

**MODIFIKASI TUNGKU *CO-FIRING* BATU BARA DAN BIOMASSA
TERTOREFAKSI DENGAN PENAMBAHAN *SECONDARY AIR***

(Laporan Proyek Akhir)

Oleh :

RODION QORINO

2005101007



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2023

**MODIFIKASI TUNGKU *CO-FIRING* BATU BARA DAN BIOMASSA
TERTOREFAKSI DENGAN PENAMBAHAN *SECONDARY AIR***

(Laporan Proyek Akhir)

Diajukan Sebagai Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar A.Md.T

Pada jurusan D3 Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Lampung

Oleh:

RODION QORINO

2005101007



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2023

ABSTRAK

Modifikasi Tungku *Co-firing* Batu bara dan Biomassa Tertorefaksi dengan Penambahan
Secondary Air.

Oleh : Rodion Qorino

2005101007

D3 Teknik Mesin

Universitas Lampung

Konsumsi kebutuhan energy setiap tahunnya meningkat semakin tinggi sehingga perlu adanya energy terbarukan, Indonesia banyak sekali energy melimpah, baik dari fosil yang sudah menjadi bebatuan ataupun dari limbah tumbuh-tumbuhan. Umumnya biomassa yang bisa dimanfaatkan untuk system bahan bakar, salah satunya manfaat dari tandan kosong kelapa sawit. Tandan kosong kelapa sawit mengandung Biomassa yang sangat tinggi sehingga bagus untuk dijadikan bahan bakar.

Dalam pemanfaatan biomassa juga sebelumnya perlu diolah terlebih dahulu yaitu dengan ditorefaksi supaya bisa menjadi abu terlebih dahulu. Batu bara juga dimanfaatkan sebagai bahan bakar karena mengandung kalor yang tinggi sehingga dapat dijadikan bahan bakar secara sempurna. Alat *co-firing* Batu bara dan Biomassa tertorefaksi merupakan alat yang sudah dibuat dan di desain sebagai alat pembakaran yang didasarkan dengan menggunakan bahan baku Biomassa tertorefaksi dan Batu bara, pengukuran temperature suhu, kecepatan blower yang digunakan pada saat pengujian, semua sudah ditempatkan pada posisi di alat *co-firing*. Sehingga pada saat pengujian alat tersebut temperature suhu bisa terlihat dengan kondisi kecepatan angin yang ada dan berapa lama saat proses menaikkan suhu untuk dimulainya pembakaran.

(kata kunci : (*modifikasi tungku co-firing batu bara dan biomassa dengan penambahan secondary air, dokumen pribadi, tugas akhir, rodion qorino.*)

ABSTRACK

Modification of *Co-firing* Furnace of Coal and Torefaction Biomass with the Addition of
Secondary Air

Create : Rodion Qorino

2005101007

Vocation Of Mechanical Engineering

University Of Lampung

Consumption of energy needs every year increases higher so that the need for renewable energy, Indonesia has a lot of abundant energy, both from fossils that have become rocks or from plant waste. Generally, biomass can be used for fuel systems, one of which is the benefit of empty oil palm bunches. Empty oil palm bunches contain very high biomass so they are good for fuel.

In the use of biomass, it also needs to be processed first, namely by torefaction so that it can become ash first. Coal is also used as fuel because it contains high heat so that it can be used as fuel perfectly. Coal and Torefaction Biomass co-firing tools are tools that have been made and designed as combustion tools based on using Torefaction Biomass and Coal raw materials, temperature measurements, blower speeds used during testing, all have been placed in position in the co-firing tool. So that when testing the tool, the temperature temperature can be seen with the condition of the existing wind speed and how long during the process of raising the temperature for the start of combustion.

(Keywords: (Modification of coal and biomass co-firing furnace with the addition of secondary water, personal documents, final project, *Rodion Qorino*)

Judul

**: MODIFIKASI TUNGKU *CO-FIRING*
BATU BARA DAN BIOMASSA
TERTOREFAKSI DENGAN
PENAMBAHAN *SECONDARY AIR*.**

Nama Mahasiswa

: Rodion Qorino

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2005101007

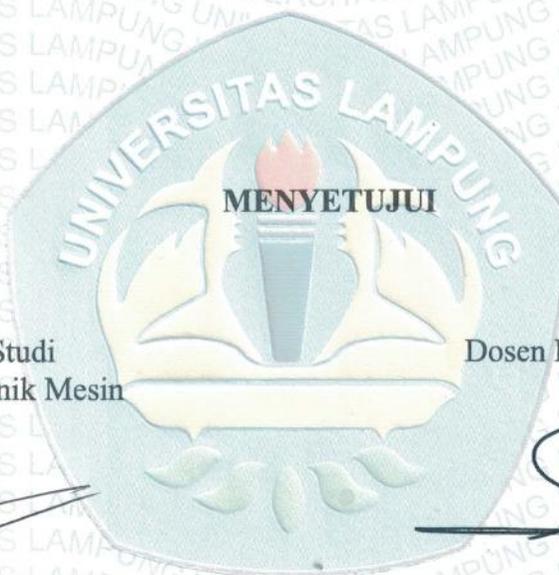
Jurusan

: D3 Teknik Mesin

Fakultas

: Teknik

Bandar Lampung, 12 Juni 2023.



Ketua Program Studi
Diploma III Teknik Mesin

Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Agus Sugiri, S.T., M.T., M.Eng.
NIP. 19700804 199803 1 003

Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP. 19710331 199903 1 003

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Agus Sugiri, S.T., M.Eng.
NIP. 19700804 199803 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

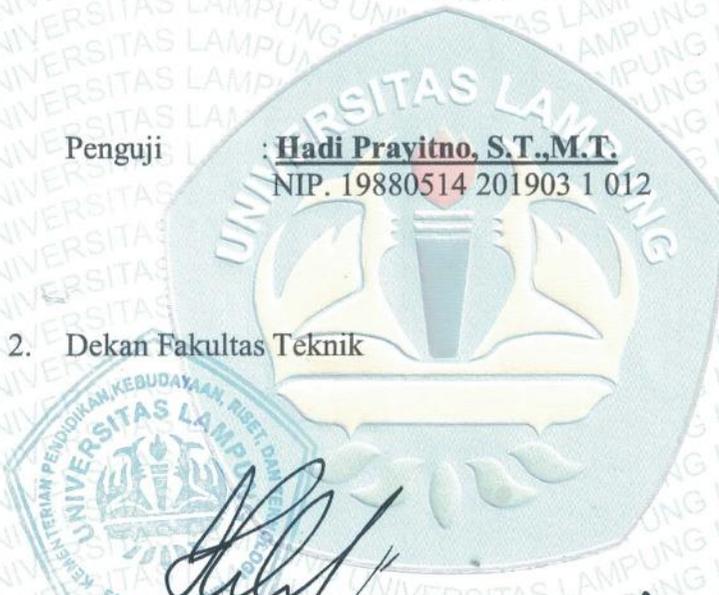
Pembimbing : **Dr. Amrul. S.T., M.T.**
NIP. 19710331 199903 1 003



Penguji : **Hadi Prayitno, S.T., M.T.**
NIP. 19880514 201903 1 012



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP 19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Proyek Akhir : 12 Juni 2023

PERNYATAAN PENULIS

Tugas Akhir ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 36 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Keputusan Rektor No. 13 Tahun 2019.

