

**MODIFIKASI SISTEM INLET DAN PENDINGIN REAKTOR
TOREFAKSI BIOMASSA KONTINU TIPE *TUBULAR***

Tugas Akhir

Oleh :

Nurazizah Patmawati

1905101006



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

**MODIFIKASI SISTEM INLET DAN PENDINGIN REAKTOR
TOREFAKSI BIOMASSA KONTINU TIPE *TUBULAR***

**Oleh :
Nurazizah Patmawati**

Proyek Akhir

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
AHLI MADYA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

ABSTRAK

MODIFIKASI SISTEM INLET DAN PENDINGIN REAKTOR TOREFAKSI BIOMASSA KONTINU TIPE *TUBULAR*

Oleh:

Nurazizah Patmawati

Menipisnya cadangan bahan bakar fosil dengan perbandingan populasi manusia yang semakin bertambah menyebabkan semakin korektifnya kebutuhan sumber energi. Biomassa adalah hasil olahan bahan organik hasil fotosintetik dalam bentuk produk ataupun sampah. Torefaksi adalah salah satu perkembangan teknologi pengolahan biomassa dengan memanfaatkan keunggulan perpindahan panas dengan penetapan suhu serta waktu tinggal sampel saat proses torefaksi.

Jenis reaktor sangat berpengaruh dalam menghasilkan produk dengan kualitas tinggi, karena pertimbangan kesinambungan antara massa material yang masuk dan yang keluar dengan laju panas yang tetap dan kontinu. Reaktor jenis *tubular* merupakan jenis reaktor berbentuk tabung dengan dinding tetap dan yang bergerak adalah material di dalam reaktor tersebut. Modifikasi adalah proses pengembangan dengan mengatur ulang bentuk atau penyederhanaan suatu alat tanpa mengurangi fungsi awal dari alat tersebut. Pada alat torefaksi modifikasi ini dilakukan pada bagian *feeding hopper* dan *cooling char* yang bertujuan untuk mempermudah pengolahan sampel agar lebih optimal.

Kata Kunci : **Torefaksi, Reaktor jenis *Tubular*, Modifikasi.**

ABSTRACT

MODIFICATION OF INLET SYSTEM AND COOLING TUBULAR TYPE CONTINUOUS BIOMASS TO TOREFACTION REACTOR

To:

Nurazizah Patmawati

The depletion of fossil fuel reserves with the increasing proportion of the human population causes the need for energy sources to be corrected. Biomass is the result of processed photosynthetic organic materials in the form of products or waste. Torrefaction is one of the technological developments of biomass processing by utilizing the advantages of heat transfer by determining the temperature and residence time of the sample during the torrefaction process.

The type of reactor is very influential in producing high quality products, because of the consideration of continuity between the incoming and outgoing masses of material with a constant and continuous heat rate. The tubular type reactor is a type of reactor with a tube shape with a fixed wall and what moves is the material inside the reactor. Modification is a development process by rearranging the shape or simplification of a tool without reducing the initial function of the tool. In the torrefaction tool, this modification is carried out on the feeding hopper and cooling char which aims to facilitate sample processing so that it is more optimal.

Keywords: *Torefaction, Tubular Reactor, Modification.*

Judul Proyek Akhir : **MODIFIKASI SISTEM INLET DAN
PENDINGIN REAKTOR TOREFAKSI
BIOMASSA KONTINU TIPE TUBULAR**

Nama Mahasiswa : **Nurazizah Patmawati**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1905101006**

Jurusan : **Diploma III Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



Ketua Program Studi
Diploma III Teknik Mesin

Agus Sugiri, S.T., M.Eng.
NIP : 19700804199803100

Dosen Pembimbing

Amrul, S.T., M.T.
NIP : 197103311999031003

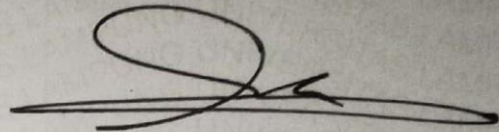
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Amrul, S.T., M.T.
NIP : 197103311999031003

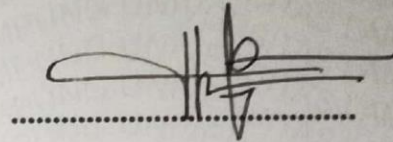
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Pembimbing : Amrul, S.T., M.T.


.....

Penguji : Hadi Prayitno, S.T., M.T.


.....

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung




Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc ✕

NIP.197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Proyek Akhir : **16 Juni 2022**

PERNYATAAN PENULIS

Proyek Akhir ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor No. 3187/H26/DT/2010.

Yang Membuat Pernyataan



Nurazizah Patmawati

NPM. 1905101006

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan pada tanggal 12 April 2001, merupakan anak kedua dari dua bersaudara, dari pasangan bapak Sumarsono dan ibu Rohimah. Penulis menyelesaikan pendidikan SD Negeri 1 Sawah Lama pada tahun 2013 dan selanjutnya penulis menyelesaikan pendidikan di SMP Negeri 5 Badar Lampung pada tahun 2016. Kemudian pada tahun 2019 penulis menyelesaikan pendidikannya di SMK SMTI Badar Lampung. Sejak 2019 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Penerimaan Mahasiswa Program Diploma (PMPD).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai serkertaris Bidang Organisasi dan Kepemimpinan (2020 – 2021) dan menjadi Ketua Bidang Kesekretariatan (2021 – 2022).

Pada tanggal 10 Oktober hingga 10 November 2021 penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT. Perkebunan Nusantara VII Unit Way Berulu, Pesawaran, Lampung Tengah dengan judul “***ANALISIS MAINTENANCE PADA SHEETER PENGOLAHAN RSS DI PT.PERKEBUNAN NUSANTARA VII UNIT WAY BERULU PESAWARAN***”. Kemudian pada Februari tahun 2022 penulis mengerjakan Proyek Akhir dengan judul “***MODIFIKASI SISTEM INLET DAN PENDINGIN REAKTOR TOREFAKSI BIOMASSA KONTINU TIPE TUBULAR***”. Penulis mengerjakan proyek ini dibawah bimbingan bapak Amrul, S.T., M.T. dan dengan dosen penguji bapak Hadi Prayitno, S.T., M.T.

