap air dari hasil pembakaran tidak ikut dihitung sebagai panas dari proses pembakaran (Hartanto et al., 2020). Umumnya kandungan Hidrogen pada bahan bakar sebesar 15% yang berarti dalam 1 kg bahan bakar akan mengandung 0,15 kg Hidrogen. Air yang dihasilkan dalam pembakaran adalah ½ x jumlah mol hidrogen dalam kandungan bahan bakar. Misalnya untuk bahan bakar iso-oktan C_8H_{18}, maka jumlah air yang akan terbentuk setiap pembakaran 1 kg bahan bakar adalah 9 x 0,15 = 1,35 kg. Panas laten pengkondensasian yang terjadi dari uap dengan tekanan parsial 20 kN/m² adalah 2400 kJ/kg. Maka panas laten pengkondensasian uap yang terjadi dari hasil pembakaran setiap 1 kg bahan bakar adalah 2400 x 1,35 = 3240 kJ (Ceki, 2017). Berdasarkan hubungan antara HHV dan LHV perhitungan LHV dapat dilakukan dengan persamaan, dirumuskan dengan:

LHV = HHV – 3240 kJ/kg

c. Jumlah Kalor Yang Dibutuhkan Boiler

Dalam analisis kinerja *boiler* terdapat beberapa parameter penghitungan, jumlah kalor adalah salah satu parameternya bertujuan untuk mengetahui jumlah kalor yang dibutuhkan oleh sebuah *boiler* untuk menghasilkan uap panas (Hartanto et al., 2020). Ketel Uap merupakan sebuah bejana tertutup pembetuk uap dengan tekanan lebih besar dari 1 atmosfer atau 1 bar. Air yang dipanaskan didalam sebuah tabung tertutup seperti ketel uap oleh gas panas yang dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar didalam ketel maka akan menghasilkan uap panas dengan tekanan tinggi. Ketel uap didalamnya terdapat air yang memiliki dua bentuk yaitu cair dan uap, karena itu ketel uap disebut juga dengan mesin dengan dua fase yaitu fase air dan fase uap. setiap zat baik padat, cair, atau gas, memiliki entalpi begitu juga dengan air. Entalpi

adalah jumlah energi panas yang dimiliki suatu zat setiap satu kilogram, dan satuannya adalah Joule per kilo gram, entalpi tergantung pada massa, panas jenisnya, temperatur dan tekanannya, Dengan mengetahui entalpinya, kita dapat menghitung berapa panas yang dipindahkan (Gunarti et al., 2021). Entailpi dapat digunakan sebagai indikator untuk perhitungan jumlah kalor yang dibutuhkan oleh ketel uap. berdasarkan hubungan entalpi dengan perhitungan kalor maka perhitungan jumlah kalor yang dibutuhkan *boiler*, dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$Q_b = m_s\ (h_g - h_f)$

Dimana:

Q_b : Jumlah kalor yang dibutuhkan *boiler* (kJ/jam)

m_s : Kapasitas boiler atau laju aliran *steam* (kg/jam)

h_g : Entalpi uap panas lanjut (kJ/kg)

h_f : Entalpi air umpan boiler (kJ/kg)

Entalpi adalah jumlah seluruh energi dalam bentuk kalor yang terdapat dalam suatu sistem dan nilainya ditentukan oleh suhu dan tekanan. Entalpi berhubungan dengan temperatur karena pada hukum pertama termodinamika menjelaskan bahwa apabila setiap proses diberikan panas untuk sistem dan sistem akan melakukan usaha untuk mengubah energi. Perubahan energi salah satunya ditandai dengan berubahnya temperatur. Dalam proses perhitungan efisiensi *boiler* adalah data tekanan dan temperature uap yang dihasilkan, serta temperatur air umpan yang masuk. Data tersebut diubah menjadi entalpi panas lanjut (h_g) dan entalpi air umpan (h_f) untuk mendapatkan nilai efisiensi boiler pada persamaan yang diperoleh pada *steam* tabel, maka dilakukan interpolasi untuk mencari entalpi yang belum diketahui agar mendapatkan nilai entalpi sebenarnya dalam kJ/kg (Sahda et al., 2022). ditunjukkan pada persamaan Rumus interpolasi berikut:

$$Y = y1 + \frac{(x - x1)}{(x2 - x1} x(y2 - y1)$$

Dimana :