Bandar Lampung, 16 Juni 2023



Rodion Qorino

NPM. 2005101007

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis dilahirkan di desa Restu Buana Kecamatan Rumbia, Provinsi Lampung pada tanggal 19 Maret 2001. Sebagai anak ke- 2 dari 3 bersaudara dari Baopak Basir Ibu Umiyati.

Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) diselesaikan di taman Kanak-Kanak Kartika Buana pada tahun 2007, Pendidikan Sekolah Dasar (SD) di selesaikan di SD N 3 Restu Buana Kecamatan Rumbia pada tahun 2013, Pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMP N SATU ATAP 1 RUMBIA pada tahun 2016, dan Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di selesaikan di SMA TRI SUKSES NATAR LAMPUNG SELATAN pada tahun 2019.

Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur pendaftaran SIMANILA VOKASI. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif didalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) bidang rohani. Pada tahun 2022, penulis melakukan Kerja Praktik Lapangan (PKL) selama satu bulan di PT. Kereta Api Indonesia (PERSERO) Tarahan Kecamatan Panjang Kota Bandar Lampung. Kemudian pada bulan Desember – Maret tahun 2022-2023 penulis melaksanakan Penyusunan Proyek Akhir. Setelah itu pada tanggal 12 juni 2023 penulis dinyatakan Lulus pada Sidang Akhir Komprehensif di program studi Diploma III Teknik Mesin Universitas Lampung.

Motto :

“Jadilah manusia yang senantiasa bersyukur kepada allah swt. Jadilah yang terbaik di mata allah, jadilah yang terburuk di mata diri sendiri, jadilah sederhana diantara manusia.

Sesungguhnya manusia yang berbuat baik ialah yang terbaik dimata allah swt”

“Allah tidak membebani seseorang hamba melainkan sesuai dengan kesanggupannya. Dia mendapat pahala dari kebajikan yang dikerjakannya dan dia mendapat siksa dari kejahatan yang diperbuatnya. Mereka berdoa , ya tuhan kami, janganlah engkau hukum kami jika kami lupa tau kami melakukan kesalahan. (Qs. Al-Baqarah Ayat 286)”

Persembahan

Kupersembahkan ini Untuk :

- ***Kedua orang tuaku tercinta yang selalu memberikan bimbingan maupun suka dan duka dalam doa di perjalanan memperoleh gelar ahli madya, ini semua untukmu pah, mah hehe.***
- ***Kakak-kakaku yang kubanggakan Edi Fahrudin dan Lilis lestari, yang telah mensupport hingga akhir, terimakasih atas semua pengorbanan mu, ini kupersembahkan untuk mu kakak”ku.***
- ***Seluruh teman-teman Program Studi D3 Teknik Mesin Angkatan 20 dan tim Tugas Akhir (Ali mustofa, Obbie, Mahfud, Andreas, Alif, Almer, Hafid)***
- ***Almamater yang kubanggakan***

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Karena atas rahmat dan ridho-nya penulis dapat menyelesaikan laporan ini yang berjudul “Modifikasi Tungku *co-firing* Biomassa Tertorefaksi dan Batu bara dengan penambahan *Secondary Air*. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Amd.T di Jurusan D3 Teknik Mesin Universitas Lampung. Dalam penyusunan laporan ini masih banyak kekurangan yang terdapat di dalamnya baik dibagian ini maupun penyajiannya. Hal ini disebabkan karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan serta informasi yang penulis dapat.

Laporan ini dapat penulis buat dan selesaikan berkat bimbingan, pendapat, dan saran-saran dari instruktur atau pembimbing dari para dosen dan segenap teman-teman Tim Tugas Akhir, oleh karena itu pada kesempatan ini diperkenankan penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Dr. Amrul,S.T.,M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung.
2. Agus Sugiri,S.T.,M.Eng., selaku Ketua Program Studi Diploma III Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung.
3. Zulhanif, S.T.,M.T., selaku Pembimbing Akademik penulis, yang telah memberi masukan dan arahan kepada penulis.
4. Dr. Amrul,S.T.,M.T., selaku Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberi bantuan, arahan, masukan, saran begitu banyak kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Hadi Prayitno, S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji yang telah menguji hasil laporan Tugas Akhir saya dan memberikan banyak ilmu dan masukan kepada penulis.

6. Kedua orang tua ku Tercinta yang telah banyak memberikan bantuan baik moril maupun materil serta doa yang tiada henti.
7. Saudara-saudaraku Tercinta Edi Fahrudin dan Lilis Lestari. Terimakasih pengorbanan nya untukku serta dukungan dan bantuannya saudaraku.
8. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir yakni Ali Mustofa, mahfud akbar, obbie, karena sudah menyediakan fasilitas untuk membuat alat Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman seperjuanganku di D III Teknik Mesin Adhil, Andreas, Nanda, serta teman-temanku lainnya, yang tak bisa disebutkan satu persatu.
10. Untuk khususnya Tim Tugas Akhir Ali Mustofa, Andreas Novendra, Almer Elian, Alifiandi Laksana, Muhammad Hafid yang sudah memberikan masukan, saran baik, arahan kepada penulis. Yang telah berjuang bersama-sama mencapai titik sekarang dan tetap melanjutkan perjuangan hingga wisuda bareng aamiin.

Dengan demikian semoga jasa-jasa, ide, dan saran-saran serta masukan yang diberikan kepada penulis akan mendapatkan imbalan yang setimpal dari Allah SWT. Dan semoga laporan ini dapat bermanfaat dan berguna baik bagi penulis maupun pembaca, aamiin.

