

**PENGARUH PERBANDINGAN UDARA DAN MASSA BAHAN BAKAR  
TERHADAP PROSES GASIFIKASI PADA PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA BIOMASA KAYU LAMTORO**

**OLEH**

**SEPTIAN LAHINDA  
T21 18 011**

**SKRIPSI**

*Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar  
Sarjana Teknik pada program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Ichsan Gorontalo*



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO**

**2022**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH PERBANDINGAN UDARA DAN MASSA BAHAN  
BAKAR TERHADAP PROSES GASIFIKASI PADA  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA KAYU  
LAMTORO**

**Oleh:**

**SEPTIAN LAHINDA  
T21 18 011**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana  
Program Studi Teknik Elektro di Fakultas Teknik, Skripsi ini telah disetujui oleh

Tim Pembimbing pada tanggal yang tertera dibawah ini :

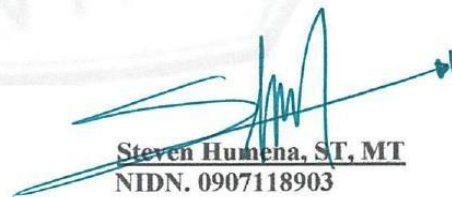
Gorontalo, 30 April 2022

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**



**Muammar Zainuddin, ST, MT**  
**NIDN. 0906018504**



**Steven Humena, ST, MT**  
**NIDN. 0907118903**

## HALAMAN PERSETUJUAN

### PENGARUH PERBANDINGAN UDARA DAN MASSA BAHAN BAKAR TERHADAP PROSES GASIFIKASI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA KAYU LAMTORO

Oleh :

**SEPTIAN LAHINDA**

**T21 18 011**

Diperiksa Oleh Panitia Ujian Strata Satu (S1)  
Universitas Ichsan Gorontalo

1. Frengki Eka Putra Surusa, ST., MT (Penguji I)
2. Ir. Stephan A. Hulukati, ST., MT., M.Kom (Penguji II)
3. Sjahril Botutihe, ST., MM (Penguji III)
4. Muammar Zainuddin, ST., MT (Pembimbing I)
5. Steven Humena, ST., MT (Pembimbing II)

Gorontalo, 30 April 2022

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi Teknik Elektro



**Amru Siola, ST., MT**  
NIDN. 0922027502

**Frengki Eka Putra Surusa, ST., MT**  
NIDN. 0906018504

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Septian Lahinda

NIM : T2118011

Judul Skripsi : PENGARUH PERBANDINGAN UDARA DAN MASSA  
BAHAN BAKAR TERHADAP PROSES GASIFIKASI PADA  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA KAYU  
LAMTORO

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulis (Skripsi) ini adalah asli gagasan, rumusan dan penelitian yang dilakukan oleh saya sendiri dengan arahan dari para pembimbing. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah dipublikasikan sebelumnya oleh orang lain kecuali secara tertulis dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan atau sumbernya dengan jelas serta dicantumkan di dalam daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi ini.

Gorontalo, 30 April 2022  
Yang Membuat Pernyataan



10000  
METERAI  
TEMPEL  
FACE8AJX808598821

**(SEPTIAN LAHINDA)**  
T2118011

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur dipanjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan limpahan rahmat dan karunia-NYA sehingga proposal ini dapat terselesaikan dengan lancar dan tepat waktu. Adapun penyesuaian Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi di fakultas teknik Universitas IchsanGorontalo. Penulis menyadari begitu banyak hambatan dan tantangan yang ditemuinamun melalui bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak maka penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi/tugas akhir ini sebagaimana yang diharapkan. Untuk itu perkenankanlah penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dra. Hj. Juriko Abdussamad, M.Si selaku ketua Yayasan Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (YPIPT) Ichsan Gorontalo.
2. Bapak Dr. Abdul Gaffar Latjoke, M,Si selaku rektor Universitas Ichsan Gorontalo.
3. Kedua orang tua saya yang senantiasa memberikan dorongan dan motivasidan bantuan material selama proses perkuliahan sampai sekarang.
4. Bapak/Ibu Dosen di Fakultas Teknik Universitas Ichsan Gorontalo
5. Bapak Frengki Eka Putra Surusa, ST.,MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro
6. Bapak Muammar Zainuddin, ST.,MT selaku Dosen Pembimbing I
7. Bapak Steven Humena, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II
8. Teman-teman yang selalu membantu dan mendukung saya.

Akan menjadi sesuatu yang sangat berarti guna menyempurnakan proposal ini bila kritik dan saran disampaikan pada penulis. Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas budibai dan kerelaan bapak/ibu.

Gorontalo, 30 April 2022



**SEPTIAN LAHINDA**

## **ABSTRACT**

**SEPTIAN LAHINDA. T2118011. THE EFFECT OF AIR AND FUEL MASS RATIO ON THE GASIFICATION PROCESS IN WOOD BIOMASS POWER PLANT**

*Since the development of the times, conventional energy sources have been being replaced with renewable energy sources such as biomass energy. Biomass consistsof several components, namely moisture, volatiles, fixed carbon, and ash. One of the most abundant biomasses found in Gorontalo is the river tamarind wood. This study aims to determine the ratio of air mass and fuel mass of biomass and calculatethe power generated by the generator from burning river tamarind wood biomass based on the ratio of air mass and fuel mass of biomass. This study employs an updraft-type gasification reactor. In this type, the top of the reactor will move downthrough the drying, pyrolysis, reduction, and oxidation zones. The advantages of this type are its simplicity, high charcoal burning rate, and internal heat exchanges, that the exhaust gas temperature is low and the gasification efficiency is high. The process of calculating the AFR value is determined by comparing the ratio of air mass and fuel mass. The test results get the lowest AFR value of 2.69 at an air speed of 11.5 m/s. While the highest AFR value is 3.55 at an air speed of 15.3 m/s. The results of the analysis of the relationship between airspeed and generator power indicate that the best power is at an air speed of 13.7 m/s AFR 3.14, with a power generated of 0.912 kW or 912 watts tested to be able to turn on eight lampswith a power of 40 watts each.*

**Keywords:** biomass, AFR, river tamarind wood, gasification, updraft

## ABSTRAK

### **SEPTIAN LAHINDA. T2118011. PENGARUH PERBANDINGAN UDARA DAN MASSA BAHAN BAKAR TERHADAP PROSES GASIFIKASI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA KAYU**

Seiring berkembangnya zaman sumber energy konvensional mulai tergantikan dengan sumber energi terbarukan seperti energi biomassa. Biomassa terdiri dari beberapa komponen yaitu moisture, volatiles, fixed karbon, dan ash. Salah satu biomassa yang banyak ditemui di Gorontalo adalah kayu lamtoro. Penelitian ini bertujuan menentukan nilai perbandingan massa udara dengan massa bahan bakar biomassa dan menghitung daya yang dihasilkan oleh generator dari pembakaran biomassa kayu lamtoro berdasarkan nilai perbandingan massa udara dan massa bahan bakar biomassa. Penelitian ini menggunakan reactor gasifikasi tipe updraft. Pada tipe ini bagian atas reactor akan bergerak kebawah melewati zona pengeringan, pirolisis, reduksi, dan oksidasi. Keunggulan tipe ini yaitu kesederhanaanya, tingkat pembakaran arang yang tinggi, pertukaran panas internal sehingga suhu gas yang keluar rendah dan efisiensi gasifikasi yang tinggi. Proses perhitungan nilai afr ditentukan dengan membandingkan nilai massa udara dan massa bahan bakar. Hasil pengujian mendapatkan nilai AFR terendah sebesar 2,69 pada kecepatan udara 11,5 m/s. sedangkan nilai AFR tertinggi sebesar 3,55 pada kecepatan udara 15,3 m/s. hasil analisa hubungan kecepatan udara dengan daya generator diperoleh daya terbaik pada kecepatan udara 13,7 m/s AFR 3,14 dengan daya yang dihasilkan 0,912 kw atau 912 watt yang telah diuji coba mampu menyalakan 8 lampu dengan daya masing-masing 40 watt.



Kata kunci: biomassa, AFR, kayu lamtoro, gasifikasi, updraft



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Teori Pendukung .....	11
2.3 Lamtoro .....	17
2.4 Gasifikasi.....	18

2.5 Komponen Gasifikasi .....	33
2.6 <i>Mass Flow Rate</i> (Laju Aliran Massa).....	35
2.7 <i>Air Fuel Ratio</i> (AFR).....	36
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>38</b>
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	38
3.2 Alat Dan Bahan .....	38
3.3 Metode Penelitian.....	38
3.4 Flowchart Penelitian.....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>42</b>
4.1 Biomassa .....	42
4.2 Proses Pengujian.....	42
4.3 Perhitungan Laju Aliran Massa Udara yang masuk ke reactor .....	46
4.4 Perhitungan Laju Aliran Massa Kayu Lamtoro .....	47
4.5 Perhitungan Rasio Udara-Bahan Bakar ( <i>Air Fuel Ratio</i> ).....	48
4.6 Hasil Pengujian.....	49
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>36</b>
5.1 Kesimpulan .....	52
5.2 Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>54</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1 Data untuk menghitung Laju Aliran Massa Udara.....	47
Tabel 4.2 Massa kayu lamtoro dan waktu operasi gasifikasi .....	47
Tabel 4.3 Tabel Hasil Pengukuran AFR .....	49
Tabel 4.4 Tabel Daya Yang Dihasilkan Generator .....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pohon Lamtoro.....	17
Gambar 2.2 Skema Reaktor Gasifikasi tipe Updraft.....	19
Gambar 2.3 Skema Tahapan Proses Gasifikasi.....	21
Gambar 2.4 Pengaruh Proses Suhu Pada Syngas.....	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	41
Gambar 4.1 PLTBm.....	42
Gambar 4.2 Proses pengambilan cacahan kayu lamtoro.....	43
Gambar 4.3 Pengukuran udara yang keluar dari blower dengan anemometer.....	43
Gambar 4.4 Proses pemasukan bahan bakar ke Reaktor.....	44
Gambar 4.5 Suhu Reaktor .....	44
Gambar 4.6 Nyala api hasil pembakaran Biomassa.....	45
Gambar 4.7 Penyalaan Generator .....	45
Gambar 4.8 Inverter .....	46
Gambar 4.9 grafik daya.....	49

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pembangunan pembangkit listrik di Indonesia sekarang mengarah pada pemanfaatan energi baru terbarukan. Ini sejalan dengan upaya pemerintah dalam menyeimbangkan penggunaan sumber energi konvensional yang berbahan bakar fosil. Hal tersebut tertuang pada peraturan pemerintah Republik Indonesia No 79 tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional yang mempunyai target pengoptimalan bauran energi primer. Pada peraturan ini pemerintah berharap peran energi baru terbarukan paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 [1]. Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk memenuhi harapan pemerintah tersebut adalah sumber energi biomassa.

Biomassa merupakan salah satu bahan bakar padat bersama dengan batubara. Biomassa terdiri dari beberapa komponen yaitu moisture, volatiles, fixed carbon dan ash.[2]. Biomassa telah lama dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai bahan bakar, namun masih secara tradisional. Energi yang dihasilkan digunakan untuk berbagai keperluan, antara lain kebutuhan rumah tangga (memasak dan industri rumah tangga), pengeringan hasil pertanian dan industri kayu, serta pembangkit listrik pada industri kayu dan gula. [2].

Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa merupakan Pembangkit Listrik yang menggunakan sisa hasil pertanian atau sampah organik sebagai bahan bakar untuk Generator melalui Proses Teknologi Gasifikasi. Proses Gasifikasi sendiri

yaitu dengan cara Mengkonversi Bahan bakar kayu Lamtoro padat menjadi Gas menggunakan Reaktor.

Energi alternatif dapat dihasilkan dari teknologi tepat guna yang sederhana dan sesuai untuk daerah pedesaan seperti briket dengan memanfaatkan limbah biomassa seperti serbuk gergaji kayu. Salah satu Biomassa yang banyak ditemui di Provinsi Gorontalo adalah kayu dari pohon lamtoro. Kayu lamtoro telah diteliti oleh tim Puslitbang Teknologi Mineral Dan Batubara Kementerian ESDM untuk di pakai sebagai bahan bakar campuran Cofiring pada PLTU Anggrek .

Penyebaran tumbuhan Lamtoro di provinsi Gorontalo sangat melimpah mulai dari daerah Bubaa hingga ke Ilangata.



Lokasi kebun lamtoro, di desa Bobaa, kec. Paguyaman Pantai, Kab. Boalemo

Berdasarkan penggunaan kayu Lamtro, yang lebih disukai sebagai kayu energi alternatif dan sebagai pembangkit listrik termal, Lamtoro sangat mudah

terbakar dan telah dipelajari dalam berbagai cara. Sifat penyalaan ini mudah menyala, durasi nyala cukup lama, tidak menghasilkan jelaga, hampir tidak ada asap, cepat padam, dan nilai kalornya sangat tinggi. Waktu pembakaran mempengaruhi kualitas dan efisiensi pembakaran, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk membakar dengan nyala api yang konstan, semakin baik[3].