Y1 = Entalpi awal dari range nilai yang tersedia di steam table

Y2 = Entalpi akhir dari range nilai yang tersedia di steam table

X1 = Temperatur awal dari nilai yang tersedia di steam table

X2 = Temperatur akhir dari nilai yang tersedia di steam table

X = Temperatur yang akan dicari nilai entalpinya

Y = Nilai entalpi yang dicari

d. Jumlah Bahan Bakar Yang Dibutuhkan Boiler

Parameter lain dalam analisis kinerja *boiler* adalah jumlah kebutuhan bahan bakar yang dibutuhkan *boiler* yang bertujuan untuk mengetahui berapa kebutuhan bahan bakar yang harus dipenuhi agar kebutuhan kalor *boiler* dapat tercukupi (Hartanto et al., 2020). Untuk mengetahui jumlah bahan bakar yang dibutuhkan harus diketahui terlebih dahulu nilai kalor bahan bakar *Low Heating Value* (LHV) dan jumlah kebutuhan panas pada *boiler* (Q_b), selanjutnya yaitu membagi jumlah kebutuhan panas boiler (Q_b) dengan nilai kalor bahan bakar (LHV) maka didapatkan konsumsi bahan bakar. Perhitungan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan *boiler*, dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$m_f = \frac{Q_b}{\eta_b x LHV}$$

Dimana :

m_f : Jumlah bahan bakar *boiler* (kg/jam)

Q_b : Jumlah kalor yang dibutuhkan *boiler* (kJ/jam)

LHV : Low Heating Value bahan bakar (kJ/kg)

η_b : Efisiensi *boiler*

e. Jumlah Kalor Hasil Pembakaran

Parameter selanjutnya dalam analisis kinerja *boiler* adalah jumlah kalor hasil pembakaran yang bertujuan untuk mengetahui berapa banyak kalor yang dihasilkan dari berapa banyak bahan bakar yang digunakan (Hartanto et al., 2020). Dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$Q_{in} = m_f \; x \; LHV$$

Dimana:

Q_{in} : Jumlah kalor hasil pembakaran (kJ/jam)

m_f : Jumlah bahan bakar *boiler* (kg/jam)

LHV : *Low Heating Value* bahan bakar (kJ/kg)

f. Efisiensi Thermal *Boiler*

Parameter akhir dalam analisis kinerja *boiler* adalah efisisnsi termal *boiler* yang bertujuan mengetahui efisiensi dari *boiler* (Hartanto et al., 2020). Dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$\eta_b = \frac{Q_b}{Q_{in}} x100\% = \frac{m_s \, (h_g - h_f)}{m_f \; x \; LHV} x100\%$$

Dimana:

Q_{in} : Jumlah kalor hasil pembakaran (kJ/jam)

Q_b : Jumlah kalor yang dibutuhkan *boiler* (kJ/jam)

2. Analisis Aspek Ekonomi

Analisa aspek ekonomi yaitu berupa analisis kelayakan finansial yang merupakan suatu alat analisis yang digunakan dalam menilai keberhasilan dan kemampuan suatu proyek, dengan menggunakan kriteria investasi (Larasati et al., 2019). Analisis finansial bertujuan untuk mengetahui kelayakan finansial dari *boiler* berbahan bakar limbah kayu. Indikator kelayakan yang digunakan yaitu NPV (*net present value*).

a. *Net Present Value* (NPV)

NPV merupakan cara perhitungan yang menggunakan prinsip *present value* dengan mencari selisih antara investasi awal proyek dengan total nilai bersih *cash flow* selama umur proyek atau selisis antara pemasukan dan pengeluaran. Apabila hasil perhitungan NPV positif maka proyek disimpulkan layak (Hakim & Valentino, 2019). Indikator kelayakan dan rumus perhitungan NPV dari (Larasati et al., 2019) adalah sebagai berikut:

1) Jika NPV lebih dari 0 maka investasi layak dilaksanakan.