Bandar Lampung, Maret 2023

RODION QORINO

DAFTAR ISI

ABSTRAK (ABSTRACT)

LEMBAR PENGESAHAN

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAL

DAFTAR TABEL

BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Proyek Akhir	2
1.3. Manfaat Penelitian.....	2
1.4. Rumusan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Biomassa.....	5
2.2.1. Konversi energi Biomassa.	6
2.2.2. Potensi biomassa perkebunan kelapa sawit	8
2.3. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS).....	9
2.3.1. Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit	10
2.4. Torefaksi.....	11
2.5. Batubara.....	12

2.5.1. Jenis-jenis batubara.....	12
2.6. <i>Co-firing</i>	13
2.7. Bagian-Bagian Mesin <i>co-firing</i>	14
2.7.1 Motor listrik.....	14
2.7.2 <i>Pulley</i>	15
2.7.3 <i>V-Belt</i>	17
2.7.4 Poros.	17
METODOLOGI PROYEK AKHIR	19
3.1 Waktu dan Tempat	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3. Prinsip kerja <i>co-firing</i>	26
3.4 Diagram alur proses pada saat modifikasi alat <i>co-firing</i>	28
BAB IV	29
PEMBAHASAN DAN HASIL	29
4.1 Tungku <i>Co-Firing</i>	29
4.1.1. Pengujian dengan batubara 100 %.....	31
4.1.2. Pengujian dengan tkks tertorefaksi 100 %.....	31
4.1.3. Pengujian dengan batubara 90 % dan tkks 10 %.....	31
4.1.4 Pengujian dengan batubara 80 % dan tkks 20 %.....	32
4.1.5 Pengujian dengan batubara 70 % dan tkks 30 %.....	32
4.2 Perhitungan <i>Screw Conveyor</i> Secara Teoritik.....	33
4.3 Perhitungan udara primer dan udara sekunder.....	34
4.4 Alur Proses Modifikasi tungku <i>Co-firing</i>	35
4.4.1 Proses pembuatan <i>burner</i>	35

4.4.2 Proses pembuatan <i>screw conveyor</i> .	36
4.4.3 Proses pembuatan <i>hopper</i> .	36
4.4.4 Proses pembuatan knalpot.	37
4.4.5 Blower (<i>secondary air</i>).	38
4.4.6 Motor listrik.	38
4.4.7 Motor listrik.	39
4.5 <i>Co-Firing</i> .	39
4.5.1 Bentuk 3 dimensi alat <i>co-firing</i> .	40
BAB V	41
PENUTUP	41
5.1 Kesimpulan.	41
5.2 Saran.	42
DAFTAR PUSTAKA	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Direct co-combustion</i>	10
Gambar 2.2 <i>Inderect co-combuotion</i>	11
Gambar 2.3 <i>Parallel co-combustion</i>	12
Gambar 2.4 Cadangan energy	13
Gambar 2.5 Teknologi konversi energy.....	15
Gambar 2.6 Potensi Biomassa.....	16
Gambar 2.7 Perkebunan sawit.....	17
Gambar 2.8 Tandan kosong kelapa sawit	19
Gambar 2.9 Skema teknologi <i>co-firing</i>	23
Gambar 2.10 Motor listrik 1 <i>phase</i>	24
Gambar 2.11 <i>Pulley</i>	25
Gambar 2.12 Poros.....	27
Gambar 3.1 Mesin las listrik	29
Gambar 3.2 Mesin gerinda.....	29
Gambar 3.3 Mesin bor duduk.....	30
Gambar 3.4 Mesin potong.....	30
Gambar 3.5 Mesin bubut (<i>turning machine</i>).....	31
Gambar 3.6 <i>Burner co-firing</i>	32
Gambar 3.7 <i>Screw conveyor</i>	32
Gambar 3.8 Blower (<i>secondary aer</i>).....	33

Gambar 3.9 Pipa knalpot.....	33
Gambar 3.10 <i>Hopper</i>	34
Gambar 3.11 Motor listrik.....	34
Gambar 3.12 Diagram alur kerja proyek akhir	37
Gambar 4.1 Proses pemasangan <i>part-part</i>	38
Gambar 4.2 Proses menaikkan temperature suhu	39
Gambar 4.3 <i>Burner</i>	42
Gambar 4.4 <i>Screw conveyor</i>	42
Gambar 4.5 <i>Hopper</i>	43
Gambar 4.6 Pipa knalpot.....	44
Gambar 4.7 Blower (<i>scondary aer</i>)	44
Gambar 4.8 Motor listrik.....	45
Gambar 4.9 Motor listrik.....	45
Gambar 4.10 Skema alat <i>co-firing</i>	46
Gambar 4.11 <i>Co-firing</i> 3D	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Konsumsi energi pada kehidupan manusia semakin meningkat setiap tahunnya sehingga dapat mengakibatkan berkurangnya pasokan energi yang ada. Bahan bakar fosil pada dasarnya merupakan bahan bakar yang didapat dari pembusukan organisme jutaan tahun lalu. Sumber energi fosil merupakan salah satu energi yang mayoritas digunakan terlebih pada negara berkembang. Penggunaan bahan bakar fosil yang terus menerus tentunya akan mengakibatkan persediaan semakin sedikit. Penggunaan bahan bakar fosil yang berkepanjangan juga dapat merusak dan berbahaya pada lingkungan dan kehidupan manusia.

Co-firing merupakan salah satu alat yang memang sudah di *design* digunakan untuk sistem pembakaran yang didasarkan menggunakan bahan bakar biomassa tertorefaksi dan batu bara. Alat *co-firing* ini digunakan karena untuk meminimalisir limbah tandan kosong kelapa sawit memang pada dasarnya di indonesia sangat melimpah, batu bara juga di indonesia sangat melimpah sehingga juga dimanfaatkan untuk bahan bakar *co-firing*.

Modifikasi tungku *co-firing* dilakukan untuk menambah supaya alatnya ketika digunakan lebih mudah dan efisien dan untuk meminimalisir eror alatnya.

Karena pada tungku *co-firing* sebelumnya ada dimensi bagian masuknya batu bara itu sangat kecil, penambahan pipa pada bagian ujung *burner* dan pengeboran pada pipa tersebut untuk tempat memasukan termokopel temperature suhu yang disalurkan langsung menuju pipa pembuangan asap panas dan dibagian ujung dari keluaran asap panas terdapat lubang untuk menempatkan alat uji emisi, selain dari pada itu juga pada bagian tuas control banyak sekali kabel yang putus dan tuas banyak yang tidak berfungsi sehingga perlu dimodifikasi supaya semakin pada saat proses penggunaan tungku *co-firing* bisa berjalan dengan sempurna dan efisien.

Selain dari pada tungku *co-firing* juga ada penambahan *secondary air* tujuannya untuk menambah udara pada ruang tungku sehingga pada saat proses menaikkan suhu proses *mixing* semakin bagus dan turbulensinya semakin bagus, karena apabila hanya mengandalkan pada blower *primer* itu tidak cukup dikarenakan blower *primer* hanya bisa menyuplai udara dengan ketentuan 70 M³/Jam, maka dari itu modifikasi penambahan *secondary air* dilakukan supaya membantu turbulensi udaranya semakin bagus.