MOTTO

“Proses adalah suatu tantangan yang harus diselesaikan biarpun jalan didalam proses itu setajam bilah pedang yang menyayat telapak kaki.”

(Rohimah)

Ada banyak perjalanan yang sudah menjadi medan perang untuk menggapai kesuksesan itu dan hanya diri ini lah yang merasakan luka – luka yang perih dan pedih ini yang disembunyikannya lalu digantikan dengan senyuman untuk menutupi semua luka perjalanan itu.

Waktu bagaikan pedang. Jika engkau tidak memanfaatkannya dengan baik, maka ia akan memanfaatkanmu.

(H.R. Muslim)

Bersaing itu hal yang wajar yang tidak wajar adalah bersilat lidah untuk memenangkan persaingan.

(Azizah)

PERSEMBAHAN

*Dengan kerendahan hati ini
ku persembahkan tugas akhirku ini untuk :*

Ayah, Ibu dan Keluargaku Tercinta

Dan

-

Almamater Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Serta

*Rekan - Rekan Teknik Mesin 2019
Terhusus D3 Teknik Mesin 2019*

SANWACANA

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir sesuai dengan waktu yang ditetapkan. Laporan Proyek Akhir ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat wajib untuk mencapai gelar Ahli Madya Teknik jenjang Diploma III Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Selain itu Proyek Akhir ini ditujukan untuk mengamati dan mengetahui secara langsung proses pembuatan pompa hidram yang bermanfaat bagi masyarakat dan khususnya bagi penulis. Selama penyusunan Proyek Akhir berlangsung penulis dibantu dan diberikan saran dari berbagai pihak sehingga terealisasinya Laporan Proyek Akhir ini. Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Amrul S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, sekaligus Dosen Pembimbing Proyek Akhir atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian Laporan Proyek Akhir ini
2. Bapak Agus Sugiri, S.T., M.Eng., selaku ketua program studi Diploma III Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Bapak Hadi Prayitno, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Proyek Akhir. Terima kasih untuk masukan dan saran-saran pada seminar Laporan Proyek Akhir terdahulu.
4. Kedua Orang tua penulis, Abang, Kakak, Adik serta keluarga besar yang penulis cintai dan selalu memberikan do'a, motivasi serta semangat materil maupun moril dalam penyusunan Proyek Akhir ini.

5. Semua temen-temen Teknik Mesin 2019 yang telah memberikan semangat sampai saat ini.
6. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) khususnya HIMATEM angkatan 2019 yang telah banyak memberikan dukungan dan juga semangat dalam penyusunan laporan ini.
7. Teman – teman proyek torefaksi khususnya pak Agus Apriyanto, S.T., M.T., Pino Amarullah, Ahmad Zikautsar R.M, dan Zulkri Kurniawansyah

Penulis menyadari masih terdapatnya kekurangan yang ada dalam Laporan Proyek Akhir ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak agar penulis dapat berkembang dan menjadi lebih baik dari sebelumnya. Akhir kata, semoga Laporan Proyek Akhir ini dapat berguna dan dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan bagi pembaca serta bagi penulis.

Bandar Lampung, 08 Mei 2022

Penulis,

Nurazizah Patmawati
NPM. 1905101006

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Torefaksi.....	4
2.2 Parameter Reaktor Torefaksi.....	5
2.2.1 Waktu Tinggal.....	5
2.2.2 Temperatur.....	6
2.2.3 Ukuran Partikel.....	6
2.2.4 Jenis Biomassa.....	6
2.3 Jenis-Jenis Reaktor.....	7
2.3.1 Reaktor Tipe <i>Fluidized Bed</i>	7
2.3.2 Reaktor Tipe <i>Rotary kiln</i>	8
2.3.3 Reaktor Tipe <i>Fixed Bed</i>	9
2.3.4 Reaktor Tipe <i>Tubular</i>	10
BAB III METODELOGI	12
3.1 Tempat dan Waktu.....	12
3.1.1 Tempat Proyek Akhir.....	12

3.1.2	Waktu Pelaksanaan Proyek Akhir	12
3.2	Bagian–Bagian Utama Alat Torefaksi Kontinu Tipe <i>Tubular</i>	12
3.3	Spesifikasi Reaktor Kontinu Tipe <i>Tubular</i>	15
3.4	Alur Proses Modifikasi Alat Torefaksi Kontinu	16
BAB IV PEMBAHASAN		18
4.1	Modifikasi dan Reparasi Reaktor	18
4.2	Kendala – Kendala yang Sering Terjadi pada Reaktor Kontinu	20
4.3	Bagian – Bagian Alat Torefaksi setelah Modifikasi dan Reparasi.....	21
4.3.1	<i>Feeding Hopper</i>	21
4.3.2	<i>Cooling Char</i>	22
4.3.3	Reparasi.....	23
4.4	<i>Running Test</i>	24
4.4.1	Alat dan Bahan saat Reparasi sampai <i>Running Test</i> Reaktor	26
4.4.2	Proses Kalibrasi Termkopel sebelum dilakukannya <i>Running Test</i> ..	28
4.4.3	Proses <i>Running Test</i> tanpa Sampel	29
4.4.4	Proses <i>Running Test</i> dengan Sampel Biomassa.....	31
4.4.5	<i>Residence Time</i>	33
4.5	SOP (Standar Operasional Prosedur)	33
BAB V PENUTUP		36
5.1	Simpulan.....	36
5.2	Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA		38
LAMPIRAN		40