Oleh karena itu Penulis memilih menggunakan Kayu Lamtoro sebagai bahan bakar biomass selain karena persediannya melimpah, pemanfaatan Lamtoro di provinsi Gorontalo masih sangat minim, hanya menjadi tanaman hama yang di manfaatkan sebagai kayu bakar oleh masyarakat pedesaan. Dengan adanya skripsi ini, selain meningkatkan kuantitas pemanfaatan kayu tidak terpakai, juga menaikkan taraf hidup masyarakat di provinsi Gorontalo sendiri.

Energi alternatif dapat dihasilkan dari teknologi tepat guna yang sederhana dan sesuai untuk daerah pedesaan seperti briket dengan memanfaatkan limbah biomassa seperti serbuk gergaji kayu. Salah satu Biomassa yang banyak ditemui di Provinsi Gorontalo adalah kayu dari pohon lamtoro. Berdasarkan penggunaan kayu Lamtro, yang lebih disukai sebagai kayu energi alternatif dan sebagai pembangkit listrik termal, Lamtro sangat mudah terbakar dan telah dipelajari dalam berbagai cara. Sifat penyalaan ini mudah menyala, durasi nyala cukup lama, tidak menghasilkan jelaga, hampir tidak ada asap, cepat padam, dan nilai kalornya sangat tinggi. Waktu pembakaran mempengaruhi kualitas dan efisiensi pembakaran, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk membakar dengan nyala api yang konstan, semakin baik[3].

Kualitas biomassa untuk pembangkit listrik dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor internal berupa fixed carbon, volatile matter, kadar abu dan kadar air biomassa. Sedangkan faktor ekstrinsik merupakan faktor dalam pembakaran pada tahap gasifikasi dimana beberapa parameter dapat mempengaruhi efisiensi pembentukan syngas (analisis kualitas biomassa untuk pembangkit listrik). Pengoperasian PLTBm Gorontalo masih sering terkendala kualitas produksi syngas. Hal ini karena gasifikasi kurang efisien dalam membentuk gas yang mudah terbakar (pengaruh variasi rasio antara rasio udara reaktor yang dinonaktifkan terhadap pasokan biomassa sabut kelapa secara terus menerus). Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi tahap gasifikasi biomassa adalah (1) karakteristik biomassa, (2) desain gasifier, (3) agen gasifikasi, dan (4) rasio massa udara Air-fuel ratio (AFR) gas dan massa bahan bakar biomassa. [4].

Berdasarkan latar belakang diatas tujuan dari penelitian ini akan menghitung Air Fuel Ratio (AFR) PLTBm berbahan bakar kayu Lamtoro. Oleh karena itu penulis mengajukan judul **PENGARUH PERBANDINGAN UDARA DAN MASSA BAHAN BAKAR TERHADAP PROSES GASIFIKASI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASA KAYU LAMTORO.**



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, maka dapat di rumuskan permasalahan yang di ambil dalam penelitian ini yaitu berapa perbandingan udara dan massa bahan bakar kayu lamtoro (*Air Fuel Ratio -AFR*) Terhadap Proses Gasifikasi di dalam Reaktor PLTBm.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan nilai perbandingan massa udara dengan massa bahan bakar (AFR) dengan bahan bakar kayu lamtoro
2. Menghitung daya yang dihasilkan Generator PLTBm Kayu lamtoro berdasarkan nilai perbandingan massa udara dengan massa bahan bakar

## 1.4 Batasan Masalah

Berikut ini adalah batasan masalah dari penelitian ini :

1. *Air Fuel Ratio* (AFR) yang digunakan pada penelitian ini menggunakan Inverter yang berfungsi mengtur kecepatan aliran udara yang keluar dari blower.
2. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah kayu lamtoro seberat 80 kg dengan pembagian 10 kg sebagai pembakaran awal dan 70 kg sebagai penelitian.
3. Jenis gasifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah gasifikasi jenis *updraft*.
4. *Pada penelitian ini tidak membahas efisiensi gasifikasi*
5. *Pada penelitian ini tidak membahas reaksi pembakaran*

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui Nilai AFR dengan Menggunakan Kayu lamtoro sebagai Bahan Bakar pada PLTBm
2. Mengetahui nilai Output Beban Generator yang di hasilkan dari Gas pembakaran melalui Perbandingan AFR pada PLTBm Kayu Lamtoro
3. Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro dapat memperdalam wawasannya tentang renewable resources Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa.
4. Manfaat bagi penulis sendiri adalah menambah wawasan dan memperdalam pengetahuan tentang pengolahan pembangkit listrik biomassa secara umum maupun siklus-siklus yang terjadi pada pembangkit ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Adapun penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut :

Mochammad sahri dkk (2019) Selama ini pengelolaan sampah organik, bahan biomassa dan kotoran ternak telah banyak digunakan sebagai pupuk dan jarang digunakan untuk pembangkit listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengubah bahan biomassa menjadi energi listrik. Biomassa diproses dalam tangki destruksi selama 28 hari dan digunakan sebagai gas metana. Gas yang keluar dari kaleng masak disuplai ke ruang bakar mesin pembakaran generator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 105 kg biomassa sampah organik dan kotoran ternak dapat menghasilkan 25 kg gas metana dan listrik 228 volt dengan beban listrik 150 watt.[5].

Romi djafar dan Farid Darise dalam penelitian mereka yang berjudul “ pengaruh jumlah aliran udara terhadap nyala api efektif dari reaktor gasifikasi biomassa tipe fixed bed downdraft menggunakan bahan bakar tongkol jagung” menerangkan bahwa Salah satu parameter penting dalam proses gasifikasi adalah perbandingan udara aktual terhadap jumlah bahan bakar disebut udara Air Fuel Rasio (AFR). Ketika AFR terlalu besar maka semakin memperkaya komposisi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O karena pembakaran semakin mendekati pembakaran sempurna. Sedangkan apabila AFR terlalu kecil maka produk arang yang

dihasilkan makin meningkat, jumlah produksi gas yang menjadi sedikit dan panas kalor dihasilkan juga makin rendah, hal ini dipengaruhi oleh jumlah udara yang disuplai yang minimum. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut bagaimana pengaruh suplai udara terhadap proses gasifikasi tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nyala api terbaik, nyala api efektif proses gasifikasi, jumlah konsumsi bahan bakar serta distribusi suhu sepanjang reaktor downdraft. Untuk mendapatkan hasil penelitian maka dilakukan tiga variasi kecepatan udara masing-masing 15m/s; 10m/s dan 5m/s menggunakan alat ukur anemometer digital melalui pengaturan bukaan katup yang terpasang pada pipa nozzle.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nyala api terbaik diperoleh pada AFR 1.8 dengan Ekuivalen Rasio (ER) 0,25 yang didapatkan pada kecepatan udara 10m/s, dengan indikator nyala api yang kebiruan. Sedangkan laju konsumsi bahan bakar tertinggi diperoleh sebesar 1.7 kg/jam yang menghasilkan lama nyala api efektif 218 menit[6].

Muammar Zainuddin Dkk.(2017) Dalam jurnal penelitiannya, Kabupaten Gorontalo Jagung Boss Biomass Power Plant (Pltbbm) 500kW Kapasitas Gasifikasi Analisis Efisiensi, bahwa proses pembangkit listrik di Kabupaten Gorontalo Jagung Boss Biomass Power Plant menggunakan teknologi gasifikasi. Pembakaran biomassa menghasilkan gas sintetis, yang digunakan sebagai bahan bakar untuk generator. Kualitas listrik yang dihasilkan oleh

generator tergantung pada kualitas bahan bakar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan nilai efisiensi gasifikasi diproduksi oleh PLTBm. Metode survei yang digunakan terdiri dari pengukuran langsung dan analisis matematis dari data yang diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di bawah kondisi biomassa kering, massa udara meningkat sebagai rasio udara-bahan bakar (AFR) meningkat. Dengan meningkatkan nilai AFR maka laju aliran massa udara suplai yang masuk ke dalam reaktor gasifikasi dapat ditingkatkan. Efisiensi gasifier dari fluktuasi AFR menunjukkan peningkatan seiring dengan peningkatan fluktuasi AFR. Proses gasifikasi membutuhkan pasokan udara dalam jumlah terbatas. Oleh karena itu, nilai AFR dapat mempengaruhi efisiensi gasifikasi PLTBm. AFR tertinggi pada penelitian ini menunjukkan AFR dengan nilai 0,702. Pada proses ini berada pada kategori efisiensi tertinggi yaitu 99,17% [4][7].

Siti Jamilatun (2008) mengemukakan pendapatnya dalam jurnal penelitiannya yang berjudul “The igniting and burning properties of biomass briquettes, charcoal and wood briquettes”. Secara umum proses pembakaran padatan terdiri dari beberapa tahapan yaitu pemanasan, pengeringan, desalinasi dan pembakaran batubara. Faktor-faktor yang menentukan karakteristik pembakaran pelet adalah laju pembakaran, nilai kalor, densitas, dan jumlah polutan atau senyawa volatil yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mudah terbakar dari pelet biomassa, arang dan arang, termasuk laju pembakaran, waktu pembakaran pelet menjadi abu, waktu pengapian awal, jumlah asap atau zat campuran, zat terbang yang dihasilkan,

nilai kalor dan pembakaran. waktu. Waktu perebusan untuk 1liter air. Penelitian dilakukan dengan cara membakar 250 gram setiap jenis briket. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batok kelapa memiliki waktu pembakaran paling lama, yaitu 116 menit dengan laju pembakaran 126,6 gram per detik dan nilai kalori tertinggi 5.779,11 kalori per gram. Untuk merebus 1 liter air, semua briket yang diuji membutuhkan waktu 5 hingga 7 menit. Dibandingkan dengan briket dengan nilai kalori 6058 kal/g dan arang dengan nilai kalori 3583 kal/g, briket kelapa cukup baik untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif.[7].

Amelya Indah Pratiwi dan Muh. Asri (2018) dalam penelitiannya yang berjudul “ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA BERBASIS TONGKOL JAGUNG” menganalisis volume syngas yang dihasilkan dari tongkol di Provinsi Gorontalo. dan desain ukuran reaktor gasifikasi dengan . Kajian aspek teknis juga meliputi penentuan jenis reaktor yang akan digunakan, ukuran dan kapasitas reaktor, fan, perpipaan dan statik untuk pembangkit listrik tenaga biomassa berkapasitas 500 kw. Total volume syngas yang dihasilkan pada tahun 2017 dengan konversi biomassa tongkol di Provinsi Gorontalo adalah 412.832 ton atau setara dengan 297.53 ton syngas. Kapasitas yang dapat diproduksi dengan volume syngas ideal adalah 233.610,40 MW. Pada perancangan reaktor dengan kapasitas 1,5 kg tongkol/30 menit dipilih reaktor updraft dengan tinggi tungku 77 cm, diameter 188 cm, volume 2.136.368,08 cm<sup>3</sup>. kapasitas kipas 5,54 cfm per jam, penampang pipa 505 mm<sup>2</sup> dan penampang 1054,44 mm<sup>2</sup>. Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut[8].

## **2.2 Teori Pendukung**

### **2.2.1 Biomassa**

Biomassa merupakan salah satu bentuk energi alternatif yang sangat bermanfaat bagi pembangunan di Indonesia. Hal ini dibuktikan dengan melimpahnya sumber bahan bakar biomassa yang sebelumnya kurang dimanfaatkan di Indonesia, seperti sekam padi, limbah kayu industri, sabut kelapa, dan batang jagung. Biomassa dapat didefinisikan sebagai suatu zat yang berasal dari tumbuhan dan hewan, termasuk manusia. Biomassa didefinisikan sebagai bahan organik non-fosil dari tumbuhan, hewan dan mikroorganisme, terlepas dari apakah itu produk, residu, atau limbah dari pengolahan. Dari sudut pandang industri, biomassa juga berarti bahan biologis yang dapat diubah menjadi pembawa energi atau bahan industri. Sebagai energi terbarukan, biomassa dapat diproduksi secara berkelanjutan dari interaksi organisme hidup dengan lingkungannya. Tumbuhan menghasilkan energi dengan melakukan fotosintesis yang memanfaatkan energi sinar matahari dan CO<sub>2</sub> di udara. Hewan mendapatkan tanaman yang mereka makan dan memakan hewan lain. Energi yang terdapat pada tumbuhan dan hewan disebut energi biomassa.[9].