1.2. Tujuan Proyek Akhir

Adapun tujuan dari proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memodifikasi tungku *co-firing* Batu bara dan Biomassa Tertorefaksi dengan penambahan *Secondary Air*.
2. Menyiapkan tungku *co-firing* untuk persiapan pada saat pengujian berlangsung.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Melalui proses modifikasi ini praktikan mengetahui perbedaan hasil uji tungku *co-firing* dari sebelum dimodifikasi dan sesudah dimodifikasi.
2. Melalui proses pengambilan data pada saat uji emisi dapat menambah wawasan dan upaya untuk meningkatkan upaya pemberdayaan sumber energi terbarukan dengan berbasis biomassa di Indonesia.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas yang menjadi masalah dalam penelitian ini adalah,“Proses Modifikasi tungku *co-firing* untuk Pembakaran Batu bara dan Biomassa Tertorefaksi,“ Dalam penulisan laporan proyek akhir ini, hanya dibatasi mengetahui prinsip kerja *co-firing*.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

a. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan latar belakang dilakukannya penulisan laporan, tujuan penulisan proyek akhir, manfaat penelitian, rumusan masalah dan sistematika penulisan dalam proyek akhir.

b. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini bersikan tentang acuan landasan teori yang digunakan dalam menyusun penulisan proyek akhir ini.

c. METODOLOGI PROYEK AKHIR

Pada bab ini berisikan tentang waktu dan tempat pelaksanaan, alat dan bahan, prosedur proses modifikasi tungku *co-firing* Batu bara dan

Biomassa Tertorefaksi dengan penambahan *Secondary Air* dan persiapan tungku *co-firing* ketika akan digunakan pada saat pengujian.

d. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang Proses modifikasi tungku *co-firing* Batu bara dan Biomassa Tertorefaksi dan proses menyiapkan tungku *co-firing* ketika akan digunakan pada saat pengujian.

e. SIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran yang diperoleh dari proyek akhir ini.

f. PENUTUP

Pada bab ini berisikan kesimpulan yang diperoleh dari data dan pembahasan serta saran yang dapat diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang digunakan selama penyusunan laporan proyek akhir.

LAMPIRAN

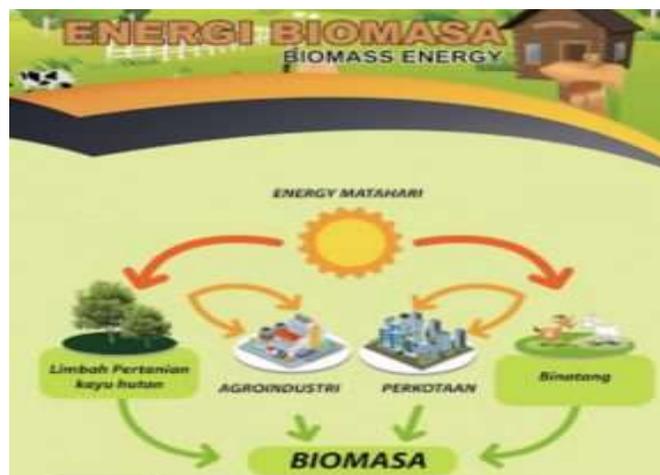
Merupakan lampiran yang berisikan tentang gambar alat *co-firing* serta bagian-bagian alat tersebut dan juga perhitungannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biomassa

Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik merupakan produk ataupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain untuk bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga sebagai sumber energi (bahan bakar). Biomassa yang umum digunakan sebagai bahan bakar adalah yang memiliki nilai ekonomis rendah atau merupakan limbah yang diambil primernya.



Gambar 2.1 Energi Biomassa

Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*).

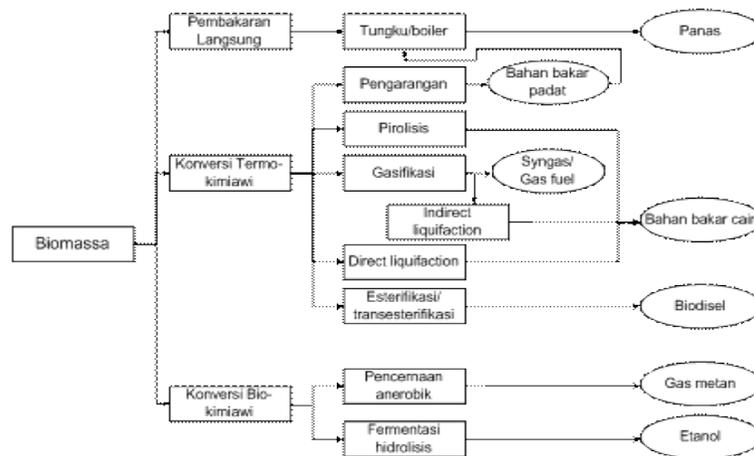
Prinsip dasar pada biomassa yaitu tanaman akan menyerap energi dari matahari melalui fotosintesis dengan memanfaatkan air dan unsur hara dari dalam tanah serta CO₂ dari atmosfer yang akan menghasilkan bahan organik untuk membuat jaringan dan membentuk daun, bunga atau buah. Pada saat biomassa diubah menjadi energi CO₂ akan dilepaskan di atmosfer. Yang dalam hal ini siklus CO₂ akan menjadi lebih pendek dibandingkan dengan yang dihasilkan dari pembakaran minyak bumi atau gas alam. Ini berarti CO₂ yang dihasilkan tersebut tidak memiliki efek terhadap kesetimbangan CO₂ di atmosfer. Kelebihan inilah yang dimanfaatkan untuk mendukung terciptanya energi yang berkelanjutan.

2.2.1. Konversi energi Biomassa.

Penggunaan biomassa untuk menghasilkan panas secara sederhana yaitu biomassa yang langsung dibakar dan menghasilkan panas. Agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar maka diperlukan teknologi untuk mengkonversi biomassa, diantaranya beberapa teknologi untuk konversi biomassa. Ada perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan bahan bakar yang dihasilkan (Parinduri dkk, 2020).

Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga :

- Pembakaran langsung.
Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa dapat langsung dibakar. Beberapa biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan didensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan.
- Konversi termokimia.
Konversi termokimia merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar.
- Konversi biokimia.
Konversi biokimia merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar.