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Reaktor tipe <i>fluidized bed</i> (Chen dkk., 2014).....	7
Gambar 2.2 Reaktor tipe <i>rotary kiln</i> (Chen dkk., 2014).....	8
Gambar 2.3 Reaktor tipe <i>fixed bed</i> (Chen dkk., 2014).....	9
Gambar 2.4 Reaktor torefaksi tipe <i>tubular</i> (Chen dkk., 2014).	10
Gambar 3.1 Reaktor torefaksi kontinu tipe <i>tubular</i> dengan pemanas selimut oli..	12
Gambar 4.1 Alat torefaksi sebelum dan sesudah modifikasi dan reparasi.....	19
Gambar 4.2 <i>Feeding hopper</i> setelah modifikasi.	22
Gambar 4.3 <i>Cooling char</i> setelah modifikasi.	23
Gambar 4.4 Reaktor setelah proses reparasi dan modifikasi.	23
Gambar 4.5 Posisi termokopel pada reaktor dan <i>cooling char</i>	25
Gambar 4.6 <i>Feeding hopper</i>	26
Gambar 4.7 <i>Burnner</i>	27
Gambar 4.8 Termokopel tipe K.	27
Gambar 4.9 <i>Cooling char</i>	27
Gambar 4.10 12 <i>Channel temperature recorder datalogger</i>	28
Gambar 4.11 Kalibrasi termokopel pada temperatur 0°C dan 100°C.....	28
Gambar 4.12 Grafik perbandingan temperatur reaktor dalam terhadap waktu.....	29
Gambar 4.13 Grafik perbandingan temperatur oli terhadap waktu.....	30
Gambar 4.14 Grafik temperatur <i>cooling char running test</i> tanpa sampel.....	31
Gambar 4.15 Grafik <i>running test</i> dengan sampel biomassa.	32

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Bagian dan fungsi utama dari reaktor torefaksi kontinu tipe <i>tubular</i>	13
Tabel 3.2 Spesifikasi reaktor torefaksi kontinu tipe <i>tubular</i>	15
Tabel 4.1 SOP (Standar Operasional Prosedur) alat torefaksi kontinu tipe <i>tubular</i>	33
Tabel 5.1 Spesifikasi alat torefaksi setelah modifikasi.	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menipisnya cadangan bahan bakar fosil dengan perbandingan jumlah populasi manusia khususnya yang ada di Indonesia, menyebabkan semakin bertambahnya kebutuhan sumber energi di dalam kehidupan sehari – hari. Melihat kondisi ini pemerintah mengeluarkan peraturan presiden Republik Indonesian nomor 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai sumber pengganti minyak bumi yang lama–kelamaan akan mempengaruhi ketahanan sumber energi di Indonesia. Mendapatkan sumber energi alternatif, ramah lingkungan dan murah di dalam proses untuk mendapatkan produknya salah satunya dari pengolahan biomassa.

Biomassa adalah hasil olahan bahan organik hasil fotosintetik dalam bentuk produk ataupun sampah. Pengolahan biomassa dengan penggunaan teknologi yang tepat akan menghasilkan energi alternatif yang dapat menunjang kebutuhan energi serta memperpanjang umur pemakaian minyak bumi khususnya batu bara. Perkembangan teknologi yang hasil produknya hampir mendekati kadar batu bara adalah pengolahan biomassa melalui teknik torefaksi.

Torefaksi adalah salah satu teknologi pengolahan biomassa dengan menggunakan proses perlakuan panas yang akan menghasilkan produk sebagai bahan bakar dengan kualitas lebih baik (Haryadi 2009). Yaitu dengan memanfaatkan keunggulan perpindahan panas antara dinding reaktor dan sampel yang masuk kedalam reaktor. Pada penetapan suhu yang tetap serta

waktu tinggal sampel di dalam reaktor akan sangat mempengaruhi hasil dari produk torefaksi. Salah satu tipe reaktor yang mempunyai konsistensi di dalam pemanasan adalah reaktor tipe *tubular*. Reaktor tipe *tubular* adalah reaktor yang berjalan secara kontinu, memiliki ciri khas yaitu *screw conveyor* reaktor berjalan dengan kecepatan screw yang bervariasi mulai dari 0,5–25 rpm. Sehingga *residence time* reaktor ini dapat diubah serta reaktor tipe *tubular* ini cocok untuk skala kecil dan menengah, salah satunya untuk jenis sampel sampah kota. Peralatan torefaksi kontinu ini terdiri dari komponen utama berupa *feeding hooper*, *airlock rotary valve*, tabung reaktor, *cooling char* dan motor penggerak dan *reducer* (Fariz, 2017). Modifikasi diperlukan karena pada penelitian sebelumnya terjadi beberapa kendala saat pengoperasian reaktor dengan pengujian sampel sampah.

Salah satunya pada poros *rotary valve* yang bengkok akibat tidak mampu mendorong material masuk ke dalam ruang reaktor dan bengkok akibat ukuran material partikel sampah yang tidak signifikan. Sehingga menyebabkan penyumbatan pada bagian *air lock rotary valve*. Memaksimalkan sampel yang masuk dan meminimalkan gesekan antar partikel agar tidak terjadi penyumbatan pada reaktor saat proses sedang berlangsung yaitu dengan memperkecil ukuran partikel. Sehingga dilakukannya modifikasi pada bagian *air lock rotary valve* menjadi *feeding hopper* untuk meningkatkan kualitas dari kinerja alat tersebut. Dasar inilah saya tertarik untuk memodifikasi reaktor torefaksi kontinu tipe *tubular*.

1.2 Tujuan

Tujuan dari proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memodifikasi alat torefaksi kontinu tipe *tubular*.
2. Mengetahui unjuk kerja dari alat torefaksi kontinu tipe *tubular* setelah dimodifikasi.

1.3 Batasan Masalah

Pada keseluruhan pembahasan alat torefaksi, yang menjadi fokus pada laporan tugas akhir ini adalah modifikasi alat torefaksi tipe *tubular* dengan membandingkan kinerja sebelum dan sesudah dimodifikasi.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam menyusun tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika dari penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang studi khusus pada laporan proyek tugas akhir.

BAB III METODE PROYEK AKHIR

Bab menjelaskan metode yang digunakan dalam pelaksanaan proyek tugas akhir, yaitu waktu dan tempat pelaksanaan, alat yang digunakan dalam memodifikasi alat torefaksi kontinu tipe *tubular*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan proses yang dilakukan dalam pembuatan alat torefaksi kontinu tipe *tubular*, proses modifikasi alat torefaksi kontinu tipe *tubular*, prosedur penggunaan alat torefaksi kontinu tipe *tubular* dan SOP penggunaan alat torefaksi kontinu tipe *tubular*.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan simpulan dan saran dari hasil proyek tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Torefaksi

Torefaksi merupakan proses pengolahan biomassa pada rentang suhu 250 – 300°C. Pada suhu ini terjadi pelepasan hemiselulosa dan zat-zat *volatile*. Perlakuan panas yang dilakukan pada biomassa mentah agar menjadi bahan bakar yang dapat disempurnakan untuk nilai kalor dan kandungan karbon lebih tinggi. Tujuan dari torefaksi adalah meningkatkan nilai kalor serta memaksimalkan *mass yield* dan *energi yield* (Basu, 2013). Torefaksi atau pirolisis lambat yaitu pemanasan dengan memanfaatkan temperatur pemanas berkisar 250 – 300°C untuk menghasilkan bahan bakar padat dengan karakteristik mendekati batu bara.