### **2.2.2 Karakteristik Biomassa**

Secara umum, jika biomassa ditemukan di lapangan, sifat-sifatnya dapat diidentifikasi sebagai Jenis dan ukuran yang tidak konsisten karena sumber yang berbeda, kadar air yang tinggi, kadar energi yang rendah. Meskipun mengidentifikasi karakteristik biomassa mudah dan murah, tidak dapat memberikan informasi kuantitatif yang diperlukan untuk strategi atau program kerja teknis untuk

mengelola biomassa sebagai sumber bioenergi. Pengendalian yang paling penting adalah konversi bahan berenergi rendah menjadi bahan berenergi tinggi melalui pilihan proses fisika, biologi, kimia atau kombinasi dan teknik konversinya.[9].

Desain termal sistem pemanfaatan biomassa, apakah itu reaktor gasifikasi atau pembakar, sangat tergantung pada komposisi unsur biomassa. Dalam konteks konversi panas seperti pembakaran, dua analisis komposisi biomassa berikut biasanya digunakan [10]

- a. Analisa ultimate atau analisa elemental.
- b. Analisa proximate.

#### **A. Analisa Ultimate dan Proximate**

##### **a. Analisis Ultimate**

Analisis akhir dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur kimia dalam biomassa seperti karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, belerang, unsur-unsur lain dan bahkan elemen jejak. Unsur karbon, hidrogen dan oksigen merupakan komponen utama bahan bakar biomassa. Karena konsentrasi unsur-unsur dalam bahan bakar berhubungan langsung dengan nilai kalor, rasio karbon terhadap hidrogen memiliki nilai kalor yang lebih tinggi (untuk batubara). Karbon adalah bentuk teroksidasi sebagian, yang menjelaskan nilai kalori total (GCV) biomassa yang lebih rendah dibandingkan dengan batubara. Pirolisis Energi Terbarukan Jika kandungan karbon biomassa hutan tinggi, hal ini menyebabkan GCV bahan bakar biomassa herba sedikit lebih tinggi. Karbon dan hidrogen dioksidasi menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  selama reaksi pembakaran. Sehubungan



dengan oksigen, bahan organik terkait-O dilepaskan selama pembakaran dan menyediakan sebagian dari total oksigen yang dibutuhkan untuk mempertahankan pembakaran yang sempurna.[9].

#### **b. Analisis Proximate**

Analisis proximate adalah analisis laboratorium untuk penentuan kadar air, volatil, karbon tetap dan kadar abu biomassa. [9].

1. Kelembaban (Moisture Content) Kelembaban selalu menjadi ciri setiap organisme hidup. Kandungan air merupakan karakteristik penting untuk biofuel. Ada tingkat air yang berbeda untuk biofuel, tergantung pada jenis biomassa, jenis biomassa, kondisi penyimpanan dan iklim. Peningkatan kadar air akan menurunkan suhu pembakaran adiabatik maksimum dan meningkatkan waktu yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna di dalam tungku. Kadar air biomassa sangat penting dalam hal daya tahan penyimpanan, nilai kalor yang lebih rendah, penyalaan sendiri, desain pabrik, perhitungan konsumsi boiler.
2. Materi yang mudah menguap Kandungan karbon tetap adalah karbon yang ada dalam bahan yang tersisa setelah bahan yang mudah menguap dihilangkan. Volatile mengacu pada komponen, dengan pengecualian kelembaban, yang dilepaskan pada suhu tinggi tanpa adanya udara. Jumlah volatil dalam biofuel lebih besar dari batubara. Sebagian besar bahan bakar kemudian diuapkan sebelum pembakaran fase gas homogen sementara sisa batubara dibakar secara heterogen. Jumlah bahan yang mudah

menguap mempengaruhi dekomposisi dan perilaku pembakaran termal. Ini berbeda dari kandungan karbon utama biomassa karena beberapa karbon hilang dalam hidrokarbon yang mudah menguap. 32 Pirolisis Energi Terbarukan

3. Karbon Tetap (Fixed Carbon) Kandungan karbon tetap adalah karbon yang terdapat pada bahan-bahan yang tersisa setelah bahan-bahan yang mudah menguap. Ini berbeda dengan kandungan karbon utama biomassa karena sebagian karbon hilang dalam hidrokarbon volatil.
4. Kadar abu (ash) Kadar abu biomassa merupakan sisa dari proses pembakaran yang tidak dapat dibakar. Ini adalah mineral utama setelah karbon, oksigen, belerang dan udara yang terjadi selama pembakaran. Beberapa unsur yang ada dalam bentuk abu biomassa setelah pembakaran disebut unsur pembentuk abu. Mereka ada sebagai garam, disimpan dalam struktur karbon (abu yang dikemas) atau, setelah ditambahkan ke bahan bakar selama pemanenan dan pengangkutan, sebagai debu atau tanah liat (abu yang terbawa). Semua jenis biomassa memiliki kadar abu yang rendah dibandingkan dengan batubara. Namun, komposisi abu biomassa lebih cenderung tersumbat di tungku biomassa.

### **2.2.3 Densitas Biomassa**

Densitas juga merupakan salah satu parameter yang penting pada biomassa. Dari beberapa macam densitas yang ada (true density, apparent density dan bulk density) maka yang sering digunakan untuk menilai karakter dari biomassa adalah bulk density yang merupakan massa sekumpulan biomassa dibagi volume ruang

yang digunakan. Untuk menentukan bulk density dari biomassa berdasarkan standar pengukuran ASTM E-873-06 dapat dilakukan dengan mengisi biomassa dalam kotak berukuran terstandar (305 mm x 305 mm x 305 mm) dengan cara dikucurkan dari ketinggian 610 mm. Kemudian kotak tersebut dijatuhkan dari ketinggian 150mm sebanyak 3 kali untuk pemadatan, kemudian ditambahkan lagi biomassa hingga penuh. Massa akhir dari biomassa dibagi dengan volume kotak merupakan bulk density dari biomassa.

#### **2.2.4 Nilai Kalor Biomassa**

Merupakan salah satu properti yang penting pada proses konversi energi dari biomassa. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, nilai kalor biomassa sangat rendah, terutama bila dihitung berdasarkan volumenya, karena densitas dari biomassa sangat rendah dan tingginya kandungan oksigen dalam biomassa. Nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah energi panas (kalor) yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Nilai kalor berhubungan langsung dengan kadar C dan H yang dikandung oleh bahan bakar padat. Semakin besar kadar keduanya, semakin besar pula nilai kalor yang dikandung. Ditinjau dari nilai kalor bahan bakar dibedakan atas :

1. Nilai Kalor Atas atau High Heating Value (HHV)

Nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap (air yang dihasilkan dari pembakaran berada dalam wujud cair) atau energi yang dihasilkan oleh sejumlah massa atau volume biomassa yang dibakar (Basu, 2013). Energi yang dihasilkan termasuk juga

energi yang digunakan sebagai panas laten penguapan kandungan air. Reed dan Das (1988, hal 13) menuliskan dalam tabel, beberapa Nilai Kalor Panas dari biomassa, dapat dilihat salah satunya adalah sampah padat perkotaan (MSW) yang memiliki Nilai Kalor Panas 19,83 kJ/g.

## 2. Nilai Kalor Bawah atau Low Heating Value (LHV)

Nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap (air yang dihasilkan dari pembakaran berada dalam wujud gas atau uap) atau besarnya energi yang dikeluarkan saat pembakaran sempurna biomassa tanpa mengikutsertakan besarnya energi yang digunakan untuk menguapkan kandungan air.

Harga nilai kalor baik hhv dan lhv dapat diperoleh dengan cara berikut :

1. Mengambil harga nilai kalor dari literatur yang ada.
2. Menghitung nilai kalor bahan bakar dengan menggunakan rumus Dulong dan Petit. Rumus dulong dan Petit menurut (2) yaitu :

- Nilai Kalor Atas :  $349,1C + 1178,3H + 100,5S - 103,4O - 15,1N - 21,1 \text{ ASH} \text{ kJ/Kg}$

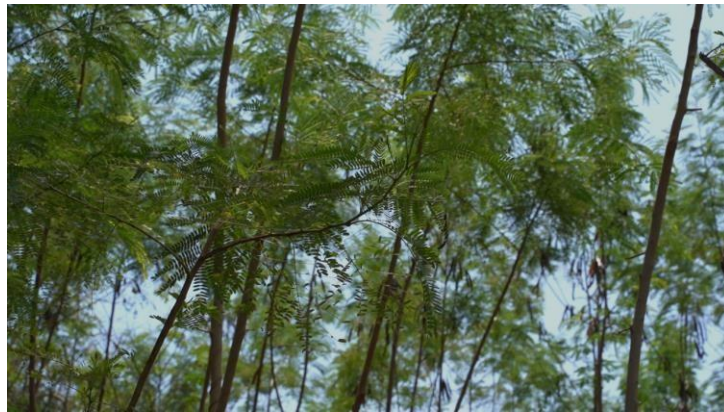
Dimana C, H, S, O, N, dan ASH adalah persentase berat dari karbon, hidrogen, sulfur, oksigen, nitrogen, dan abu yang diperoleh dari analisa ultimate dalam kondisi dry basis. Persamaan empiris diatas dapat digunakan bila  $0\% < C < 92\%$  ;  $0,43\% < H < 25\%$  ;  $0\% < O < 50\%$  ;  $0\% < N < 5,6\%$  :  $0\% < \text{abu} < 71\%$  ;  $4745 \text{ kJ/kg} < \text{HHV} < 55,345 \text{ kJ/kg}$

- Hubungan antara Nilai Kalor Atas dan Nilai Kalor Bawah adalah sebagai berikut :

Nilai Kalor Bawah = Nilai Kalor Atas -  $hfg(9H/100 - M/100)$

Dimana H dan M adalah persentase dari hidrogen dan kelembaban dari biomassa pada kondisi as receive. dan hfg adalah panas laten dari uap air dengan satuan yang sama dengan Nilai Kalor Atas. Panas laten dari penguapan air bila menggunakan referensi suhu penguapan 1000C adalah 2260 kJ/kg.

### 2.3 Lamtoro



Gambar 2.1 Pohon Lamtoro

Sejak lama, lamtoro telah digunakan sebagai pohon peneduh, anti-erosi, sumber kayu bakar dan pakan ternak. Di tanah yang cukup subur, lamtoro tumbuh dengan cepat dan dapat mencapai ukuran dewasa (tinggi 1318 m) dalam waktu 3-5 tahun. Tegakan yang rapat (lebih dari 5000 pohon/ha) dapat menghasilkan kayu dari 20 sampai 60 m<sup>3</sup> per hektar per tahun. Tanaman tunggal bisa mencapai 50 cm. Lamtoro merupakan salah satu legum serbaguna yang ditanam dengan model pertanian campuran (agroforestry).[11].

Pohon ini sering ditanam di jalur dengan jarak 3-10 m, di antara barisan pohon sequoia. Kegunaan lain adalah sebagai pagar hidup, penahan api,

penahan angin, penanaman pohon, perbanyakkan jeruk keprok hidup seperti lada, vanili, markisa dan gadung, serta pohon peneduh di perkebunan kopi dan kopi kakao.

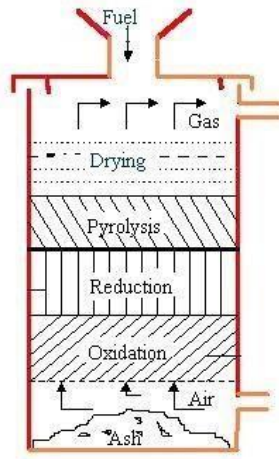
## **2.4 Gasifikasi**

### **2.4.1 Definisi**

Gasifikasi adalah proses pengkonversian bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas yaitu antara 20% hingga 40% udara stoikiometri. Reaktor tempat terjadinya proses gasifikasi disebut gasifier. Selama proses gasifikasi akan terbentuk daerah proses yang dinamakan menurut distribusi suhu dalam reaktor gasifier. Daerah-daerah tersebut adalah: Drying, Pyrolysis, Reduksi dan Combustion. Masing-masing daerah terjadi pada rentang suhu antara 100  $^{\circ}\text{C}$  hingga 300  $^{\circ}\text{C}$ , 300  $^{\circ}\text{C}$  hingga 900  $^{\circ}\text{C}$ , 400  $^{\circ}\text{C}$  hingga 900  $^{\circ}\text{C}$ , dan 900  $^{\circ}\text{C}$  keatas. (Bambang, dkk, 2009). Gas hasil dari proses gasifikasi disebut biogas, producer gas atau syngas. Ada 3 macam jenis dari gasifikasi yaitu Gasifikasi tipe Downdraft, Gasifikasi tipe Updraft dan Gasifikasi tipe Crossdraft.

Pada tipe Updraft ini umpan dimasukkan pada bagian atas reaktor dan bergerak kebawah melewati zona pengeringan, pirolisis, reduksi, dan oksidasi. Sedangkan udara masuk pada bagian bawah dan gas keluar pada bagian atas. Keunggulan tipe ini yaitu kesederhanaannya, tingkat pembakaran arang yang tinggi, pertukaran panas internal sehingga suhu gas keluar rendah, dan efisiensi gasifikasi yang tinggi. Selain itu bahan baku yang diumpankan dapat berada pada kondisi kadar air yang cukup tinggi (50% wb). Kekurangannya, producer gas yang keluar dari reactor berada pada

kondisi temperatur rendah ( $<500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), membawa tar yang terkondensasi serta minyak yang berasal dari proses pirolisis.