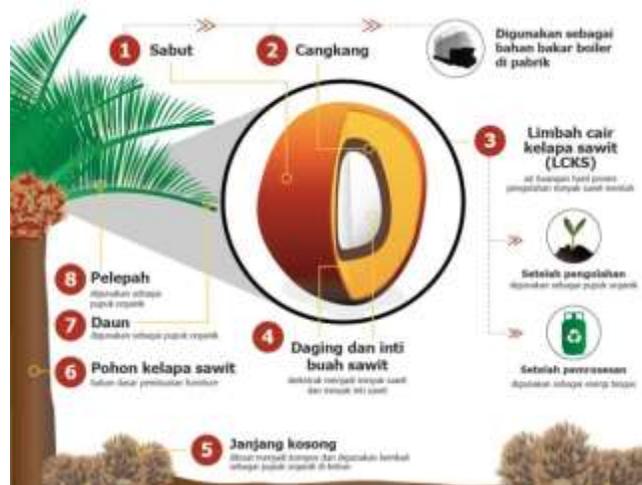


Gambar 2.2 Teknologi konversi Energi

(Sumber : <http://elyvani.blogspot.com/>)

2.2.2. Potensi biomassa perkebunan kelapa sawit

Wilayah yang memiliki jumlah perkebunan kelapa sawit terluas di Indonesia salah satunya Provinsi Riau, luas areal perkebunan sawit rakyat di Provinsi Riau secara keseluruhan adalah 2.401.460 Ha yang tersebar pada 12 kabupaten. Dari total luas perkebunan yang ada 461.007 Ha kebun sawit telah menghasilkan dengan total produksi 4.477.081 ton. Wilayah perkebunan sawit rakyat terbesar terdapat di kabupaten Indragiri Hilir, dengan luas areal tanaman mencapai 580.627 Ha (24,1%). TKKS merupakan limbah padat terbesar yang dihasilkan oleh perkebunan kelapa sawit (PKS). Komposisi kelapa sawit dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.3 Potensi Biomassa kelapa sawit

Presentase tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terhadap tandan buah segar (TBS) sekitar 22-23% atau sebanyak 220-230 kg TKS. Jika TKS berkapasitas 100 ton/jam maka dihasilkan sebanyak 22-23 ton TKS. Jumlah limbah TKS seluruh tersebut di Indonesia pada tahun 2004

diperkirakan mencapai 18.2 juta ton dengan nilai kalor TKS adalah 18790 kJ/kg (Erhaneli & Syawal, 2017).

2.3. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS)

Dalam perekonomian makro ekonomi Indonesia, industry minyak sawit punya peran sangat strategis, antara lain penghasil devisa terbesar, lokomotif perekonomian nasional, kedaulatan energi, pendorong sektor perekonomian rakyat, dan penyerapan tenaga kerja. Perkebunan kelapa sawit di Indonesia sangat berkembang dengan pesat serta mencerminkan adanya revolusi perkebunan sawit. Perkebunan sawit di indonesia berkembang di 22 provinsi dari 33 provinsi di indonesia.



Gambar 2.4 Perkebunan sawit

Dua pulau utama merupakan sentra perkebunan kelapa sawit di indonesia adalah Sumatra dan Kalimantan. Sekitar 90% perkebunan sawit di indonesia berada di kedua pulau sawit tersebut, dan kedua pulau tersebut menghasilkan 95% produk

minyak sawit mentah (*crude palm oil/CPO*) indonesia. Dalam kurun 1990-2015, terjadi revolusi pengusaha perkebunan kelapa sawit di indonesia, yang di tandai dengan tumbuh dan berkembangnya perkebunan rakyat dengan cepat, yakni 24% pertahun selama 1990-2015.

Pada 2015, luas perkebunan sawit indonesia adalah 11,3 juta ha (Kementerian Pertanian, 2015), dan pada tahun 2017 mencapai 16 juta ha. Saat ini proporsi terbesar adalah perkebunan rakyat sebesar 53% di ikuti perkebunan swasta 42% dan perkebunan negara 5%, pada tahun 2017 produksi CPO indonesia di prediksi mencapai 42 juta ton.

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan biomassa dengan kandungan terbesar berupa selulosa, disamping hemiselulosa dan lignin dalam jumlah yang lebih kecil. Industri sawit dalam pengoperasiannya dapat menghasilkan limbah salah satunya limbah tandan kosong kelapa sawit, dan limbah ini berupa limbah padat yang berasal dari tkks. Dalam satu ton sawit dapat menghasilkan berupa limbah tandan kosong kelapa sawit sebesar 23% atau 230 kg. Tandan kelapa sawit dapat dimanfaatkan untuk pembuatan pupuk kompos, pupuk kalium, bahan serat dan lain-lain. Komponen kimia utama TKKS yaitu lignin, selulosa, holoselulosa, abu dan pectin sehingga arang tandan kosong kelapa sawit bisa digunakan sebagai bahan alternatif dalam bentuk briket. Kualitas TKKS tidak jauh beda dengan kualitas biomassa lainnya, baik dalam limbah pertanian maupun biomassa bukan kayu (Jalaluddin,dkk 2020).

2.3.1. Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang memiliki kerapatan 0,69 s/d 0,79 gr/cm³ merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan oleh

industri perkebunan kelapa sawit yang banyak mengandung serat (Nuryanto,2000).



Gambar 2.5 Tandan kosong kelapa sawit

Ditinjau dari sifat fisik, morfologi, dan komposisi kimia, sebenarnya tkks dapat digunakan sebagai bahan baku potensial untuk pengisi atau penguat komposit polimer. Hal ini disebabkan pada tkks kandungan seratnya mencapai sekitar 70% dan komposisi kimia tkks mengandung selulosa yang cukup banyak sekitar 37,76 %. Seperti bahan baku kayu dan jaringan penunjang tumbuh tumbuhan lainnya.

2.4. Torefaksi

Torefaksi merupakan salah satu proses termokimia yang saat ini tengah banyak digunakan untuk meningkatkan kalor dari biomassa dan menurunkan kelemahan kelemahan dari biomassa tersebut seperti rendahnya kalor dan densitas energi, kelembapan tinggi, efisiensi pembakaran rendah dan energi penggilingan yang tinggi. Torefaksi umumnya dilakukan pada rentang suhu 200-300 °C dengan penahanan suhu 30-60 menit pada kondisi *inert* dan tekanan sesuai atmosfer lingkungan (Gede suastika dkk, 2019).

Pada saat torefaksi tkks pada temperatur 200°C dan 225°C tidak terjadi degradasi dari hemiselulosa, namun pada temperatur 250 °C penurunan berat mencapai 19,5% berat sampel, penurunan berat dari degradasi hemiselulosa pada 275 °C sekitar 25,5% dan pada 300 °C hanya sekitar 16,8% berat, hal ini karena penurunan berat yang tinggi pada temperatur sebelumnya. Penelitian tentang torefaksi untuk biomassa berserat seperti tkks memperlihatkan bahwa keberadaan oksigen akan mengurangi perolehan produk yang dihasilkan akibatnya cepatnya proses oksidasi terhadap komponen-komponen mudah terbakar yang terdapat di biomassa (Irawan dkk, 2015).

2.5. Batubara

Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil yang umumnya merupakan batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, berasal dari sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk dari proses pembatubaraan. Adapun unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara juga merupakan batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk.

2.5.1. Jenis-jenis batubara

Menurut tingkatan proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batubara umumnya dibagi dalam lima kelas yaitu, antrasit, bituminous, sub-bituminus, lignit dan gambut.

- a. Antrasit adalah kelas batubara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86%-98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.