Torefaksi biasanya dilakukan selama 30 – 60 menit di dalam aliran gas *inert* / nitrogen yang dilakukan tanpa oksigen atau minim oksigen. Bertujuan mencegah terjadi reaksi antara biomassa dengan oksigen yang menyebabkan pembakaran sendiri pada tekanan atmosfer. Selain itu, torefaksi meningkatkan hasil energi biomassa produk karena kandungan polimer biomassa seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin akan menyusut. Menyebabkan berat biomassa berkurang dengan densitas energi dan peningkatan dari kandungan karbon biomassa menjadi lebih tinggi sehingga dapat merubah warna biomassa menjadi kecoklatan (Nasution dkk., 2017).

Sifat – sifat yang ditingkatkan di dalam kandungan karbon serta nilai kalor dari biomassa yang telah dikeringkan secara signifikan selama proses torefaksi itu lebih tinggi daripada biomassa mentah. Di dalam proses torefaksi, jenis reaktor sangat berpengaruh dalam menghasilkan produk

dengan kualitas tinggi. Salah satunya dengan menggunakan torefaksi kontinu itu lebih menguntungkan untuk memproduksi bahan bakar padat karena pertimbangan antara kesinambungan massa material yang masuk dan keluar dengan laju panas yang tetap dan kontinu. Proses torefaksi memiliki manfaat tambahan yaitu mengurangi atau menghilangkan bahan yang mudah menguap atau tidak diinginkan, seperti oksida nitrogen dan oksida sulfur. Parameter akan sangat mempengaruhi proses torefaksi diantaranya temperatur, waktu, dan tipe biomassa (Syamsiro, 2016).

Suhu yang semakin tinggi serta lamanya waktu torefaksi akan mampu mengurangi kadar air pada biomassa sehingga mengakibatkan peningkatan daya tahan biomassa, selain itu beberapa kandungan/senyawa yang berpotensi memberikan pengaruh terhadap nilai kualitas biomassa mampu diminimalisasi dengan proses penguapan kandungan dan senyawa tersebut saat proses torefaksi berlangsung (Sadaka dkk., 2009). Torefaksi akan memperbaiki sifat – sifat bahan bakar seperti nilai kalor, kadar air, sifat higroskopis dan meminimalisir asap pembakaran (Susanty. dkk, 2016).

2.2 Parameter Reaktor Torefaksi

Pada eksperimen torefaksi yang dilakukan oleh Amrul (2014) variasi yang diberikan adalah variasi temperatur dan variasi waktu tinggal. Waktu tinggal adalah untuk laju penurunan massa mulai konstan yakni antara 10 – 40 menit, dan temperatur digunakan sebagai penguraian komponen biomasa.

2.2.1 Waktu Tinggal

Waktu tinggal tiap reaktor berbeda tergantung jenis reaktornya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Wang (2005) dengan menggunakan reaktor jenis *fixed bed residence time* berkisar antara 55 – 180 menit, lalu Garcia (1995) melakukan penelitian menggunakan reaktor *fluidized bed*, dengan waktu tinggal sekitar 20 menit. Pada Penelitian yang dilakukan oleh Li dkk (1999) melakukan penelitian dengan menggunakan reaktor tipe *rotary kiln* dengan waktu tinggal 7 – 15

menit. Pada penelitian yang dilakukan oleh Shang (2014) dengan menggunakan reaktor tipe *tubular*, waktu tinggal berkisar antara 30 – 60 menit. Semua ini bergantung pada temperatur yang digunakan (Chen dkk., 2014).

2.2.2 Temperatur

Temperatur saat eksperimen torefaksi yang dilakukan terhadap masing – masing komponen sampah dan perumusan temperatur optimal untuk torefaksi sampah campuran, maka diperoleh temperatur optimal untuk sampah campuran adalah 285°C (Amrul, 2014).

2.2.3 Ukuran Partikel

Ukuran partikel juga mempengaruhi reaksi dari torefaksi, tetapi pada tingkat yang lebih rendah dari temperatur dan waktu tinggal. Ukuran partikel mempengaruhi luas permukaan kontak perpindahan panas antara material biomassa dan sumber panas selama terjadi proses dekomposisi termal. Semakin kecil ukuran bahan baku yang digunakan maka permukaan perpindahan panas semakin luas dan meningkatkan laju pemanasan ke permukaan bahan baku. Hal ini mengakibatkan meningkatnya laju dekomposisi pada material biomassa dan meningkatkan efisiensi torefaksi terutama pada kebutuhan waktu tinggal yang pendek (Bergman dkk., 2005).