2) Jika NPV kurang dari 0 maka investasi tidak layak dilaksanakan.

$$\text{NPV} = \sum_{t=1}^{n} \frac{Bt - Ct}{(1-t)^t}$$

Keterangan:

Bt = Manfaat (benefit) pada tahun ke-i

Ct = Biaya (cost) pada tahun ke-i

n = Umur proyek (tahun)

t = Tahun ke 1,2,3 dst

i = Discount rate (%)

3. Analisis Aspek Lingkungan

Analisis aspek lingkungan dilakukan kaitanya dengan pengunaan bahan bakar sebagai sumber energi awal yang akan dikonversikan dengan mengunakan mesin *boiler* menjadi energi uap atau panas dan hubungannya dengan lingkungan. Proses konversi energi pada mesin *boiler* yaitu dengan cara pembakaran. Hasil dari pembakaran berupa kalor atau energi panas yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan mesin *boiler* dan hasil lain dari proses pembakaran pada *boiler* akan menghasilkan polutan berupa emisi gas buang yang dikeluarkan oleh cerobong (Jyoti & Setiawati, 2019).

Emisi pencemaran udara dari industri bergantung dari jenis industri, proses, dan peralatan yang digunakan. Jumlah polutan yang dihasilkan juga dapat dipengaruhi dari jenis dan kapasitas bahan bakar yang digunakan oleh industri. Mesin *boiler* dengan kapasitas yang sama akan tetapi mengunakan bahan bakar yang berbeda juga akan menghasilkan jumlah emisi yang berbeda (Jyoti & Setiawati, 2019).

Karbon dioksida (CO_2) merupakan salah satu emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran. Senyawa CO_2 dikategorikan menjadi salah satu gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan gelobal selain itu senyawa ini juga dapat berdampak negative bagi lingkungan dan Kesehatan (Wahyudi, 2019). Pengukuran emisi perlu dikalukan untuk mengetahui perbedaan emisi dari perbedaan bahan bakar yang digunakan mesin *boiler* dan untuk mengetahui bahan bakar mana yang lebih ramah bagi lingkungan. Berikut adalah perhitungan untuk mengetahui tingkat emisi dari senyawa CO_2 dari hasil proses pembakaran berdasarkan Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM, 2018).

E = DA x FE

Dimana:

E : Emisi CO_2 (ton)

FE : Faktor Emisi (kg CO_2/TJ)

DA : Data Aktivitas (TJ)

DA = F x NCV

Dimana:

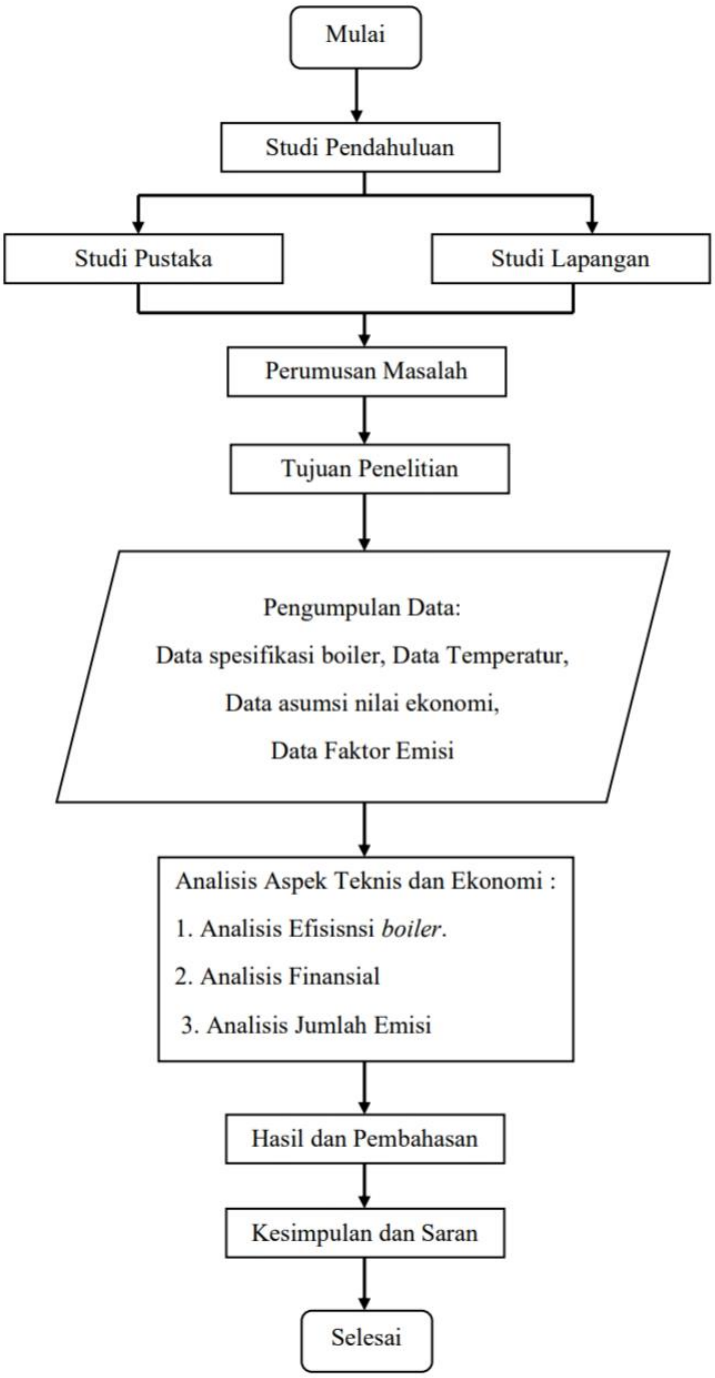
F : jumlah konsumsi bahan bakar dalam setahun

NCV: *Net Calorific Value* (NCV) atau *Low Heating Value* (LHV)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Jalannya penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada **Gambar 3.1** berikut:



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Putra Albasia Mandiri. Waktu Penelitian dilaksanakan dari bulan Maret 2022 sampai dengan Agustus 2022 meliputi persiapan penelitian, wawancara, pengambilan data di lapangan, analisis dan pengolahan data, serta penyusunan laporan dan hasil penelitian.

B. Jalannya Penelitian

1. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan yang dilakukan sebagai langkah awal dalam proses penelitian yang meliputi studi pustaka dan studi lapangan.

a. Studi Pustaka

Studi pustaka dalam penelitian ini mempelajari literatur yang bersumber dari jurnal ilmiah yang terkait dengan pemanfaatan limbah kayu untuk bahan bakar *boiler*. Selain itu literatur lain berupa artikel, skripsi, dan sumber yang berasal dari internet menjadi teori pendukung dalam menyelesaikan permasalahan yang akan dilakukan pada penelitian ini.

b. Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan dengan tujuan mengetahui kondisi umum perusahaan, dan mengetahui aktifitas pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar *boiler* di perusahaan. Studi ini dilakukan dengan cara melakukan pengamatan secara langsung ke lapangan yang menjadi subjek penelitian dengan cara wawancara dan observasi.

2. Perumusan Masalah

Setelah dilakukan studi lapangan di PT. Putra Albasia Mandiri, maka ditetapkan perumusan masalah yaitu Bagaimana efisiensi pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar dibandingkan mengunakan bahan bakar lain berdasarkan aspek teknis, aspek ekonomis, dan aspek lingkungan.