Gambar 2.2 Skema Reaktor Gasifikasi Tipe Updraft

#### 2.4.2 Media Gasifikasi

Media gasifikasi akan bereaksi dengan karbon padat dan zat hidrokarbon yang lebih berat untuk mengkonversinya menjadi gas dengan massa molekul yang ringan seperti CO dan H<sub>2</sub>. Media utama yang digunakan pada proses gasifikasi adalah sebagai berikut :

- Oksigen
- Uap air
- Udara

Oksigen merupakan media gasifikasi yang paling dikenal, kegunaan utamanya adalah untuk pembakaran sebagian pada reaktor gasifikasi. Oksigen dapat disuplai dalam reaktor gasifikasi baik dalam bentuk murni ataupun dalam bentuk udara. Nilai kalor dan komposisi dari gas yang dihasilkan dari reaktor gasifikasi merupakan fungsi kuat dari kondisi dan jumlah dari media gasifikasi. Bila media gasifikasi

memiliki kandungan oksigen yang rendah maka CO akan terbentuk dan bila kandungan oksigen tinggi maka akan terbentuk CO<sub>2</sub>. Bila jumlah oksigen melebihi jumlah oksigen tertentu (kondisi stoikiometris) maka proses akan berubah menjadi proses pembakaran yang akan menghasilkan flue gas. Selain itu jumlah oksigen yang tinggi juga mengurangi jumlah kandungan hidrogen yang dihasilkan dan memperbanyak campuran yang berbasis karbon dalam gas yang dihasilkan. Bila uap air digunakan sebagai media gasifikasi maka kandungan hidrogen dalam gas yang dihasilkan akan meningkat sehingga perbandingan antara hidrogen dan karbon (H/C) dalam gas akan meningkat. Pemilihan media gasifikasi juga mempengaruhi nilai kalor dari gas yang dihasilkan. Sebagai contoh, bila udara yang digunakan sebagai media gasifikasi maka nitrogen dalam udara akan mempengaruhi gas yang dihasilkan dan mengurangi nilai kalornya. Udara sebagai media gasifikasi menghasilkan gas dengan nilai kalor terendah. (sekitar 4-7 MJ/Nm<sup>3</sup>) dibandingkan dengan media gasifikasi uap dan oksigen, seperti yang ditabelkan oleh Basu (2013)[12].

### **2.4.3 Proses Gasifikasi**

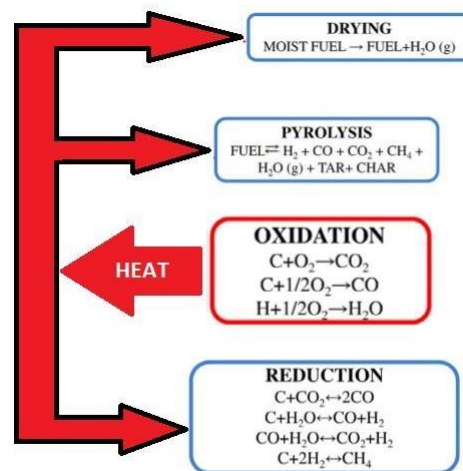
Reaksi utama gasifikasi adalah endotermik dan energi yang diperlukan untuk terjadinya proses tersebut, umumnya, didapat dari proses oksidasi yang merupakan bagian dari biomassa, melalui fase allothermal atau autothermal. Dalam proses auto-thermal, Gasifier dipanaskan secara internal melalui pembakaran parsial, sementara dalam proses allo-thermal energi yang dibutuhkan untuk gasifikasi disuplai secara eksternal. Mengingat sistem auto-thermal, gasifikasi dapat dilihat sebagai urutan dari beberapa tahapan. Langkah- langkah utama dari proses gasifikasi adalah:

- (1) Oksidasi (tahap eksotermis).



- (2) Pengeringan (tahap endotermik).
- (3) Pirolisis (tahap endotermik).
- (4) Reduksi (tahap endotermik).

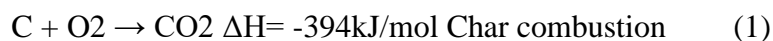
Langkah tambahan, yang terdiri dari dekomposisi tar, dapat juga termasuk dalam rangka untuk menjelaskan pembentukan hidrokarbon ringan karena dekomposisi molekul tar besar. Pada gambar 2.3 diperlihatkan sebuah representasi skematis dari proses gasifikasi:

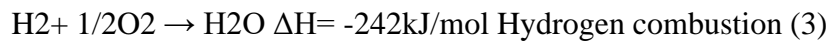
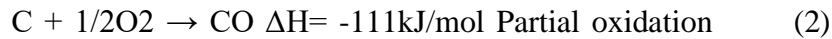


Gambar 2.3 Tahapan dalam Proses Gasifikasi

#### a. Oksidasi

Terjadi pada suhu  $> 900^\circ\text{C}$  Oksidasi dilakukan dalam kondisi kekurangan oksigen sehubungan dengan rasio stoikiometri untuk mengoksidasi hanya sebagian dari bahan bakar. dengan memanfaatkan supply  $\text{O}_2$  terbatas pada reaktor dan melepas sejumlah panas. Panas ini digunakan untuk memecah Hidrokarbon hasil pirolisis serta untuk mengatasi kebutuhan panas proses reduksi. Reaksi yang berlangsung selama fase oksidasi adalah sebagai berikut:





Produk utama berupa energi panas yang sangat diperlukan untuk seluruh proses, sedangkan produk pembakaran merupakan campuran gas CO, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>O. Dalam campuran ini nitrogen dapat hadir jika oksidasi biomassa dilakukan dengan udara. Dari reaksi tersebut terdapat  $\Delta H$  yang merupakan Delta atau perbedaan harga Entalpi dari tiap proses.  $\Delta H$  dirumuskan dengan  $H_{\text{produk}} - H_{\text{reaktan}}$ , misal pada reaksi Partial oksidation  $H_{\text{produk}}$  diperoleh dari CO (Carbon Monoksida) dan  $H_{\text{reaktan}}$  diperoleh dari C dan O<sub>2</sub> dan mengalami proses eksotermal (menghasilkan panas sebesar 111 kJ/mol).

#### b. Drying/pengeringan

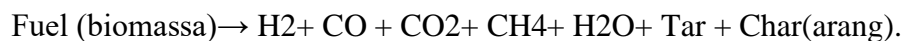
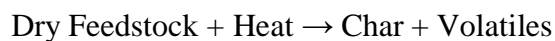
Proses Drying terletak antara range suhu 100 – 300 °C yang bersifat endoterm (menyerap panas). Pengeringan terdiri atas penguapan uap air yang terkandung dalam bahan baku. Jumlah panas yang dibutuhkan dalam tahap ini sebanding dengan kadar kelembabannya. Pengeringan dapat dianggap lengkap ketika suhu biomassa 150 °C dicapai (Hamelinck et al). Proses pengeringan ini sangat penting dilakukan agar pengapian pada burner dapat terjadi lebih cepat dan lebih stabil. Pada reaksi ini, bahan bakar yang mengandung air akan dihilangkan dengan cara diuapkan dan dibutuhkan energi sekitar 2260 kJ untuk melakukan proses tersebut sehingga cukup menyita waktu operasi. ( $\text{Moist Feedstock} + \text{Heat} \gg \text{Dry Feedstock} + \text{H}_2\text{O}$ ).

#### c. Pirolisis

Merupakan fase dekomposisi termokimia dari bahan matriks karbon; khususnya, cracking ikatan kimia berlangsung dengan pembentukan molekul dengan berat

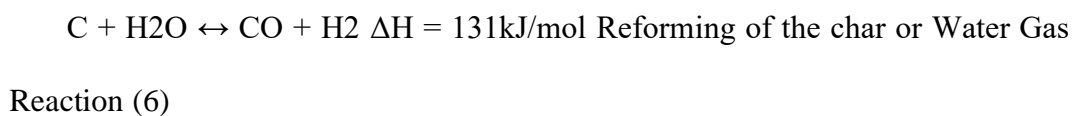
molekul rendah.. Fraksi padat, yang bisa berkisar dari 5-10% berat untuk gasifikasi fluidized bed. fraksi ini termasuk bahan lembam yang terkandung dalam biomassa dalam bentuk abu dan sebagian kecil kandungan karbon yang tinggi, yang disebut "char". Fraksi cairan, biasanya disebut "tar".

Reaksi pirolisis berlangsung dengan suhu di kisaran 300- 900 °C. termasuk dalam kondisi endotermik, seperti pada langkah pengeringan, panas yang dibutuhkan berasal dari tahap proses oksidasi. Skematik proses pirolisis dapat dilihat pada keseluruhan reaksi berikut:



#### d. Reduksi

Proses Reduksi terjadi pada kisaran suhu 400-900 °C Langkah reduksi melibatkan semua produk dari tahap sebelumnya dari pirolisis dan oksidasi; campuran gas dan arang bereaksi satu sama lain sehingga pembentukan akhir berupa syngas. Reaksi utama yang terjadi pada langkah reduksi adalah:

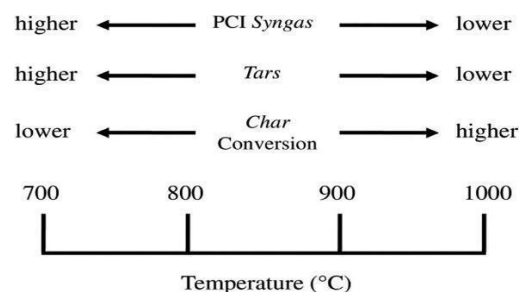


Reaksi (5 dan 6) adalah endotermik, sementara reaksi (7 dan 8) adalah eksotermik; Namun, kontribusi kedua Boudouard Reaction (5) dan reformasi arang (6) membuat langkah reduksi endotermik , dan kemudian seluruh langkah membutuhkan energi dari reaksi oksidasi. Reaksi (5-8) adalah reaksi kesetimbangan kimia seperti yang didefinisikan oleh hukum kesetimbangan

termodinamika. Secara umum, dapat dinyatakan bahwa Reaksi endotermik (5 dan 6) lebih diunggulkan (kondisi keseimbangan bergeser ke arah pembentukan produk) saat suhu meningkat, sementara Reaksi (7 dan 8) diunggulkan pada suhu rendah. Suhu di mana langkah reduksi dilakukan memiliki peranan penting dalam menentukan komposisi syngas, dan karena itu karakteristiknya (heating value yang lebih rendah, kehadiran tar). suhu tinggi meningkatkan oksidasi char (mengurangi residu padat pada prosesnya) dan mengurangi pembentukan tar. Di sisi lain hal tersebut meningkatkan risiko abu yang melekat dan mengurangi kandungan energi dari syngas.

Suhu reduksi adalah parameter kunci dari proses keseluruhan, menentukan karakteristik residu padat dan dari syngas itu. Efek ini dirangkum dalam Gambar.

2.4.



Gambar 2.4 Pengaruh proses suhu pada karakteristik syngas

Pengaruh suhu pada proses gasifikasi seluruhnya telah menyebabkan pengembangan beberapa solusi teknologi, masing-masing ditandai dengan komposisi syngas yang berbeda dan jumlah residu padat yang berbeda. Kisaran suhu khusus untuk proses gasifikasi telah dikembangkan pada skala penuh adalah 800-1100 °C, sedangkan pada proses gasifikasi yang menggunakan oksigen, suhu proses berada di kisaran 500-1600 °C.

#### 2.4.4 Produk gasifikasi Biomassa

Produksi akhir gasifikasi biomassa untuk fase padat dan gas/uap akan sangat berbeda. Fase padat berupa abu yang terdiri dari bahan lembam yang muncul dalam bahan baku dan tidak bereaksi dengan arang. Arang yang terdapat di abu memiliki persentase yang sangat rendah dari total jumlah abu. Secara umum beratnya lebih rendah dari 1% perubahan matrik pada karbon didalam gas menjadi objek pada keseluruhan proses.