2.2.4 Jenis Biomassa

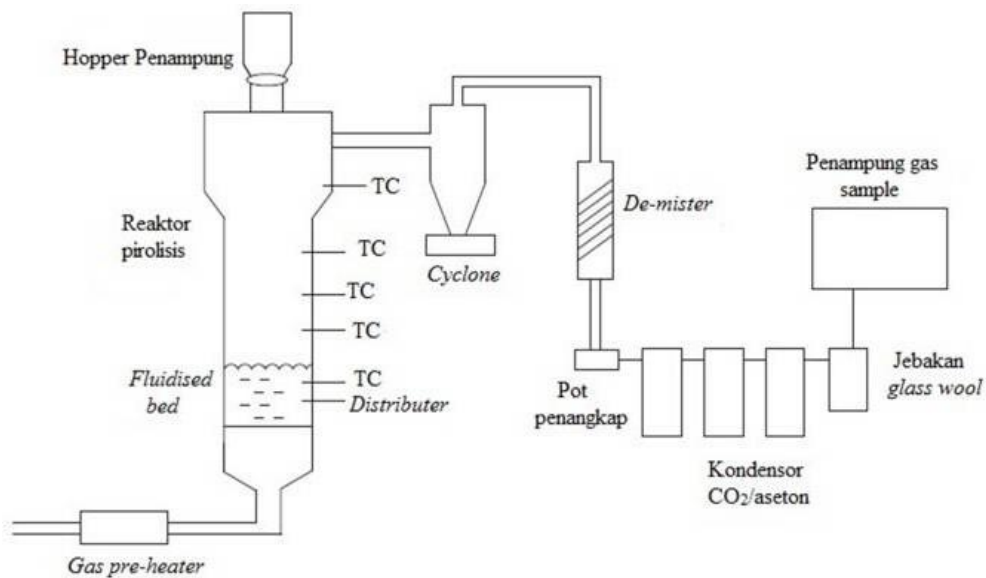
Jenis biomassa merupakan parameter penting lainnya yang dapat mempengaruhi proses torefaksi. Hal ini karena kandungan hemiselulosa paling banyak terdegradasi pada saat proses torefaksi, akibatnya akan kehilangan jumlah massa yang lebih tinggi pada biomassa yang banyak mengandung hemiselulosa. Kandungan dari hemiselulosa paling reaktif dalam kisaran suhu torefaksi sehingga menurunkan massa lebih cepat dari komponen padat dari biomassa (Basu, 2010). Reaktor *Counter-Flow Multi Baffle* (COMB), reaktor COMB memiliki kolom reaktor dengan plat pengarah aliran panas

yang sederhana dan fleksibel, serta perbedaan suhu yang konstan di sepanjang kolom (Rubiyanti dkk., 2019). Kelebihan utama dari reaktor COMB adalah dapat melakukan torefaksi biomassa dengan waktu tinggal singkat, sekitar 3 – 5 menit (Sulistio dkk., 2020).

2.3 Jenis-Jenis Reaktor

Reaktor merupakan tempat terjadinya suatu reaksi yang berlangsung secara kimia. Perubahan yang terjadi secara kimia adalah perubahan yang bukan merubah fasa melainkan perubahan unsur kimia, misalnya dari air menjadi uap. Perubahannya dapat terjadi secara spontan (dengan sendirinya) atau bisa juga dengan bantuan energi seperti energi panas, dari sedikit penjelasan diatas dapat diketahui beberapa jenis reaktor yaitu sebagai berikut:

2.3.1 Reaktor Tipe *Fluidized Bed*



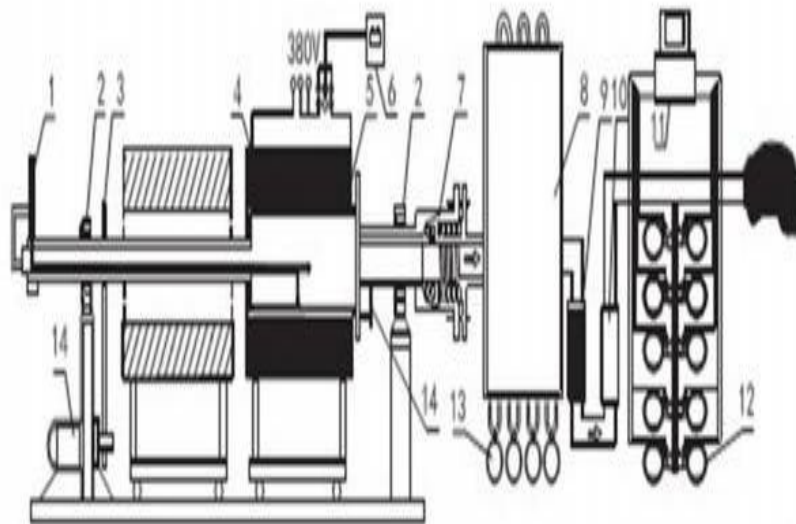
Gambar 2.1 Reaktor tipe *fluidized bed* (Chen dkk., 2014).

Reaktor *fluidized bed* bercirikan *heating rate* yang tinggi serta pencampuran bahan baku yang baik, reaktor ini lebih sering digunakan untuk menggambarkan pengaruh temperatur dan *residence time* pada produk pirolisis dan torefaksi seperti terlihat pada Gambar 2.1.

Biasanya reaktor *fluidized bed* digunakan untuk menyelidiki perilaku pirolisis cepat (*flash pyrolysis*) dan untuk mengeksplorasi *cracking tar* kedua. Namun dalam industri tipe ini jarang digunakan karena pemisahan material serta pemanasan dan sirkulasi eksternal yang rumit.

Reaktor ini akan berjalan dengan sistem *batch by batch*, dan *continuous* sekali proses masuk material hanya dapat masuk sekitar 0.8 – 5 gram, dan *residencetime* proses sekitar 20 menit. Koefisien perpindahan panas pada sand *fluidized bed* reaktor untuk MSW pirolisis sekitar 112 – 559 J/m²K atau sekitar 70 – 80% *primary tar* bisa terpecah menjadi gas berat molekul rendah (Chen dkk., 2014).

2.3.2 Reaktor Tipe *Rotary kiln*

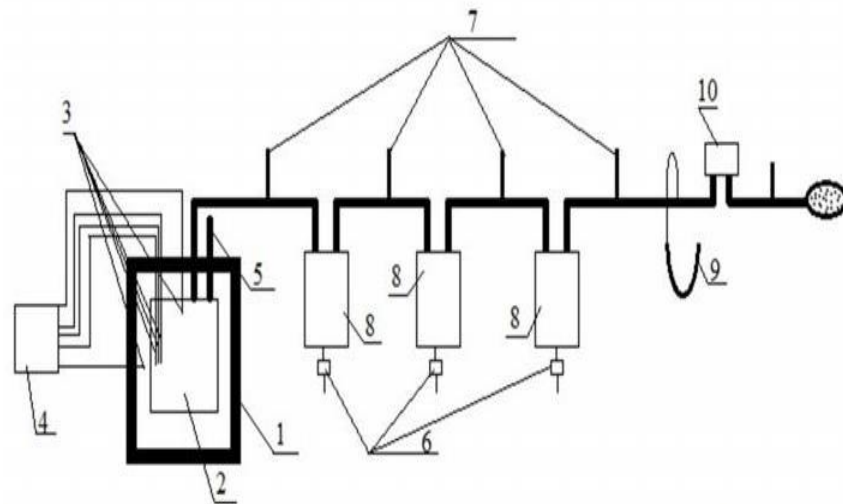


Gambar 2.2 Reaktor tipe *rotary kiln* (Chen dkk., 2014).