3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian merupakan usaha dari kegiatan untuk merealisasikan perumusan masalah yang ada, maka didapati tujuan pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui efisiensi pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar dibandingkan mengunakan bahan bakar lain berdasarkan aspek teknis, aspek ekonomis, dan aspek lingkungan.

C. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan meliputi data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan, diantara data yang diperlukan yaitu data spesifikasi boiler. Data sekunder didapatkan dari literatur serta data penunjang lainnya. Proses yang digunakan berupa survey lapangan, wawancara dan mengambil data langsung.

D. Analisis Aspek Teknis

Analisis aspek teknis dengan menghitung efisiensi *boiler* berbahan bakar limbah kayu dan dibandingkan dengan *boiler* berbahan bakar solar diantaranya meliputi perhitungan nilai kalor pembakaran tinggi, nilai kalor pembakaran rendah, jumlah kalor yang dibutuhkan, jumlah bahan bakar yang dibutuhkan, jumlah kalor hasil pembakaran dan efisiensi thermal *boiler*.

E. Analisis Aspek Ekonomis

Analisis aspek ekonomis ini berupa Analisis finansial yaitu berupa perhitungan NPV (*Net Present Value*) dengan membandingkan investasi antara pengunaan *boiler* berbahan bakar limbah kayu dan *boiler* berbahan bakar solar. Analisis finansial bertujuan untuk mengetahui kelayakan secara finansial pemanfaatan *boiler* berbahan bakar limbah kayu.

F. Analisis Lingkungan

Analisis lingkunga berupa perhitungan dan pembahasan tentang perbandingan jumlah emisi CO_2 hasil pembakaran bahan bakar limbah kayu dan jumlah emisi CO_2 hasil pembakaran solar dalam satu tahun.

BAB IV
PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai analisis kelayakan pemanfaatan limbah kayu untuk bahan bakar *boiler* di PT. Putra Albasia Mandiri dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar *boiler* dibandingkan mengunakan bahan bakar lain dari aspek teknis dapat diketahuai untuk memenuhi kebutuhan kalor *boiler* dibutuhkan konsumsi bahan bakar solar lebih banyak dari konsumsi bahan bakar limbah kayu dikarenakan nilai kalor pembakaran rendah atau LHV limbah kayu sebesar 145.081,41 kJ/kg lebih tinggi dibandingkan jumlah kalor hasil pembakaran bahan bakar solar yang sebesar 41.640,66 kJ/kg.

2. Aspek ekonomi pemanfaatan limbah kayu dapat diketahui bahwa kebutuhan biaya bahan bakar limbah kayu lebih kecil dari solar, karena bahan bakar limbah kayu berasal dari limbah hasil produksi maka biaya bahan bakar limbah kayu dinilai sebagai keuntungan. Kelayakan finansial mesin *boiler* bahan bakar limbah kayu dibuktikan dengan perhitungan nilai NPV lebih dari nol yang investasi *boiler* bahan bakar limbah kayu layak dilaksanakan.

3. Aspek lingkungan pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar dibandingkan mengunakan bahan bakar lain kaitanya dengan lingkungan dapat diketahui dari konsumsi bahan bakar selama satu tahu untuk bahan bakar limbah kayu menghasilkan Emisi CO_2 sebesar 1.207,36 Ton lebih rendah dari Emisi CO_2 hasil pembakaran solar yang sebesar 6.808,31 Ton, pengunaan limbah kayu sebagai bahan bakar dapat mengurangi penggunaan bahan bakar minyak yang merupakan bahan bakar tidak terbarukan (*unrenewable*) dan sebagai upaya pengendalian limbah produksi.

B. Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan diatas peneliti menyarankan agar penelitian selanjutnya dapat lebih bermanfaat untuk pihak terkait diantaranya sebagi berikut:

1. Pada penelitian berikutnya dapat dilakukan analisis tentang faktor yang mempengaruhi kebutuhan kalor pada sistem pemanas *boiler* dan *sustainability* dari pemanfaatan limbah kayu serta dampak lingkungan dari pemanfaatan limbah sebagai bahan bakar.
2. Perusahaan dapat meninjau kembali pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan bakar dari aspek teknis dan finansial agar pengendalian limbah dapat berjalan dengan maksimal serta mampu mengurangi dampak buruk bagi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Andalia, W., Sukarmansyah, & Fauzie, A. (2018). Analisis Emisi Gas Buang Hasil Pembakaran Solar Dan Biosolar (B25) Pada Fire Tube Boiler. *Poros*, *16*(1), 86–93. https://doi.org/10.24912/poros.v16i1.6297

Bahari, S. (2007). Pemanfaatan Limbah industri Pengolahan Kayu Untik pembuatan Briket Areng Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan Di Nanggroe Aceh Darusalam. *Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara Medan*.

Ceki, E. R. (2017). *Analisis Energi dan Exergi Beberapa Bahan Bakar Biomassa untuk Penggunaan pada Boiler*. FAKULTAS TEKNIK UNVERSITAS SUMATERA UTARA MEDAN.

Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM, B. E. S. B. K. (2018). *Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca*. https://www.gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/56959-buku-pedoman-igrk-pembangkit-2018.pdf

Gunarti, M. R., Purnama, H., Arli, B., Prismadna, E. W., Prismadana, W., Aditya, M. R., & Kholis, M. (2021). Analisis program boiler water treatment di kapal. *Jurnal 7 Samudra Politeknik Pelayaran Surabaya*, *6*(1).

Gunarto, Adi, R., & Fauzen. (2019). Pengaruh Perubahan Penggunaan Bahan Bakar Dari Uap Dengan Simulasi Ketel Uap Sederhana. *Suara Teknik: Jurnal Ilmiah*, *10*(1), 13–18. http://123.231.151.250/index.php/STek/article/view/1540/1079

Hakim, D. L., & Valentino, N. (2019). Tekno Ekonomi Pemanfaatan Biogas Berbasis POME untuk Pembangkit Listrik, Bahan Bakar Boiler, dan BioCNG. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, *18*(September), 73–81.

Halimah, E. N., Stefanni, C., & Dwiputra, K. (2018). *Urup Lamp: Wood Table Lamp Berbahan Dasar Kayu Limbah Produksi dengan Falsafah Hidup Orang Jawa Ellysa*. *1980*, 91–97.

Handriyono, R. E., & Kusuma, M. N. (2017). Estimasi beban emisi so 2 dan no.

Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan, *5*, 19–24. https://core.ac.uk/download/pdf/289705244.pdf

Hartanto, L. B., Sibarani, M., & Tuapetel, J. V. (2020). Analisa Teknis Dan Biaya Penggunaan Bahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit Dan Batu Bara Pada Boiler DZL4 Di PT. Lautan Luas Tbk. *Jurnal Teknik Mesin ITI*, *4*(1), 17. https://doi.org/10.31543/jtm.v4i1.301

Hasna, A. H., Sutapa, J. P. G., & Irawati, D. (2019). Pengaruh Ukuran Serbuk dan Penambahan Tempurung Kelapa Terhadap Kualitas Pelet Kayu Sengon. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, *13*(2), 170–180. https://journal.ugm.ac.id/jikfkt/article/view/52428/26491

Ismail, Pane, E. A., Lesmana, I. G. E., Hartantrie, R. C., & Rifki, D. (2022). Pengaruh Proses Torefaksi terhadap Kualitas Serbuk Kayu The. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, *10*(1), 11–20. https://jurnal.ipb.ac.id/index.php/jtep/article/view/36562/23411

Jyoti, M. D., & Setiawati, I. (2019). Identifikasi Dan Analisis Kadar Total Partikulat Debu Dari Emisi Cerobong Industri Di Lampung. *Jurnal Teknologi Agroindustri*, *11*(1), 22. https://doi.org/10.46559/tegi.v11i1.5765

Kahfi, H. I., Hartanto, D. D., Visual, D. K., Seni, F., Petra, U. K., & Siwalankerto, J. (2021). Program Community Engagement Pemanfaatan Limbah kayu Palet Untuk Menciptakan Produk Kreatif sebagai Pemberdayaan Karang Taruna. *Jurnal DKV Adiwarna*, *01*(18).