- b. Bituminous mengandung 68-86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batubara yang paling banyak ditambang di Indonesia, tersebar dipulau sumatera, Kalimantan dan Sulawesi.
- c. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminous.
- d. Lignit atau batubara coklat adalah batubara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
- e. Gambut, berpori dan memiliki kadar air diatas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.

2.6. Co-firing

Pembakaran langsung merupakan pilihan penting untuk konversi biomassa dan telah digunakan sejak peradaban manusia ketika manusia menemukan api. Baru-baru ini setelah bumi mengalami pemanasan global, motivasi penggunaan biomassa menggantikan bahan bakar fosil di pembangkit listrik tenaga uap, industri semen, dan pembuatan besi semakin berkembang karena diyakini merupakan bahan bakar karbon netral rasio moral hydrogen-karbon (H/C) biomassa yang tinggi, pembakaran biomassa melepaskan jumlah CO₂ yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar rasio H/C yang lebih rendah (Ndibe dkk, 2015) sehingga dapat mengurangi jejak karbon dari industri-industri tersebut. Karena perbedaan besar dalam sifat pembakaran biomassa dan batubara, sulit untuk menggantikan keseluruhan bahan bakar batubara dan biomassa. Sebagai solusi praktis yang dapat diterima adalah mengganti sebagian konsentrasi bahan bakar fosil dengan biomassa untuk mengurangi

tingkat ketidakcocokan yang selanjutnya di sebut *co-firing* (Guo & Zhong, 2018).

2.6.1. Teknologi *Co-firing*

Co-firing biomassa telah berhasil didemonstrasikan di sejumlah besar instalasi di seluruh dunia untuk sebagian besar kombinasi bahan bakar dan jenis boiler. Ada tiga konfigurasi teknologi untuk *co-firing* biomassa dengan batubara di pembangkit listrik : *co-firing* langsung, *co-firing* tidak langsung, dan *co-firing* parallel.

2.7. Bagian-Bagian Mesin *co-firing*.

Dibawah ini merupakan bagian-bagian dari mesin *co-firing* :

2.7.1 Motor listrik.

Adapun motor listrik 1 *phase* itu akan bekerja pada *rate* tegangan 220 v ac, pada motor 1 *phase* kapasitor terbagi menjadi tiga yakni motor *start* kapasitor , motor *running* kapasitor, motor *start running* kapasitor. Adapun prinsip kerja motor 1 *phase* ini yaitu apabila kumparan diberikan arus listrik AC 1 *phase* maka akan membangkitkan medan magnet pada celah udara yang kosong pada stator dan rotor, medan magnet yang berputar bergerak memotong lilitan rotor sehingga pada rotor menginduksi medan magnet pada stator. Biasanya rotor berada pada dalam hubung singkat guna mendapatkan arus listrik, yang besarnya tergantung dari impedansi dan tegangan rotor.



Gambar 2.6 Motor listrik 1 *phase*

2.7.2 Pulley.

Pulley adalah salah satu dari beberapa jenis transmisi. Kata bahasa Inggris yakni *pulley* adalah katrol (kata katrol berasal dari kata katrol). Katrol (*pulley*) berbentuk seperti roda. Selama penggunaan katrol (*pulley*) selalu terhubung ke sabuk *vanbelt*. Berikut merupakan salah satu *pulley*.



Gambar 2.1 *Pulley*

Fitur *pulley*

Pulley memiliki fitur sebagai berikut :

1. Transmisi gaya dari akuator ke unit penggerak
2. Menurunkan putaran
3. Mempercepat putaran
4. Menambah torsi
5. Mengurangi torsi

Jenis *pulley*

Berbagai jenis *pulley* saat ini sedang dikembangkan jenis-jenis *pulley* yang ada dipasaran adalah :

- *Flat pulley*
- *V pulley (Vpulley)*
- *Poly v*
- *Synchronous pulley*, dll

Bahan *pulley* selain jenisnya yang berbeda, bahan yang digunakan untuk *pulley* juga berbeda. Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan *pulley* adalah :

1. Baja (*steel*).
2. Besi tuang (*cast iron*).
3. alumunium.

Aplikasi pulley banyak dijumpai terutama tersedia di :

1. Bubut besar.
2. Kompresor.
3. Akselerator, dll

2.7.3 V-Belt.

Jarak yang cukup jauh yang memisahkan antara dua buah poros mengakibatkan tidak memungkinkannya menggunakan transmisi langsung dengan roda gigi. Sabuk -v merupakan sebuah solusi yang dapat digunakan. Sabuk -V merupakan salah satu transmisi penghubung yang terbuat dari karet. Dalam penggunaannya sabuk -v di belitkan mengelilingi alur *pulley*. Bagian sabuk yang membelit pada *pulley* akan mengalami lengkung sehingga lebar bagian dalamnya akan bertambah besar (sularso, 1991:163).

V-belt banyak digunakan karena mudah ditangani dan murah. Selain itu, *v-belt* mempunyai keunggulan lain menghasilkan transmisi daya yang besar dengan tegangan yang relatif rendah, yang membuat kendaraan mesin jadi halus dan senyap dibandingkan transmisi gir dan rantai. *V-belt* tidak hanya memiliki kelebihan dibandingkan dengan jenis *gearbox* lainnya, tetapi juga memiliki kelemahan yaitu apabila selip.

2.8.4 Poros.

Poros adalah bagian yang berputar tetap, biasanya dengan penampang melingkar, dilengkapi dengan roda gigi, *pulley*, roda gila, engkol, roda gigi dan bagian bergerak lainnya. Poros dapat dikenai beban lentur, tarik, tekan atau puntir, yang bekerja secara individual atau dalam kombinasi. Berikut gambar bagian poros :



Gambar 2. 2 Bagian poros

(sumber: id.aliexpress.com)

- **Fungsi poros**

Poros pada motor listrik yakni mentransmisikan gaya pada saat berputar. Setiap elemen mekanis yang berputar, seperti cakram kabel, *pulley* sabuk motor, roda merayap, dan roda gigi, berputar disekitar poros penopang tetap atau dipasang pada poros penopang.

BAB III

METODOLOGI PROYEK AKHIR

3.1 Waktu dan Tempat

Pengambilan data berupa proses Modifikasi tungku *co-firing* Batu bara dan Biomassa Tertorefaksi dengan penambahan *Secondary Air* yang berlokasi di bengkel profesional CV. ALSINTAN (Alat Mesin dan Pertanian) MUARA di Jalan Jendral Sudirman No. 78 Metro Barat, Kota Metro, Provinsi Lampung dan proses pengerjaan dilakukan dari bulan Desember 2022 – Maret 2023.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang di gunakan pada saat pengambilan data proses Modifikasi tungku *co-firing* Batu bara dan Biomassa Tertorefaksi yakni antara lain sebagai berikut :

1. Persiapan pembuatan *Burner co – firing* menggunakan alat sebagai berikut :

a. Mesin las listrik.