Reaktor ini banyak digunakan dalam pirolisis atau torefaksi dengan tipe reaktor konvensional, yaitu berlangsung di bawah HR lambat yang signifikan. Sehingga menghasilkan produk dari bagian *char* cair dan gas. Seperti terlihat pada Gambar 2.2 *rotary kiln* mempunyai efisiensi yang lebih tinggi dari pada *fixed bed*. Putaran yang lambat dari *kiln* memungkinkan pencampuran yang baik dari material di dalam reaktor.

Heating rate yang terjadi didalam reaktor *rotary kiln* tidak lebih tinggi dari $100^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dan *residence time* hingga 1 jam, hal ini dikarenakan selama proses hanya dinding luar yang mengangkut panas dari luar untuk partikel. Permukaan dinding yang kecil mendistribusikan ke unit bahan baku dan ukuran kasar dari partikel hasil dalam *heating rate* yang rendah (Chen dkk., 2014).

2.3.3 Reaktor Tipe *Fixed Bed*



Gambar 2.3 Reaktor tipe *fixed bed* (Chen dkk., 2014).

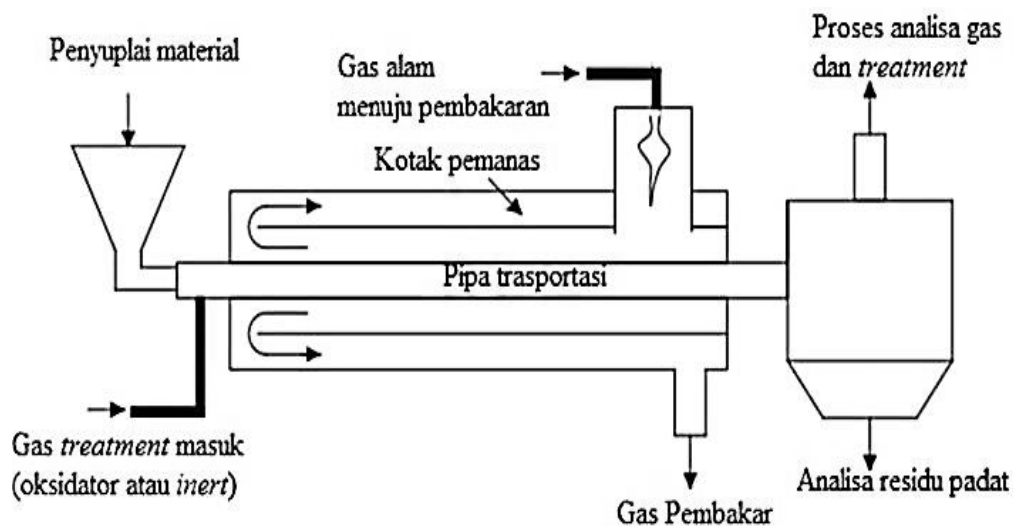
Reaktor ini merupakan reaktor paling sederhana yang digunakan pada proses torefaksi / pirolisis seperti terlihat pada Gambar 2.3. Reaktor *fixed bed* sering digunakan untuk mengidentifikasi parameter yang mempengaruhi produk pirolisis, sehingga menyebabkan reaktor ini jarang digunakan dalam skala besar. Reaktor ini mempunyai karakteristik *heating rate* yang rendah sehingga koefisien perpindahan panas menjadi rendah.

Reaktor akan dipanaskan setelah material berada dalam *feed*, dalam satu kali proses reaktor ini hanya dapat menampung 600 gram dengan waktu tinggal sekitar 55 – 180 menit tergantung temperatur proses. Oleh karena itu ketika massa sampel yang diuji lebih besar dengan suhu yang tidak seragam dalam sampel. Sehingga bahan baku yang

terdekomposisi pada temperatur berbeda dapat terjadi secara bersamaan (Chen dkk., 2014).

2.3.4 Reaktor Tipe *Tubular*

Reaktor jenis *tubular* merupakan jenis reaktor dengan bentuk tabung berdinding tetap yang menggunakan sistem panas eksternal sehingga material di dalam reaktor bergerak dengan sistem *screw conveyor*. Reaktor ini memiliki bentuk bujur sangkar dengan material yang digerakan dengan sistem *vibro-fluidiser*, atau tabung dengan *inner mixer*. Keuntungan dari reaktor ini yaitu; reaktor berjalan secara kontinu, reaktor bebas dari kebocoran, permukaan perpindahan panas yang lebih besar, dan sintetik gas yang mudah bereformasi, seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Reaktor torefaksi tipe *tubular* (Chen dkk., 2014).

Reaktor tipe ini mudah untuk dirancang jika koefisien perpindahan panasnya diketahui karena sederhana dan *safety*. Ciri khas dari reaktor *tubular* adalah *screw conveyor reaktor* bergerak memutar yang dilakukan secara kontinu. Sampel akan mengalami pembakaran tanpa adanya oksigen di dalamnya, dengan operasional pemanasan tidak langsung yang dilakukan melalui media perantara yaitu pemanasan oli

dan juga memiliki biaya konstruksi yang rendah. *Desain* reaktor ini memiliki kecepatan sekrup bervariasi dari 0,5 – 25 rpm. Sehingga *residence time* reaktor dapat diubah. Reaktor ini berguna untuk sistem termal yang baik dan *catalytic cracking* dari limbah plastik yaitu pada skala kecil dan menengah, reaktor *tubular* bisa kompetitif. Sehingga pengoperasian suhu pada reaktor tergantung pada pilihan produk (Chen dkk., 2014).