Khurmi, R. . S. (1984). *Steam Tables With Mollier Diagram in S.I. units*. S. Chand & Company LTD. https://www.ssengineeringcollege.org/assets/Database/04 Steam-table-r-s-khurmi-pdf.pdf

Larasati, S. A., Abidin, Z., & Endaryanto, T. (2019). Analisis Finansial Pemanfaatan Ampas Tebu (Bagasse) Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Di PT Gunung Madu Plantations. *JIIA*, *7*(3), 306–313.

Mubarak, U. (2018). Analisis Proyesi Kebutuhan Energi Listrik Di kabupaten Temanggung Berdasarkan Pertumbuhan Bebean. *Teknik Elektro, Fakultas*

Teknologi Informasi Dan Elektro, Universitas Teknologi Yogyakarta.

Muhammad, S., Sulo, B. D., & Basuki, B. M. (2020). Model Pembangkit Listrik Tenaga Limbah Kayu Kabupaten Konawe Sulawesi Tenggara. *Jurnal Universitas Islam Malang*, *12*(02), 14–20.

Muzaki, I., & Mursadin, A. (2019). Aanalisis Efisiensi Boiler Dengan Metode Input– Output Di PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk. Unit Banjarmasin. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, *4*(1), 37–46. https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v4i1.50

Pujawan, I. N. (2009). *Tabel bunga pemajemukan diskrit* (Edisi ke 2). Guna Widya.

Ramadhan, A., & Hendrawan, A. (2018). Pengolahan Limbah Kayu. *E-Proceeding of Art & Design :*, *5*(3), 2525–2533.

Ramadhanti, F., Rahmadi, A., & Satriadi, T. (2019). Studi Potensi Limbah Kayu Industri KAyu Lapis Di PT Elbana Abadi Jaya Tanjung Kabupaten Tabalong. *Jurnal Sylva Scienteae*, *02*(1), 18–25.

Rambe, K. H. (2019). *Jenis kayu dan limbah di industri perkayuan kabupaten deli serdang*. Universitas Sumatra Utara.

Sahda, N. T., Sentosa, J. M., & Adhani, L. (2022). Analisis Efisiensi Boiler menggunakan Metode Langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Bantargebang. *Journal of Engineering Environtmental Energy and Science*, *1*(1), 39–48. https://doi.org/10.31599/joes.v1i1.979

Setiawan, A., Putra, A. S., Agustianingsih, I. M., & Ananda, R. R. (2019). Implementasi Recycle Limbah Kayu Hasil Produksi Plywood Dan Work Wood Menjadi Bahan Baku Produk Particle Board Di Pt. Kutai Timber Indonesia Pabrik Probolinggo. *Journal Knowledge Industrial Engineering*, *06*(03), 121–127.

Tang, M., Malik, A., & Hapid, A. (2019). Pemanfaatan Hasil Hutan Bukan Kayu (Hhbk) Bambu Oleh Masyarakat Terasing (Suku Lauje)Di Desa Anggasan Kecamatan Dondo Kabupaten Tolitoli. *Nureth-18*, *15*(1), 1–16.

Wahyudi, J. (2019). Emisi Gas Rumah Kaca (Grk) Dari Pembakaran Terbuka Sampah Rumah Tangga Menggunakan Model Ipcc. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK*, *15*(1), 65–76. https://doi.org/10.33658/jl.v15i1.132