Mesin las listrik ini digunakan untuk menyambung berbagai komponen yang dibuat seperti *burner*, *screw*, *conveyor*, pipa *combustor*, blower kerangka *burner*. Mesin las listrik dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah.



Gambar 3.1 Mesin las listrik

b. Mesin gerinda

Mesin gerinda ini mempunyai fungsi untuk menghaluskan pada permukaan material, mesin gerinda ini di gunakan untuk meratakan bagian terakhir salah satunya reaktor (*finishing*). Mesin gerinda ini dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Mesin gerinda

c. Mesin bor duduk

Mesin bor duduk ini berfungsi untuk melubangi suatu permukaan bahan yang akan dibuat yaitu melubangi pada kerangka *burner* untuk memasukan lubang baut. Mesin bor duduk dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Mesin bor duduk

d. Mesin potong

Mesin ini berfungsi untuk memotong suatu material seperti plat, Baja siku untuk kerangka reaktor, pipa dan poros dengan garis pemotongan berupa garis lurus. Mesin potong ini dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Mesin potong

e. Mesin bubut

Mesin bubut ini akan di gunakan untuk membuat poros utama yaitu *screw conveyor*, poros *cooling char*, poros *rotary valve*, *flange* dan *sprocket*. Proses kerja dari mesin bubut itu yaitu dengan bergerak dan memutar benda kerja dan menggunakan alat potong pahat untuk menyayat benda kerja. Mesin bubut ini dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Mesin bubut (*Turning Machine*)

1. Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat *Burner co-firing*.

a. *Burner*

Burner merupakan tempat terjadinya pembakaran dan *mixing* antara bahan, *burner* ini terbuat dari baja jis 3116 6 mili, dan didalam *burner* terdapat isolator dan untuk kerucutnya menggunakan baja jis 3116 6 mili dalam pembuatan kerucutnya menggunakan las dengan elektroda tipe lb 52 u untuk *filling* dan *covering*.



Gambar 3.6 *Burner co-firing.*

b. *Screw conveyor*

Screw conveyor ini untuk mentransfer secara kontinyu antara kedua bahan bakar tersebut.



Gambar 3.7 *Screw conveyor*

c. *Blower (Secondary air)*

Alat ini memberikan oksigen tambahan dan untuk dan membuat aliran turbulensi di ruang bakar.



Gambar 3.8 *Blower (Secondary Air)*

d. Pipa knalpot

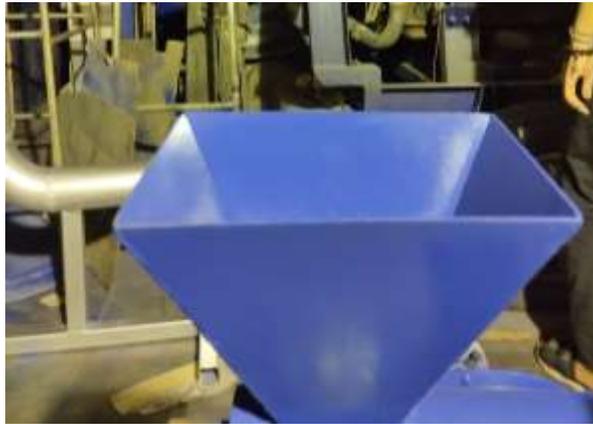
Pipa knalpot ini di gunakan untuk mentransfer udara panas dari *burner* untuk dibuang, adapun plat besi yang digunakan dalam pembuatan berukuran 4 *inch schedule 40*.



Gambar 3.9 Pipa knalpot

e. *Hopper*

Hopper merupakan bagian tempat untuk menampung bahan bakar menuju *screw conveyor*, *hopper* sendiri mampu menampung 2 kg bahan baku.



Gambar 3.10 *Hopper*

g. Motor listrik

Motor listrik ini di gunakan untuk membantu perputaran *belt primary aer* dan *screw conveyor*.



Gambar 3.11 Motor listrik

3.3. Prinsip kerja *co-firing*.

Pada saat proses Modifikasi tungku *co-firing* pertama kali yaitu dimulai dengan menyiapkan alat dan bahan, yaitu sebuah *burner* atau tungku yang sudah dibuat dan juga pipa knalpot buat menyalurkan udara panas pada saat proses pembakaran dan juga bagian motor listrik sebagai power serta komponen-komponennya. Adapun tahapannya sebagai berikut :

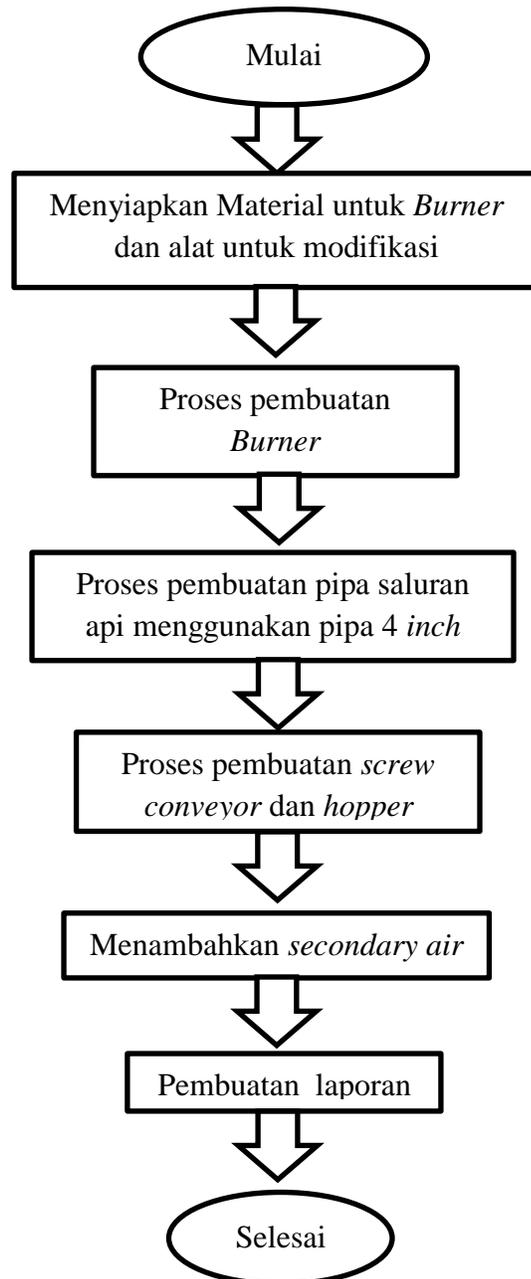
1. Prinsip kerja mesin alat *co-firing* ini dimulai dengan menyatukan semua *part-part* bagian mesin alat *co-firing* seperti memasukan blower (*secondary air*) kedalam lubang yang ada di *burner* kemudian menyatukan pipa keujung kerucut *burner* dan bagian knalpot juga serta cerobong asapnya juga dijadikan menjadi satu. Dan lubang yang ada pada bagian belakang *burner* juga ditutup, tujuannya supaya angin bantuan dari blower tidak keluar sehingga turbulensi didalam *burner* berhasil. Dan yang terakhir menyambungkan kabel colokan ke stop kontak listrik.
2. Kemudian *setting* bagian tombol suhu untuk melihat tinggi suhu yang sudah dicapai pada saat menaikkan suhu dalam *burner*, dan juga tekan tombol bagian blower (*secondary air*), maka bara api yang sudah kita buat terlebih dulu kita masukkan kedalam *burner* disertai dengan memasukkan batubara hingga *burner* terlihat penuh, apabila batubara dirasa sudah penuh maka langkah selanjutnya kita *setting* tombol blower (*secondary air*) hingga 25.0 Hz dan kita tunggu hingga suhu mencapai 800 °C dalam *burner* dengan membutuhkan waktu kurang lebih 3 jam hingga bara api dan dinding-dinding dalam *burner* terlihat merah dan suhunya mencukupi.
3. Setelah *burner* dilihat sudah panas dan dinding-dinding *burnernya* sudah berwarna merah, maka langkah selanjutnya menurunkan kecepatan blower (*secondary air*), dan langsung menekan tombol blower (*primary air*) dan