BAB III

METODELOGI

3.1 Tempat dan Waktu

Tempat dan waktu pelaksanaan proyek akhir yang dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut:

3.1.1 Tempat Proyek Akhir

Tempat pelaksanaan atau pengerjaan proyek akhir ini adalah di Laboratorium Termodinamika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung dan TPST Universitas Lampung

3.1.2 Waktu Pelaksanaan Proyek Akhir

Pelaksanaan proyek akhir ini dimulai sejak bulan Desember 2021 sampai dengan bulan Februari 2022.

3.2 Bagian–Bagian Utama Alat Torefaksi Kontinu Tipe *Tubular*

Bagian-bagian utama alat torefaksi kontinu tipe *tubular* adalah sebagai berikut:

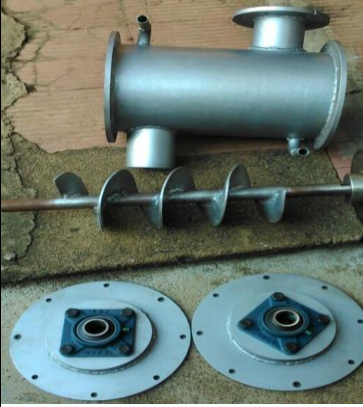




Gambar 3.1 Reaktor torefaksi kontinu tipe *tubular* dengan pemanas selimut oli.

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.1 reaktor torefaksi kontinu tipe *tubular* dengan pemanas selimut oli memiliki bagian-bagian utama yaitu, *feeding hooper*, *airlock rotary valve*, tabung reaktor, *screw* reaktor, *cooling char*, motor penggerak dan *reducer* serta kerangka reaktor. Pada bagian utama ini memiliki fungsi yang menjadi peran utama di dalam membuat alat torefaksi kontinu tipe *tubular* ini. Mengenai bagian dan fungsi utama dari reaktor torefaksi kontinu tipe *tubular* dengan pemanas selimut oli pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Bagian dan fungsi utama dari reaktor torefaksi kontinu tipe *tubular* dengan pemanas selimut oli

No	Bagian – bagian alat utama torefaksi	Keterangan
1.	<p><i>Air lock rotary valve</i></p> 	<p><i>Air lock rotary valve</i> berfungsi sebagai sistem pengunci udara sehingga oksigen tidak masuk kedalam ruang reaktor dan sebagai tempat awal masuk sampel.</p>
	<p><i>Feeding hopper</i></p> 	<p><i>Feeding hopper</i> berfungsi sebagai tempat awal masuknya bahan baku yang akan diproses, sebelum masuk kedalam reaktor.</p>
2.	<p>Tabung reaktor dan <i>screw</i></p> 	<p>Tabung dan <i>screw</i> reaktor merupakan komponen utama reaktor torefaksi kontniu tipe <i>tubular</i> yang menjadi tempat berlangsungnya proses torefaksi dengan jangka waktu tinggal yang digunakan selama proses torefaksi berlangsung yaitu selama 30menit dengan menggunakan kecepatan putar 0,5 rpm.</p> <p><i>Screw</i> reaktor terbuat dari baja pejal untuk poros dan pelat baja untuk ulir <i>screw</i> berfungsi untuk</p>

No	Bagian – bagian alat utama torefaksi	Keterangan
		transfer material. Alat ini bekerja dengan berputar dalam suatu saluran berbentuk U(<i>through</i>) tanpa bersentuhan, sehingga ulir <i>screw (helical fin)</i> mendorong material ke <i>through</i> .
3.	<p><i>Cooling Char</i></p> 	<p><i>Cooling Char</i> merupakan media akhir sebelum sample dikeluarkan, <i>cooling char</i> berfungsi sebagai tempat pendinginan atau penurunan suhu sampel dan juga untuk mendorong material panas hasil proses torefaksi keluar melalui lubang <i>exhaust</i></p> <p><i>Cooling char</i> terdiri dari tabung dan <i>screw</i> yang terbuat dari baja <i>seamless</i> dengan ukuran diameter dan panjang tabung 152,40 dan 370 mm. <i>Screw conveyor</i> pada <i>cooling char</i> berfungsi untuk mendorong material panas hasil proses torefaksi keluar melalui lubang <i>exhaust</i>.</p>
4.	<p>Motor Penggerak dan <i>reducer</i></p> 	<p>Motor penggerak adalah teknologi yang banyak digunakan sebagai media yang dapat mengubah tegangan konstan dari satu daya listrik AC menjadi tegangan yang dapat difariasikan untuk mengontrol torsi motor dan kecepatan motor yang ideal dan juga untuk menggerakkan beban peralatan secara mekanis.</p> <p>Motor Penggerak dan <i>reducer</i> pada reaktor kontinu merupakan media satu kesatuan yang berfungsi sebagai alat penggerak yang saling berhubungan untuk memutar poros yang dihubungkan langsung dengan beban.</p>

No	Bagian – bagian alat utama torefaksi	Keterangan
5.	Kerangka reaktor 	Kerangka reaktor berfungsi sebagaiudukan untuk menopang tabung reaktor dan sebagai tempat dari komponen lain seperti <i>electromotor, gear box and pully</i> .

3.3 Spesifikasi Reaktor Kontinu Tipe *Tubular*

Reaktor kontinu tipe *tubular* dengan sistem pemanas *oil jacket*. Dibangun dengan spesifikasi bahan-bahan sebagaimana tertera pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Spesifikasi reaktor torefaksi kontinu tipe *tubular*

Spesifikasi Reaktor	Keterangan
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reaktor 	
Diameter Screw	: 195 mm
Diameter tabung dalam :	: 203,2 mm
Diameter tabung luar	: 254,0 mm
Panjang reaktor	: 1600 mm
Tinggi reaktor	: 1700 mm
Jarak Pitch	: 100 mm
Diameter poros	: 50 mm
Kecepatan Putar	: 0,5 rpm
Kapasitas maksimum	: 5 kg/jam

Spesifikasi Reaktor	Keterangan
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistem Penggerak 	
Electromotor	: 2 unit @ 2 dan 0,5 Hp
Ratio gear Reducer	: 2 unit @ 1 : 60
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Medium Pemanas 	
Jenis medium pemanas	: <i>Heat Trasfer Oil CafloTMAF</i>
Merk medium pemanas	: <i>Petro Canada</i>
Temperatur Maksimum	: 375 °C
Tekanan kerja	: 1 atm
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistem Pembakaran 	
Ruang Bakar	: <i>Horizontal Burner</i>
Bahan Bakar	: <i>Liquified Petroleum Gas (LPG)</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistem Kontrol Temperatur 	
Sensor temperatur	: <i>Thermocouple Tipe K</i>

3.4 Alur Proses Modifikasi Alat Torefaksi Kontinu

Alur proses pengerjaan laporan tugas akhir tentang modifikasi alat torefaksi kontinu tipe *tubular* adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi masalah yang sering terjadi pada bagian - bagian reaktor yang sering mengalami kendala.
2. Melakukan studi pustaka yaitu dengan mempelajari tentang alat torefaksi melalui media berupa buku referensi, jurnal dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dan teori lainnya yang berkaitan dengan bahan tugas akhir ini.