##### a. Gas Mampu Bakar (*Syngas*)

Gas mampu bakar atau yang lebih dikenal Gas Sintetik (*Syngas*) merupakan campuran Hidrogen dan Karbon Monoksida. Kata sintetik gas diartikan sebagai pengganti gas alam yang dalam hal ini terbuat dari gas metana. *Syngas* merupakan bahan baku yang penting untuk industri kimia dan industri pembangkit daya. Nilai LHV bahan bakar dan LHV *Syngas* dapat ditentukan dari komposisi yang terkandung dalam satuan unit massa bahan bakar dan satuan unit volume *Syngas*. *syngas* (produk gas) yang dibagi lagi menjadi fase gas dan fase kondensasi. Fase gas adalah campuran gas yang berisi gas yang tidak terkondensasi pada suhu ruangan, CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, hidrokarbon ringan, CH<sub>4</sub> dan beberapa C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub>. Jika udara digunakan dalam proses oksidasi pada gasifikasi, maka kandungan nitrogen (N<sub>2</sub>) akan muncul pada fase gas tersebut. Komponen kecil seperti NH<sub>3</sub> dan gas asam anorganik (H<sub>2</sub>S dan HCl dan beberapa senyawa kecil gas (RIF)) juga muncul pada fase gas. Jumlah komponen minor tergantung pada komposisi biomassa. Jumlah *syngas* dapat berkisar di 1-3 Nm<sup>3</sup>/ kg dalam kondisi kering, dengan LHV lebih dari 4-15 MJ / Nm<sup>3</sup>. Nilai-nilai ini sangat dipengaruhi oleh teknologi gasifikasi yang

dipilih serta variabel operasi gasifikasi . Pertimbangan tertentu diperlukan untuk fase terkondensasi, tar, karena terbuat dari beberapa senyawa organik yang sangat kental, dapat dianggap sebagai minyak bituminous. Standarisasi European board mendefenisikan tar sebagai: "semua senyawa organik yang terdapat dalam syngas kecuali gas hidrokarbon dari C1 sampai C6".

#### **2.4.5 Faktor Yang Mempengaruhi Hasil Proses Gasifikasi**

Kualitas Syngas dari proses gasifikasi ditentukan oleh kondisi dari biomass yang digunakan sebagai bahan baku serta bagaimana desain reaktor yang dilakukan. Proses gasifikasi bukanlah semata-mata proses pengkonversian biomassa cair atau padat menjadi combustible gas, banyak variabel di dalamnya yang menjadi parameter penentu kinerja reaktor, tahapan proses dan temperatur dalam reaktor atau bahkan kondisi dan komposisi gas yang dihasilkan. Beberapa parameter tersebut akan dibahas pada subbab berikut ini antara lain propertis biomassa, dan rasio bahan bakar dengan udara yang digunakan..

##### **A. Sifat- Sifat Biomassa**

1. Sesuai dengan penelitian Rajvanshi (2006), sifat-sifat yang dimiliki biomassa baik secara fisik maupun kimia mampu mepengaruhi baik dari segi energi yang dihasilkan maupun heat loss-nya. Sifat tersebut antara lain[13] :

2. Kandungan Moisture

Untuk proses gasifikasi biomassa, umumnya dipilih biomassa yang memiliki kandungan moisture yang rendah. Karena kandungan moisture yang tinggi akan menyebabkan heat loss yang berlebihan dan beban pendinginan semakin

tinggi karena pressure drop yang terjadi juga meningkat. Idealnya kandungan moisture yang sesuai untuk bahan baku gasifikasi tidak lebih dari 20 %.

### 3. Kandungan TAR

Tar merupakan salah satu kandungan yang paling merugikan dan harus dihindari. Tar adalah cairan hitam kental yang terbentuk dari destilasi destruktif pada material organik. Tar yang terbentuk dari batubara atau minyak bumi diperkirakan bersifat racun karena kandungan benzena di dalamnya. Apabila hasil gas yang mengandung tar relatif tinggi dipakai pada kendaraan bermotor, dapat menimbulkan deposit pada karburator dan intake valve sehingga menyebabkan gangguan. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari 1 g/m<sup>3</sup>.

### 4. Ash dan Slagging

Ash adalah kandungan mineral yang terdapat pada bahan baku yang tetap berupa oksida setelah proses pembakaran. Sedangkan slag adalah kumpulan ash yang lebih tebal. Pengaruh adanya ash dan slag pada gasifier mengurangi respon pereaksian bahan baku pada titik tertentu sehingga menimbulkan penyumbatan pada gasifier. Semakin tinggi kandungan ash yang dimiliki maka partikel pengotor dari syngas juga semakin banyak sehingga dibutuhkan pembersihan gas yang lebih baik lagi.

### 5. Dust

Semua bahan baku gasifikasi menghasilkan dust (debu). Adanya dust ini sangat mengganggu karena berpotensi menyumbat saluran sehingga

membutuhkan maintenance lebih. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan kandungan dust yang tidak lebih dari 2 – 6 g/m<sup>3</sup>.

#### 6. Energi

Semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki biomass maka syngas hasil gasifikasi biomass tersebut semakin tinggi karena energi yang dapat dikonversi juga semakin tinggi.

#### 2.4.6 Udara Pembakaran

Reaksi kimia terjadi ketika ikatan-ikatan molekul dari reactan berpisah, kemudian atom-atom dan elektron menyusun kembali membentuk unsur-unsur pokok yang berlainan yang disebut hasil (produk). Oksidasi yang terjadi secara kontinyu pada bahan bakar menghasilkan pelepasan energi sebagai hasil dari pembakaran. Pembakaran dapat dikatakan sempurna (stoichiometric) apabila semua karbon (C) yang terkandung dalam bahan bakar diubah menjadi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan semua hidrogen diubah menjadi air (H<sub>2</sub>O)[14]. Jika salah satu tidak terpenuhi, maka pembakaran tidak sempurna. Syarat terjadinya pembakaran adalah adanya oksigen (O<sub>2</sub>). Dalam aplikasi pembakaran yang banyak terjadi, udara menyediakan oksigen yang dibutuhkan. Dua parameter yang sering digunakan untuk menentukan jumlah dari bahan bakar dan udara pada proses pembakaran adalah perbandingan udara bahan bakar. Perbandingan udara bahan bakar dapat diartikan sebagai jumlah udara dalam suatu reaksi jumlah bahan bakar. Perbandingan udara bahan bakar dari suatu pembakaran berpengaruh menentukan bagaimana komposisi produk dan juga terhadap jumlah panas yang dilepaskan



selama reaksi berlangsung dan dapat ditulis dalam basis mol (molar basis) atau basis massa (mass basis).

#### **2.4.7 Rasio Udara Bahan Bakar**

Rasio massa udara ke bahan bakar disetiap satuan pembakaran didefinisikan sebagai rasio udara bahan bakar (air fuel ratio/AFR). Rasio minimum udara yang benar-benar dibutuhkan bahan bakar yang cukup tepat untuk membakar bahan bakar disebut sebagai rasio stoikiometrik. Pembakaran bahan bakar membutuhkan rasio stoikiometrik minimum udara ke bahan bakar, sementara gasifikasi membutuhkan rasio udara bahan bakar lebih rendah dari rasio stoikiometri atau sering disebut semi-stoikiometri. Rasio kesetaraan (equivalent ratio/ER) dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara rasio udara bahan bakar dari proses gasifikasi dan rasio udara bahan bakar untuk pembakaran yang sempurna. Equivalent ratio/ER yang tinggi akan mengakibatkan Nilai kalor bawah (LHV) gas menurun, Karena ER akan terkait dengan AFR dimana hal ini menyebabkan udara yang memasuki ruang bakar akan tinggi sehingga akan menyebabkan penurunan nilai kalor flameable gas CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>. Disisi lain, hasil ER rendah mengakibatkan nilai kalor komposisi flameable gas naik sehingga Nilai Kalor Bawah gas (LHV gas) akan tinggi (kumar, A et al, 2009).

Perbandingan bahan bakar dan udara dalam proses gasifikasi mempengaruhi reaksi yang terjadi dan tentu saja pada kandungan syngas yang dihasilkan. Kebutuhan udara pada proses gasifikasi berada di antara batas konversi energi pirolisis dan pembakaran. Karena itu dibutuhkan rasio yang tepat jika

menginginkan hasil syngas yang maksimal. Pada gasifikasi biomass rasio yang tepat untuk proses gasifikasi berkisar pada angka 1,00 - 1,5.

AFR = Massa udara : Massa biomassa (bahan bakar)

ER = AFR<sub>aktual</sub>/AFR<sub>stoikiometris</sub> Kondisi stoikiometris teoritis biomassa diperoleh dengan mengetahui terlebih dahulu kandungan unsur kimia dari biomassa, kemudian dilakukan perhitungan persamaan reaksi yaitu reaksi oksidasi. Reed dan Dash[9] memberikan rumus kimia rata-rata dari biomassa yaitu CH<sub>1,4</sub>O<sub>0,6</sub>, sehingga bila direaksikan dengan udara akan menjadi pembakaran sempurna sebagai berikut :  $CH_{1,4}O_{0,6} + 1,05O_2 + (3,95N_2) \rightarrow CO_2 + 0,7H_2O + (3,95N_2)$ .

#### 2.4.8 Suhu Reaktor Gasifikasi

Dalam setiap langkah proses gasifikasi yang terjadi temperatur memiliki peranan penting pada masing-masing proses, sehingga dalam satu reaktor gasifikasi terdapat distribusi suhu yang dapat merepresentasikan masing-masing zona dari proses gasifikasi, beberapa faktor yang mempengaruhi distribusi tersebut adalah: komponen dan properti fisik biomassa, Equivalen Ratio (ER) kedua factor ini akan mempengaruhi performa gasifikasi antara lain : superficial velocity, Parameter unjuk kerja Reaktor Gasifikasi, serta kandungan TAR.

#### 2.4.9 Parameter Performa

Dalam meninjau performa gasifikasi ada beberapa hal yang menjadi parameter. (Basu, P, 2010) menjelaskan bahwa parameter prestasi sistem gasifikasi dapat diukur menggunakan indikator dibawah ini [12]:

a. Suhu Reaktor Gasifikasi

Dalam setiap langkah proses gasifikasi yang terjadi dalam reaktor gasifikasi selalu berhubungan erat dengan temperatur untuk masing-masing proses, sehingga dalam satu reaktor gasifikasi terdapat profil sebaran suhu yang dapat merepresentasikan masing-masing zona dari proses gasifikasi. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa suhu ini juga terkait dengan nilai equivalence ratio. Selain itu suhu atau profil suhu pada reaktor gasifikasi juga dipengaruhi oleh faktor parameter yang lain, seperti: properti biomassa, superficial velocity, suhu media gasifikasi, insulator, dan yang lainnya. Pada sisi lain suhu reaktor gasifikasi menjadi penentu dari beberapa parameter unjuk kerja dari reaktor gasifikasi, seperti : tingkat keadaan abu, komposisi dan keberadaan tar pada syngas.

b. Komposisi dan Properti Fisik Biomassa

Pada dasarnya unjuk kerja proses gasifikasi pada reaktor gasifikasi juga sangat dipengaruhi oleh properti spesifik dari biomassa. Properti yang paling penting pada gasifikasi adalah komposisi elemen/unsur biomassa, nilai kalor, kandungan abu, kadar kelembaban, kadar volatile mater, unsur yang terkandung lainnya (N, S, Cl, alkali, logam berat, dan lainnya), densitas dan ukuran.

c. Parameter Unjuk Kerja Reaktor Gasifikasi

- Komposisi Syngas

Sama halnya dengan analisa komposisi pada biomassa, maka syngas juga harus dianalisa komposisi gasnya. Unsur yang ada dalam syngas umumnya

adalah CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, hidrokarbon berat dan N<sub>2</sub>. Kandungan gas tersebut ada yang bisa terbakar seperti CO, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> serta gas yang tidak bisa terbakar seperti CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>. Dari komposisi gas tersebut, nantinya dapat diperhitungkan kandungan energi dalam gas ataupun untuk menganalisa pengoperasian dari reaktor gasifikasi. Analisa rasio antara CO dan CO<sub>2</sub> (CO/CO<sub>2</sub>) adalah salah satu cara untuk mengukur kualitas dari gas dan proses gasifikasi.