tombol *screw vider*. Tiga tombol tersebut sudah menyala semua maka bahan yang akan di uji di alat *co-firing* ini dimasukan kedalam *hopper* dengan kontinue dengan kondisi *hopper* harus penuh tidak boleh kosong, maka bahan akan masuk melalui *screw conveyer* hingga sampai masuk kedalam *burner* dan di *mixing* didalamnya hingga terbakar dengan sempurna.

4. Proses memasukan bahan baku ke *hopper* itu seacara bergantian hingga data dirasa sudah cukup, maka langkah yang pertama salah satunya menggunakan bahan baku batubara halus 100 % yang sudah di *ball mill* dan disaring menggunakan ayakan 80 *mesh*, kemudian ganti bahan baku dengan tkks 100 % yang sudah di *ball mill* yang sudah disaring dengan ayakan 100 *mesh*, kemudian ganti dengan batubara 90%, batubara 80 %, batubara 70 %. Semua itu dimasukkan kedalam *hopper* secara bergantian sampai data yang di cari dalam pembakaran berhasil didapatkan.

3.4 Diagram alur proses pada saat modifikasi alat *co-firing*.

Adapun proses modifikasi tungku *co-firing* ini terdaftar pada proyek akhir yang dikerjakan didalam diagram alur berikut dibawah ini



Gambar 3.12 Diagram Alur Kerja Pelaksanaan Proyek Akhir

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari Laporan Proyek Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Tungku *co-firing* sudah selesai dalam proses modifikasi, semua *part-part co-firing* sudah berfungsi semua maka saatnya untuk mencoba alatnya sesudah dimodifikasi. Pada dasarnya kondisi sebelum di modifikasi lubang tungku *co-firing* untuk memasukan batu bara itu sangat kecil kurang dari 3 cm dan semua kabel kelistrikan juga banyak putus. Dan pada bagian ujung *burner* juga ditambahkan pipa untuk menambah saluran pembuangan gas panas supaya ketika proses pengambilan data tempature suhu itu langsung mudah dan tepat. Dan semua proses modifikasi selesai alat diuji, kelistrikan yang ada pada *inverter* semua bisa berjalan dan berfungsi semua, dan bagian lubang tungku memasukan batu bara juga sudah diperbesar. Pada saat pengujian berlangsung semua mesin dan semua *part* berjalan dan berfungsi dengan baik.
2. Sebelum pengujian berlangsung tungku *co-firing* harus penuh dengan isi batu bara dan arang untuk membuat bara api dalam konteks menaikkan suhu, kemudian di satukan dengan lubang keluarnya bahan baku dari *screw conveyor* hingga menyatu. Kemudian nyalakan tuas *secondary air* dengan kecepatan 20,0 Hz untuk memulai menaikkan suhu ruang.

5.2 Saran

Adapun saran yang bisa diperoleh dari Laporan Proyek Akhir ini yakni sebagai berikut :

1. Disarankan pada saat modifikasi kembali mengecek alatnya, apakah ada yang bocor pada bagian tampungan bahan baku di *primary air*, sehingga apabila ada yang bocor perlu di lem terlebih dahulu supaya tidak keluar dan los.
2. Disarankan pada saat proses penutupan lubang belakang burner jangan menggunakan kain atau bahan yang terbuat dari plastik, untuk menghindari dari kebakaran.
3. Disarankan harus menggunakan masker dan sarung tangan supaya terhindar dari debu batu bara dan asap tkks.

DAFTAR PUSTAKA

- 2018 , “Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan”
file:///C:/Users/Personal/Downloads/Potensi_Selulosa_dari_Limbah_Tandan_Kosong_Kelapa_.pdf
- 2020, “Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengganti Alternatif Papan Partikel” :
<file:///C:/Users/Personal/Downloads/54156-165939-1-PB.pdf>
- 2020, “Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan”
<file:///C:/Users/Personal/Downloads/2885-7029-1-SM.pdf>
- 2020, “Pemanfaatan Arang Tandan Kosong Sawit Sebagai Bahan Bakar Alternative dalam Bentuk Briket” :<file:///C:/Users/Personal/Downloads/7812-19117-1-SM.pdf>
- 2021, “Pengaruh Torefaksi terhadap Pencucian Potassium dalam Konversi Tandan Kosong Kelapa Sawit menjadi Bahan Bakar Padat Ramah Lingkungan” :
<file:///C:/Users/Personal/Downloads/14109-51987-1-PB.pdf>
- 2021, “PENGELOLAAN SUMBERDAYA BATUBARA INDONESIA DAN PROSPEKNYA DALAM PASAR GLOBAL DENGAN ANALISIS SWOT. “ :
<file:///C:/Users/Personal/Downloads/umar,+1073-4144-2-LE.pdf>
- 2021, “Simulasi co-combustion batubara dan biomassa tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi (torrefied biomass). Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 10(1), 53–60. <https://doi.org/10.24127/trb.v10i1.1468>

1. <https://museumlistrikpln.com/berasal-dari-limbahini-dia-penjelasan-tentang-energi-biomassa/>
2. <https://agrikan.id/ini-dia-proses-produksi-minyak-kelapa-sawit/>
3. <http://moch-ansor.blogspot.com/2011/03/tanaman-belum-menghasilkan.html>
4. <http://www.rumahmesin.com/pemanfaatan-tandan-kosong-kelapa-sawit/>