3. Perencanaan dilakukan dengan mengukur bagian – bagian yang akan dimodifikasi dan reparasi.
4. Memodifikasi dua bagian dari reaktor *tubular* yaitu pada bagian *feeding hopper* dan *cooling char*, serta sedikit reparasi pada bagian lainnya.
5. Melakukan *running test* alat setelah modifikasi.
6. Melakukan pengambilan data yang dilakukan pada saat proses *running test* berlangsung dengan cara memastikan tiap bagian yang telah dimodifikasi dan reparasi tidak mengalami kendala yang sama sebelum modifikasi.
7. Penyusunan laporan tugas akhir.

BAB V PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan dari hasil modifikasi yang telah dilakukan pada alat torefaksi kontinu tipe *tubular* dengan, dapat diambil simpulan:

1. Modifikasi pada dua bagian yaitu *feeding hopper* dan *cooling char*. *Feeding hopper* terbuat dari bahan plat eisser dengan tebal 2 mm untuk Beberapa reparasi pada bagian *burner* yaitu *ball valve*, regulator tekanan tinggi dan gas *nozzle* serta pergantian termokopel dan pengecatan ulang reaktor seperti pada tabel berikut:

Tabel 5.1 Spesifikasi alat torefaksi setelah modifikasi

Spesifikasi setelah modifikasi	Keterangan
• <i>Feeding hopper</i>	
Jenis plat eisser	: tebal 2 mm
panjang <i>feeding hopper</i>	: 56.5cm
lebar	: 51 cm
jari-jari	: 8.75 cm
tebal lingkaran plat	: 1 cm
lebar lingkaran	: 7.62 cm
<i>Cooling char</i>	
Panjang batang pendorong	: 70 cm
Diameter setengah lingkara pendorong	:15 cm

2. Setelah dilakukannya modifikasi alat torefaksi mampu memproduksi dan mengolah sampah dengan waktu yang lebih efisien. Dibandingkan sebelum adanya modifikasi dan reparasi yaitu dapat diketahui pada gambar grafik 4.14, *running test* alat dihasilkan temperatur untuk pemanasan awal mulai dari temperatur ruang sampai temperatur 300° selama 95 menit dan lama penstabilan temperatur 15 menit serta waktu tinggal sampel sampah di dalam reaktor selama 35 menit dengan pendinginan di *cooling char* selama 20 menit sehingga dapat dikatakan proses *running test berjalan sempurna*.

5.2 Saran

Saran-saran yang diberikan untuk orientasi ke depan ialah sebagai berikut:

1. Modifikasi pertama yaitu perubahan pada bagian *feeding hopper* adanya tambahan alat yang dapat lebih memaksimalkan pengolahan sampel secara otomatis dengan memperhitungkan jumlah masuknya sampel dengan jumlah *screw* di dalam reaktor.
2. Modifikasi lebih lanjut pada bagian *cooling char* yaitu dengan penambahan pembatas antara dinding reaktor yang menuju pada *cooling char* dengan *cooling char* agar tidak ada sampel yang bercampur dengan tar saat berada di dalam *cooling char*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrul, T. Hardianto, A. Suwono, dan A.D. Pasek. 2010. *Upgrading of Municipal Solid Waste as Solid Fuel to Subituminus Coal Grade by Torrefaction Process, Proceeding of Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bali, February 9- 10, 2010, ISBN: 978-602- 96269-02.
- Amrul. 2014. Pemanfaatan Sampah Menjadi Bahan Bakar Padat Setara Batubara Melalui Proses Torefaksi. Disertasi Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Basu, P.2010. *Biomassa Gasification And Pyrolysis Practical Design And Theory*. Buku Academic Press Elsevier. Kidlington. 364 hml
- Bergman, P.C.A., (2005), Combined Torrefaction and Pelletisation, ECN Report, ECN-C-05-073.
- Chen, Dezhen., Lijie, Yin., Huan, Wang., Pinjing, He. 2014. *Pyrolysis Technologies for Municipal Solid Waste: A Review*. Waste Management.
- Faris Muhammad 2017. Perancangan dan Simulasi Termal Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe *Tubular* Untuk Produksi Bahan Bakar Padat Dari Sampah Kota. Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Nasution, Z.A., Limbong, H.P. 2017. Pembuatan Arang Cangkang Kelapa Sawit Dengan Proses Torefaksi. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*. 12(1):14-20.
- Rubiyanti, T., Hidayat, W., Febryano, I. G., and Bakri, S. 2019. Karakteristik Pelet Kayu Karet (*Havea brasiliensis*) Hasil Torefaksi dengan Reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB). *Jurnal Sylva Lestari* 7(3): 321–331. DOI: 10.23960/jsl37321-331

- Sulistio, Y., Febryano, I.G., Yoo, J., Kim, S., Lee, S., Hasanudin, U., Hidayat, W. 2020. Pengaruh Torefaksi Dengan Reaktor *Counter-Flow Multi Baffle (COMB)* dan *Electric Furnace* Terhadap Pelet Kayu Jabon (*Anthocephalus Cadamba*). *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1):65-76.
- Susanty, W., Helawani, Z., Zulfanyansha. 2016. Torefaksi Pelepah Sawit: Pengaruh Kondisi Proses Terhadap Nilai Kalor Torefaksi. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*. 3(1): 1-6
- Syamsiro, M. 2016. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Padat Biomassa Dengan Proses Torefaksi Densifikasi Dan Torefaksi. *Jurnal Mekanik dan Sistem Termal*.