- Nilai Kalor (LHV) Syngas

Jumlah kandungan energi pada syngas dapat dihitung secara teoritis dari analisa komposisinya, yaitu dengan menggunakan persamaan untuk menghitung Nilai Kalor Bawah gas (NKB<sub>gas</sub>) sebagai berikut :

$$NKB_{GAS} = \sum_{i=1}^n (Y_i \cdot NKB_i)$$

Keterangan :

$Y_i$  = Konsentrasi gas yang terbakar (CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>)

LHV<sub>i</sub> = Nilai Kalor rendah dari gas terbakar (CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>)

- *Cold Gas Efficiency*

Gasifier yang efektif mampu mengkonversi biomassa yang dimasukkan dengan tambahan udara menjadi combustible gas yang nantinya memiliki nilai guna yang lebih tinggi untuk diaplikasikan dalam berbagai kegiatan. Bila semua proses diatas dilakukan seefisien mungkin, maka kandungan energi dari produksi gas mampu berada pada kisaran (70-80) % dari

kandungan energi biomassa yang digunakan pada gasifier,. Perhitungan efisiensi menggunakan persamaan berikut :

$$\eta_{CG} = \frac{(\dot{m}_{gas} \cdot NKB_{gas})}{(\dot{m}_{biomassa} \cdot NKB_{biomassa})}$$

## 2.5 Komponen Gasifikasi

### 2.5.1 Reaktor

Reaktor yang digunakan pada skala industri untuk mengubah biomassa menjadi gas biasanya disebut Gasifier, pada dasarnya gasifier berbeda fungsi salah satunya untuk:

- 1) Cara menghubungkan antara suplai bahan baku dan agen gasifikasi
- 2) Cara dan laju perpindahan panas
- 3) Waktu yang dibutuhkan untuk memasukkan bahan ke dalam zona reaksi

Solusi teknologi yang berbeda dapat diimplementasikan untuk mendapatkan konfigurasi pembangkit yang berbeda; khususnya, modus kontak biomassa dengan agen gasifikasi mungkin berlawanan arah, atau searah, atau berlawanan aliran, dan panas dapat ditransfer dari luar atau langsung dari dalam reaktor menggunakan agen pembakaran; waktu yang dibutuhkan dalam jam (Gasifier diam, Rotary kiln) atau dalam Solusi teknologi yang berbeda dapat diimplementasikan untuk mendapatkan konfigurasi pembangkit yang berbeda; khususnya, modus kontak biomassa dengan agen gasifikasi mungkin berlawanan arah, atau searah, atau berlawanan aliran, dan panas dapat ditransfer dari luar atau langsung dari dalam reaktor menggunakan agen pembakaran; waktu yang dibutuhkan dalam jam (Gasifier diam, Rotary kiln) atau dalam menit (Gasifier fluidized bed). Reaktor yang digunakan dalam proses gasifikasi biomassa adalah:

## 1. Fixed Bed Reaktor

Solusi teknologi utama berdasarkan reaktor fixed-bed adalah reaktor updraft dan reaktor downdraft (Gambar 2.8 a dan b). Pada reaktor updraft biomassa padat bergerak ke bawah sehubungan dengan agen gasifikasi dan kemudian syngas yang dihasilkan bergerak ke atas (berlawanan).

Reaktor tipe downdraft hampir sama dengan tipe updraft hanya saja letak zona oksidasi dan zona reduksi yang berbeda. Bahan bakar dalam reaktor dimasukkan dari atas dan udara dari blower dihembuskan dari samping menuju ke zona oksidasi sedangkan produk berupa syngas hasil pembakaran, keluar melalui burner yang terletak dibawah ruangan bahan bakar sehingga saat volume gas makin meningkat maka syngas mencari jalan keluar melalui daerah dengan tekanan yang lebih rendah. Sistem tersebut memiliki maksud agar syngas yang terbentuk akan tersaring kembali oleh bahan bakar dan melalui zona pirolisis sehingga kandungan tar dapat dikurangi. Produk pirolisis yang dihasilkan melewati zona oksidasi pada suhu tinggi. Untuk mengurangi penyumbatan gas di dalam reaktor, maka digunakan blower hisap untuk menarik syngas dan mengalirkan ke arah burner. Kelebihan reaktor ini mengandung sedikit tar dibandingkan tipe updraft. Kekurangannya yaitu tidak bisa digunakan untuk limbah biomassa dengan densitas rendah.

## 2.6 Mass Flow Rate (Laju Aliran Massa)

### 1. Menghitung Laju Aliran Massa Udara

Mass Flow Rate atau Laju Aliran Massa adalah suatu fluida yang mengalir per satuan waktu Mass Flow Rate juga disebut fluks massa atau arus massa dimana dalam satuan internasional (SI) satuannya adalah kilogram per detik (kg/s) dan symbol yang digunakan adalah  $m$  [15]. Menghitung laju aliran massa bertujuan untuk mengetahui massa suatu aliran yang mengalir tiap detiknya yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran, jenis aliran dan besar kecilnya penampang yang dialiri oleh fluida tersebut. [15]. Untuk menghitung laju aliran massa dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut [15]:

$$m = \rho \cdot v \cdot A \quad (2.1)$$

Dimana :

$m$  = Laju Aliran Massa (kg/s)

$\rho$  = Massa Jenis (kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = Kecepatan Aliran (m/s)

$A$  = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)

### 2. Menghitung Laju Aliran Massa Bahan Bakar

Untuk menghitung laju aliran massa bahan bakar menggunakan rumus di bawah ini [16] :

$$m_{\text{bahan bakar}} = \frac{\text{berat bahan bakar}}{\text{lama pembakaran}} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ detik}} \quad (2.2)$$

## 2.7 Air Fuel Ratio (AFR)

Rasio massa udara ke bahan bakar disetiap satuan pembakaran didefinisikan sebagai rasio udara bahan bakar (air fuel ratio/AFR). Rasio minimum udara yang benar-benar dibutuhkan bahan bakar yang cukup tepat untuk membakar bahan bakar disebut sebagai rasio stoikiometrik. Pembakaran bahan bakar membutuhkan rasio stoikiometrik minimum udara ke bahan bakar, sementara gasifikasi membutuhkan rasio udara bahan bakar lebih rendah dari rasio stoikiometri atau sering disebut semi-stoikiometri. Rasio kesetaraan (equivalent ratio/ER) dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara rasio udara bahan bakar dari proses gasifikasi dan rasio udara bahan bakar untuk pembakaran yang sempurna[17].

Equivalent ratio/ER yang tinggi akan mengakibatkan Nilai kalor bawah (LHV) gas menurun, Karena ER akan terkait dengan AFR dimana hal ini menyebabkan udara yang memasuki ruang bakar akan tinggi sehingga akan menyebabkan penurunan nilai kalor flameable gas CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>. Disisi lain, hasil ER rendah mengakibatkan nilai kalor komposisi flameable gas naik sehingga Nilai Kalor Bawah gas (LHV gas) akan tinggi [17].

Perbandingan bahan bakar dan udara dalam proses gasifikasi mempengaruhi reaksi yang terjadi dan tentu saja pada kandungan syngas yang dihasilkan. Kebutuhan udara pada proses gasifikasi berada di antara batas konversi energi pirolisis dan pembakaran. Karena itu dibutuhkan rasio yang tepat jika menginginkan hasil syngas yang maksimal. Pada gasifikasi biomass rasio yang tepat untuk proses gasifikasi berkisar pada angka 1,00 - 1,5. Kondisi stoikiometris



teoritis biomassa diperoleh dengan mengetahui terlebih dahulu kandungan unsur kimia dari biomassa, kemudian dilakukan perhitungan persamaan reaksi yaitu reaksi oksidasi[17].

Udara yang dibutuhkan untuk proses gasifikasi terletak di antara batas pirolisis dan konversi energi pembakaran. Oleh karena itu, jika Anda menginginkan hasil syngas yang maksimal, Anda membutuhkan proporsi yang tepat. [18], [19]. Sebelum menghitung nilai AFR pertama tama kita harus mencari nilai dairi laju aliran massa udara ( $m_{udara}$ ) dan laju aliran bahan bakar ( $m_{bahan\ bakar}$ ). Untuk mendapatkan nilai  $m_{udara}$  menggunakan persamaan (2.1). sedangkan untuk mendapatkan nilai  $m_{bahan\ bakar}$  menggunakan persamaan (2.2). mencari nilai AFR menggunakan persamaan dibawah ini :

$$AFR = \frac{m_{udara}}{m_{bahan\ bakar}} \quad (2.3)$$

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (Telaga) Dan akan dilaksanakan pada 15 April – 15 Juni 2022

#### **3.2 Alat Dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat**

1. Reactor Gasifikasi tipe updraft
2. Blower
3. Generator 50 kw
4. Anemometer
5. Inverter

##### **3.2.2 Bahan**

1. Kayu Lamtoro

#### **3.3 Metode Penelitian**

##### **3.3.1 Tahapan Penelitian**

Pada penelitian penulis akan mengkaji atau menganalisa potensi Kayu Lamtoro Sebagai bahan bakar dari Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa. Proses pengolahan kayu Lamtoro sebagai bahan bakar PLTBm dilakukan dengan memasukan kayu lamtoro kedalam tempat pembakaran. Setelah itu, diamati data yang dihasilkan.

### 3.3.2 Tahapan Pengujian

Proses pengujian dapat berlangsung dengan baik dengan memperhatikan beberapa tahapan sebagai berikut:

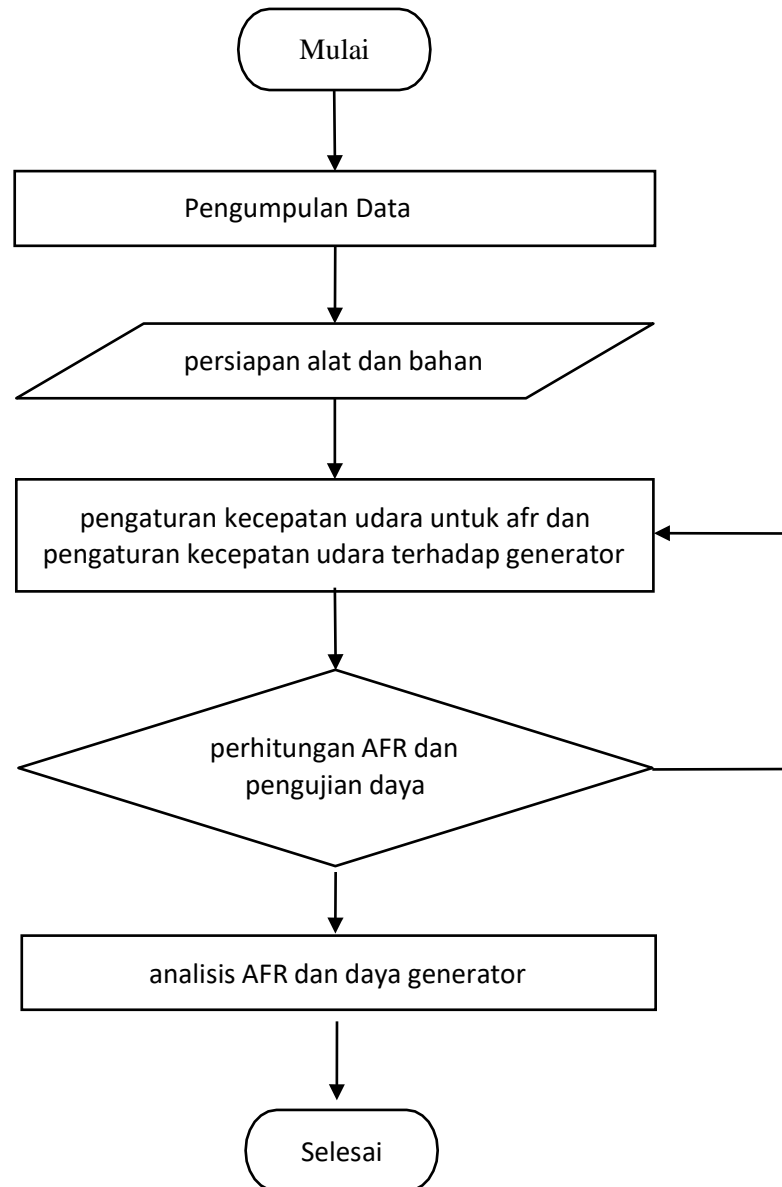
1. Persiapan bahan bakar biomassa dengan menggunakan kayu Lamtoro seberat 70 untuk penelitian kg.
2. Memastikan kelengkapan alat-alat yang digunakan dapat berfungsi dengan baik diantaranya blower, anemometer, timbangan, reactor, inverter dan handphone untuk dokumentasi.
3. Sebelum melakukan Pembakaran Bahan bakar di Timbang dulu terlebih dahulu untuk memastikan Kapasitas yang akan di gunakan pada penelitian dengan total 80 kg, 10 kg dipakai sebagai pembakaran awal dan 70 kg dipakai untuk penelitian.
4. Setelah bahan bakar ditimbang bahan bakar dimasukan kedalam tungku biomassa seberat 10 kg yang berfungsi sebagai sumber api atau pembakaran awal, Kemudian tungku ditutup dengan plat logam.
5. Bahan bakar kemudian di masukan kedalam tangki Reaktor dengan kapasitas 70 kg dalam suhu 139 °C
6. Kemudian Analisa Setelah 15 Menit bahan bakar yang telah di masukan dengan melakukan 3 Tahap Pengujian AFR
7. Terakhir Lakukan Dokumentasi terhadap hasil Penelitian

### **3.3.3 Tahapan Analisa**

Pada tahapan ini penulis melakukan pembuktian teori dengan melakukan sejumlah analisa pada hasil yang didapatkan dari pengamatan.

- 1) Analisa Pertama dilakukan dengan pengukuran Jumlah Bahan bakar dengan kecepatan Aliran udara.
- 2) Analisa kedua Mencatat Parameter Parameter yang terdapat pada PLTBM juga dilakukan perhitungan yang dihasilkan oleh pltbm yang berbahan bakar kayu lamtoro.
- 3) Analisa ketiga di lakukan perhitungan perbandingan masa udara dan bahan bakar terhadap Beban Output Generator.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Biomassa

Pembangkit Listrik Biomasa yang terdapat pada PLTD Telaga Dengan Type *Updraft* yang bagian bagiannya terdiri dari *Cyclone*, *Wet scrubber*, *Dry Filter* dan Generator, dalam penelitian ini Penguji menggunakan Bahan Bakar Kayu Lamtoro yang telah di cacah di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kec.Anggrek.



Gambar 4.1 PLTBm

#### 4.2 Proses Pengujian

Pengujian menggunakan Bahan bakar kayu Lamtoro yang telah di cacah. Sebelum Proses Pembakaran, di siapkan Bahan Bakar dengan Alat ukur timbangan untuk menghitung kapasitas Bahan bakar yang akan di gunakan yaitu sebesar 70 kg untuk penelitian dan 10 kg untuk pembakaran awal.



Gambar 4.2 proses pengambilan cacahan kayu lamtoro

Pengujian Tahap pertama di lakukan untuk menentukan nilai kecepatan udara, Karena pada penelitian ini tidak terdapat Alat untuk mengukur kecepatan udara pada reaktor, maka di gunakan Anemometer dengan cara mencabut pipa terlebih udara terlebih dahulu dan Mengarahkan Anemometer kedepan Output Pipa Blower.



Gambar 4.3 Pengukuran udara yang keluar dari blower dengan anemometer

Pengujian Tahap Kedua di lakukan dengan memasukan bahan bakar sebesar 10 kg ke dalam tungku Reaktor Gasifier, setelah itu tungku di tutup menggunakan Plat besi. Tahap ketiga di lakukan dengan memasukan Bahan bakar sebesar 70 kg ke Reaktor Gasifier lewat Cerobong atas dengan suhu 139 °C.



Gambar 4.4 Proses pemasukan bahan bakar ke reactor



Gambar 4.5 Suhu Reaktor

Tahap keempat di lakukan dengan memastikan adanya Gas yang Keluar generator dengan di bakar dan melihat pada nyala api, jika Api sudah menyala dan berwarna biru segera sambung pipa gas ke generator dan siap di start.





Gambar 4.6 Nyala api hasil pembakaran biomassa

Tahap ke lima di lakukan Runinng Generator, Setelah itu di lakukan tiga pengujian dengan mengubah Kecepatan Supply udara Blower menggunakan Parameter pada Inverter dengan angka 14, 15 dan 16.



Gambar 4.7 Penyalaan generator



Gambar 4.8 Inverter

Tahap ke enam di lakukan Analisis terhadap Supply Udara Masuk dan Massa Bahan Bakar terhadap daya yang di hasilkan. segera terlebih dahulu menentukan laju suplai udara menggunakan anomometer masing-masing 11,5m/s; 13,7m/s dan 15,3m/s.

#### 4.3 Perhitungan Laju Aliran Massa Udara Yang Masuk Ke Reactor

Untuk menghitung AFR dimulai dengan menghitung  $m_{udara}$  dan  $m_{biomasa}$ . Untuk menghitung  $m_{udara}$  pertama tama mengumpulkan parameter seperti kecepatan udara (m/s), luas penampang pipa (m<sup>2</sup>), massa jenis udara (kg/s) dan menggunakan persamaan (2.1)

#### 4.1 data untuk menghitung laju aliran massa udara

No	Kecepatan aliran udara (m/s)	Massa jenis udara (kg/m <sup>3</sup> )	Luas penampang (m <sup>3</sup> )
1	11,5	1,2	0,0032258
2	13,7	1,2	0,0032258
3	15,3	1,2	0,0032258

Tabel diatas memuat variable yang digunakan untuk menghitung nilai afir biomassa nilai kecepatan udara didapat dari hasil pengukuran menggunakan anemometer. Penulis melakukan 3 kali pengukuran kecepatan udara dan mendapatkan nilai kecepatan udara sebesar 11.5 m/s, 13.7 m/s dan 15,3 m/s. sedangkan massa jenis udara adalah 1,2 kg/m<sup>3</sup> dan luas penampang reactor yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,0032258 m<sup>3</sup> setelah itu digunakan persamaan 2.3 seperti dibawah ini:

$$m = 1,2 \times 11,5 \times 0,0032258 = 0,04493004$$

$$m = 1,2 \times 13,7 \times 0,0032258 = 0,053032152$$

$$m = 1,2 \times 15,3 \times 0,0032258 = 0,059225688$$

#### 4.4 Perhitungan Laju Aliran Massa Kayu Lamtoro

Untuk menentukan nilai laju alir massa (ṁ) bahan bakar, terdapat beberapa parameter yang diperlukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut.

**Tabel 4.2** Massa Kayu Lamtoro & Waktu Operasi Gasifikasi

Massa Kayu Lamtoro (kg)	Waktu Operasi Gasifikasi (menit)
70	100

Tabel diatas menunjukan berat bahan bakar biomassa yaitu kayu lamtoro yang digunakan pada penelitian ini seberat 70 kg dan lama waktu proses gasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu selama 100 menit. Lalu dihitung menggunakan persamaan 2.2 untuk mendapatkan nilai laju aliran masa bahan bakar dari kayu lamtoro :

$$\frac{70 \text{ kg}}{100 \text{ menit}} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ detik}} = 0,0166666667$$

#### 4.5 Perhitungan Rasio Udara-Bahan Bakar (Air Fuel Ratio)

Setelah nilai laju alir massa ( $\dot{m}$ ) udara dan laju alir massa ( $\dot{m}$ ) kayu Lamtoro diketahui, maka nilai rasio udara-bahan bakar untuk setiap proses gasifikasi dapat dihitung.

Nilai rasio udara-bahan bakar, dapat diketahui dengan membandingkan nilai laju alir massa ( $\dot{m}$ ) udara dan nilai laju alir massa ( $\dot{m}$ ) kayu Lamtoro. Perbandingan tersebut dapat dirumuskan dalam sebuah persamaan, yaitu :

$$\text{Rasio udara – bahan bakar (AFR)} = \frac{\dot{m}_{\text{udara}}}{\dot{m}_{\text{bahan bakar}}}$$

Sehingga didapatkan hasil nilai rasio udara-bahan bakar dari ketiga variasi kecepatan blower. Dan berikut merupakan salah satu perhitungan rasio udara-bahan bakar, saat kecepatan blower divariasikan

$$AFR = \frac{0,04493004}{0,0166666667} = 2,69$$

$$AFR = \frac{0,053032152}{0,0166666667} = 3,18$$

$$AFR = \frac{0,0592256882}{0,0166666667} = 3,5$$

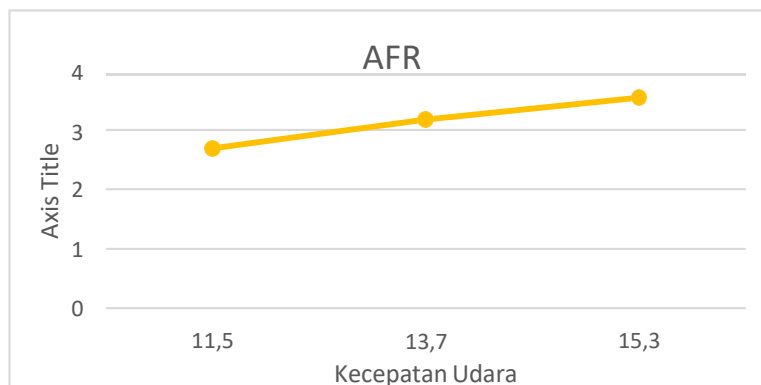
#### 4.6 Hasil Pengujian

Hasil pengujian Perbandingan Massa Udara dan Massa Bahan Bakar di tunjukan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Tabel Hasil Pengukuran AFR

Kec. Udara (m/s)	Luas penampang pipa (m <sup>2</sup> )	Massa jenis udara (kg/m <sup>3</sup> )	M <sub>udara</sub>	M <sub>biomassa</sub>	AFR
11,5	0,0032258	1,2	0,04493004	0,0166666667	2,69
13,7	0,0032258	1,2	0,053032152	0,0166666667	3,18
15,3	0,0032258	1,2	0,059225688	0,0166666667	3,55

Berdasarkan pengujian pada Tabel 4.3 di dapatkan Hasil dalam 3 Tahap pengujian. Pada pengujian pertama, memiliki kecepatan udara dengan nilai 11,5 m/s, luas penampang pipa 0,0032258 m<sup>2</sup>, M<sub>udara</sub> 0,04493004, M<sub>biomasa</sub> 0,0166666667 dan Nilai AFR 2,69. Pada pengujian kedua, memiliki kecepatan udara dengan nilai 13,7 m/s, luas penampang pipa 0,0032258 m<sup>2</sup>, M<sub>udara</sub> 0,053032152, M<sub>biomassa</sub> 0,0166666667 dan Nilai AFR 3,18. Pada pengujian ketiga memiliki kecepatan udara dengan nilai 15,3 m/s, luas penampang pipa 0,0032258 m<sup>2</sup>, M<sub>udara</sub> 0,059225688, M<sub>biomassa</sub> 0,0166666667 dan Nilai AFR 3,55.



Gambar 4.9 grafik nilai AFR

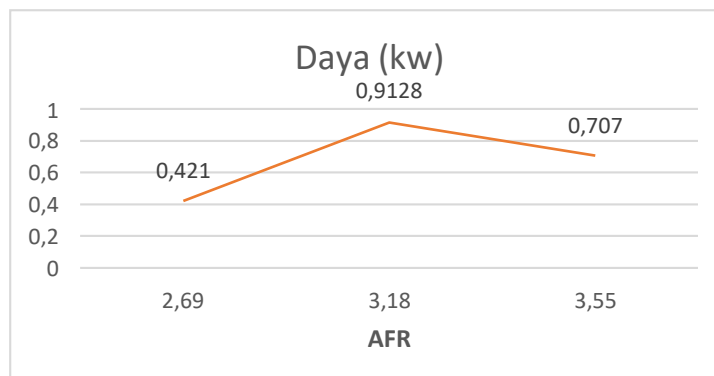
Grafik di atas menunjukkan nilai AFR terendah pada penelitian ini yaitu 2.69 dengan kecepatan 11,5 m/s sedangkan nilai AFR tertinggi yaitu 3,55 dengan kecepatan 15,3 m/s, hal ini menandakan bahwa semakin tinggi kecepatan aliran udara pada Blower maka akan semakin tinggi juga Nilai AFR yang akan di hasilkan.

Hasil pengujian Perbandingan Massa udara dan Massa Bahan Bakar dengan daya Generator di tunjukan pada tabel 4.3

Tabel 4.4 Tabel Daya Yang Dihasilkan Generator

No Uji	Kecepatan udara (m/s)	Nilai AFR	Daya (kw)
1	11,5	2,69	0,4210
2	13,7	3,18	0,9128
3	15,3	3,55	0,7070

Berdasarkan pengujian pada Tabel 4.4 di dapatkan Hasil dalam 3 Tahap pengujian. Pada pengujian pertama, memiliki kecepatan udara dengan nilai 11,5 m/s, Nilai AFR 2,69 menghasilkan daya sebesar 0,4210 Kw. Pada pengujian kedua, memiliki kecepatan udara dengan nilai 13,7 m/s, Nilai AFR 3,18 menghasilkan daya sebesar 0,9128 kw. Pada pengujian ketiga memiliki kecepatan udara dengan nilai 15,3 m/s, Nilai AFR 3,55 menghasilkan daya sebesar 0,7070 Kw.



#### Gambar 4.10 Grafik Daya

Grafik diatas menunjukan daya yang dihasilkan oleh pembakaran Biomassa Kayu Lamtoro menghasilkan daya yang paling tinggi sebesar 0,9128 kw atau 912 watt dan yang terendah sebesar 0,412 kw atau 412 watt.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini di dapatkan Nilai Air Fuel Rasio (AFR) Terendah sebesar 2.69 pada kecepatan udara 11,5 m/s. sedangkan AFR tertinggi sebesar 3,55 pada kecepatan udara 15,3 m/s. Hasil Analisa hubungan kecepatan udara dengan daya generator di peroleh daya terbaik pada kecepatan 13,7 m/s, AFR 3,14 dengan hasil daya 0.9 Kw yang dapat menyalakan 8 lampu pencahayaan Trafo dengan daya 40 watt.
2. Pengaruh adanya variasi nilai rasio udara-bahan bakar (AFR) pada kayu lamtoro dan kecepatan udara semakin tinggi Nilai kecepatan udara maka semakin tinggi Nilai AFR yang akan di hasilkan.
3. Nilai rasio udara-bahan bakar (AFR) berpengaruh terhadap daya yang di hasilkan oleh Generator jika nilainya terlalu tinggi maka akan mendekati pembakaran sempurna dan tidak dapat menghasilkan gas pada daya generator dan apabila Nilainya terlalu kecil Hanya akan meningkatkan Kualitas Arang, nilai (AFR) terbaik yang di peroleh pada penelitian ini yaitu sebesar 3,18 dengan daya 0.9 Kw.



## **5.2 Saran**

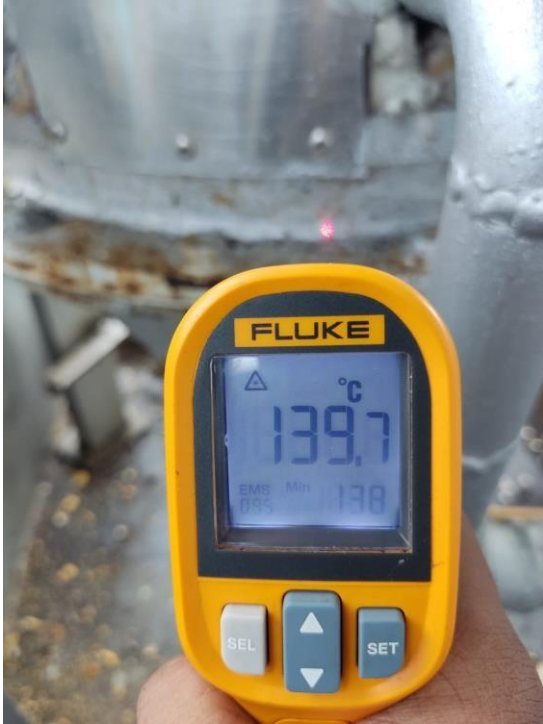
1. Direkomendasikan kedepannya bahwa penelitian ini dapat dilanjutkan dengan analisis dan pengukuran unsur-unsur gas dari proses gasifikasi.
2. Disarankan materi tentang biomassa lebih

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Presiden Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional*. 2014, pp. 1–36.
- [2] M. Syamsiro, “Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Padat Biomassa Dengan Proses Densifikasi Dan Torrefaksi,” *J. Mek. dan Sist. Termal*, vol. 1, no. 1, pp. 7–13, 2016.
- [3] A. Nugraha, A. Widodo, S. Wahyudi, and U. Brawijaya, “Pengaruh Tekanan Pembriketan Dan Persentase Briket Campuran Gambut Dan Arang Pelepah Daun Kelapa Sawit Terhadap Karakteristik Pembakaran Briket,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 29–36, 2017.
- [4] M. Zainuddin, M. Fujiaman, D. Mariani, and M. Aswalatah, “Analisis Efisiensi Gasifikasi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa ( PLTBM ) Tongkol Jagung Kapasitas 500 KW di Kabupaten Gorontalo,” *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 14, no. 2, pp. 192–198, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/sitekin/article/view/3924>.
- [5] M. Sahri, Fachrudin, and S. Setiawidayat, “Rancang bangun purwarupa pembangkit listrik tenaga biomassa,” *Proton*, vol. 11, no. 2, pp. 78–84, 2019.
- [6] R. Djafar and F. Darise, “Pengaruh Jumlah Aliran Udara Terhadap Nyala Api Efektif Dari Reaktor Gasifikasi Biomassa Tipe Fixed Bed Downdraft Menggunakan Bahan Bakar Tongkol Jagung,” *J. Technopreneur*, vol. 6, no. 2, pp. 94–100, 2018, doi: 10.30869/jtech.v6i2.211.
- [7] S. Jamilatun, “Sifat-Sifat Penyalaan dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batubara dan Arang Kayu,” *J. Rekayasa Proses*, vol. 2, no. 2, pp. 37–40, 2008, doi: 10.22146/jrekpros.554.
- [8] A. Indah Pratiwi and M. Asri, “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Berbasis Tongkol Jagung,” *Dielektrika*, vol. 5, no. 2, pp. 108–115, 2018.
- [9] S. M. Nur and J. Jusut, *Biomassa: Bahan Baku dan Teknologi Konversi untuk Energi Terbarukan (Kajian Pustaka dan Gagasan Aplikasi di Indonesia)*. 2014.
- [10] K. Ridhuan and D. Irawan, *Buku Energi Terbarukan Pirolisis*. 2020.
- [11] A. Badunasar and Y. Nurahmah, *Pertelaan Jenis Pohon Koleksi Arboretum*. Kementerian Kehutanan, 2012.
- [12] P. Basu, *Biomass Gasification and Pyrolysis*. 2010.
- [13] A. K. Rajvanshi, “Biomass gasification in: Alternative Energy in

- Agriculture,” *Altern. Energy Agric.*, vol. 2, no. 4, pp. 83–102, 1986.
- [14] I. Nurtian, “Perancangan Reaktor Gasifikasi Sekam Sistem Kontinu,” 2007.
  - [15] B. R. Munson, D. F. Young, and T. H. Okiishi, *Fundamentals of fluid mechanics*. 1994.
  - [16] N. L. Hamidah, “Biomassa Dengan Pengaturan Air Fuel Ratio ( Afr ) Biomass Gasification With Setting of Air Fuel Ratio ( Afr ),” *Fis. Dep. Tek. Ind. Fak. Teknol.*, 2017.
  - [17] I. M. Ardiansyah, “Studi Eksperimental Pengaruh Air Fuel Ratio (AFR) Proses Gasifikasi Pelet Municipal Solid Waste (MSW) Terhadap Unjuk Kerja Gasifier Tipe Downdraft Sistem Kontinyu,” pp. i-84 pp, 2017.
  - [18] S. Hadi and S. Darsopuspito, “Pengaruh Variasi Perbandingan Udara-Bahan Reaktor Downdraft Dengan Suplai Biomass Serabut Kelapa Secara Kontinyu,” *Tek. POMITS*, vol. 2, no. 3, pp. 3–6, 2013.
  - [19] K. A, “Downdraft Dengan Oksigen Sebagai Gasyfaying Agent Berbahan Baku Biomassa,” 2015.

## LAMPIRAN





KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO  
LEMBAGA PENELITIAN

Kampus Unisan Gorontalo Lt.3 - Jln. Achmad Nadjamuddin No. 17 Kota Gorontalo  
Telp: (0435) 8724466, 829975 E-Mail: [lembagapenelitian@unisan.ac.id](mailto:lembagapenelitian@unisan.ac.id)

Nomor : 4059/PIP/LEMLIT-UNISAN/GTO/III/2022

Lampiran : -

Hal : Permohonan Izin Penelitian

Kepada Yth,

Manager PLTD Telaga

di,-

Tempat

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dr. Rahmisyari, ST.,SE.,MM

NIDN : 0929117202

Jabatan : Ketua Lembaga Penelitian

Meminta kesediannya untuk memberikan izin pengambilan data dalam rangka penyusunan **Proposal / Skripsi**, kepada :

Nama Mahasiswa : Septian Lahinda

NIM : T2118011

Fakultas : Fakultas Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Lokasi Penelitian : PLTD TELAGA

Judul Penelitian : PENGARUH PERBANDINGAN UDARA DAN MASSA  
BAHAN BAKAR TERHADAP PROSES GASIFIKASI PADA  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA KAYU  
LAMTORO

Atas kebijakan dan kerja samanya diucapkan banyak terima kasih.

Gorontalo, 04 Maret 2022

Ketua

  
**Dr. Rahmisyari, ST.,SE.,MM**  
NIDN 0929117202

+

Nomor : 0429/SDM.12.06/C48080000/2022

04 April 2022

Lampiran : 1 Lembar

Sifat : Segera

Hal : Permohonan Penelitian Ijin Pengambilan data Kepada

Yth. KEMENTERIAN PENDIDIKAN  
KEBUDAYAAN, RISET, DAN  
TEKNOLOGI UNIVERSITAS  
ICHSAN GORONTALO LEMBAGA  
PENELITIAN

Sehubungan dengan surat dari KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO LEMBAGA PENELITIAN Nomor 4059/PIP/LEMLIT-UNISAN/GTO/IV/2022 Tanggal 04 Maret 2022, Perihal Permohonan izin penelitian pengambilan data, maka dengan ini disampaikan bahwa kami dapat menerima mahasiswa/i tersebut yaitu :

No.	Nama	NIM	JURUSAN
1.	Septian Lahinda	T2118011	Teknik Elektro

untuk melaksanakan penelitian pada perusahaan kami mulai tanggal 05 April 2022 s.d 08 April 2022 dalam rangka memberi kesempatan kepada mahasiswa/i yang bersangkutan untuk menambah pengetahuan di perusahaan dengan catatan sebagai berikut :

1. Mematuhi tata tertib dan peraturan perusahaan yang berlaku.
2. Mahasiswa/i Wajib untuk menaati Protokol Kesehatan yang berlaku selama berada di kantor.
3. PT PLN (Persero) tidak menyediakan biaya transportasi dan konsumsi.
4. Keselamatan & kesehatan kerja menjadi tanggung jawab pihak perguruan tinggi/sekolah.

Sebagai narasumber dari PT PLN (Persero) UPDK Gorontalo adalah :

Jabatan : Manager UL PLTD Telaga PT PLN (Persero) UPDK Gorontalo

Demikian disampaikan atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

MANAGER UNIT PELAKSANA  
PENGENDALIAN PEMBANGKITAN  
GORONTALO,



MUHAMMAD IQBAL

Tembusan:

- PLT MUL ULPLTD TELAGA ULPLTD TELAGA PLN



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,  
RISET, DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO  
FAKULTAS TEKNIK**

SK MENDIKNAS NOMOR 84/D/O/2001  
Jl. Ahmad Nadjamuddin No. 17. Telp. (0435) 829975 Fax. (0435) 829976 Gorontalo.

**SURAT REKOMENDASI BEBAS PLAGIASI**  
**No. 126/FT-UIG/VI/2022**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Amelya Indah Pratiwi. ST., MT  
NIDN : 0907028701  
Jabatan : Wakil Dekan I/Tim Verifikasi Fakultas Teknik

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama Mahasiswa : Septian Lahinda  
NIM : T21.18.011  
Program Studi : Elektro  
Fakultas : Teknik  
Judul Skripsi : Pengaruh Perbandingan Udara Dan Massa Bahan Bakar Terhadap Proses Gasifikasi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa Kayu Lamtoro.

Sesuai hasil pengecekan tingkat kemiripan skripsi melalui aplikasi **Turnitin** untuk judul skripsi di atas diperoleh hasil *Similarity* sebesar 27%, berdasarkan Peraturan Rektor No. 32 Tahun 2019 tentang Pendeteksian Plagiat pada Setiap Karya Ilmiah di Lingkungan Universitas Ichsan Gorontalo dan persyaratan pemberian surat rekomendasi verifikasi calon wisudawan dari LLDIKTI Wil. XVI, bahwa batas kemiripan skripsi maksimal 30%, untuk itu skripsi tersebut di atas dinyatakan **BEBAS PLAGIASI** dan layak untuk diujikan.

Demikian surat rekomendasi ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Mengetahui  
Dekan,  
  
**Amru Siola, ST., MT**  
NIDN. 0922027502

Gorontalo, 20 Juni 2022  
Tim Verifikasi,

  
**Amelya Indah Pratiwi. ST., MT**  
NIDN. 0907028701

Terlampir :  
Hasil Pengecekan Turnitin



PAPER NAME

**SKRIPSI**

AUTHOR

**Septian Lahinda**

WORD COUNT

**6596 Words**

CHARACTER COUNT

**39807 Characters**

PAGE COUNT

**50 Pages**

FILE SIZE

**2.3MB**

SUBMISSION DATE

**Jun 10, 2022 2:45 PM GMT+8**

REPORT DATE

**Jun 10, 2022 2:47 PM GMT+8****● 27% Overall Similarity**

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 26% Internet database
- 3% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database
- 2% Submitted Works database

**● Excluded from Similarity Report**

- Bibliographic material
- Small Matches (Less than 25 words)

[Summary](#)



**BIODATA CALON WISUDAWAN  
UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO**

<b>Nama</b>	<b>: Septian Lahinda</b>
<b>Nim</b>	<b>: T2118011</b>
<b>Jenis Kelamin</b>	<b>: Laki - Laki</b>
<b>Tempat Tgl Lahir</b>	<b>: Wangurer, 03-09-1998</b>
<b>Pekerjaan</b>	<b>: BUMN</b>
<b>Agama</b>	<b>: Kristen Protestan</b>
<b>Alamat</b>	<b>: Link 3, RT.15, Kel. Wangurer Timur, Kec. Madidir</b>
<b>Fakultas</b>	<b>: Teknik</b>
<b>Program Studi</b>	<b>: Elektro</b>
<b>Jenjang Pendidikan</b>	<b>: S1</b>
<b>No.HP</b>	<b>: 082395288836</b>
<b>Email</b>	<b>: septian.lahinda@gmail.com</b>
<b>Judul Skripsi</b>	<b>: PENGARUH PERBANDINGAN UDARA DAN MASSA BAHAN BAKAR TERHADAP PROSES GASIFIKASI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA KAYU</b>

