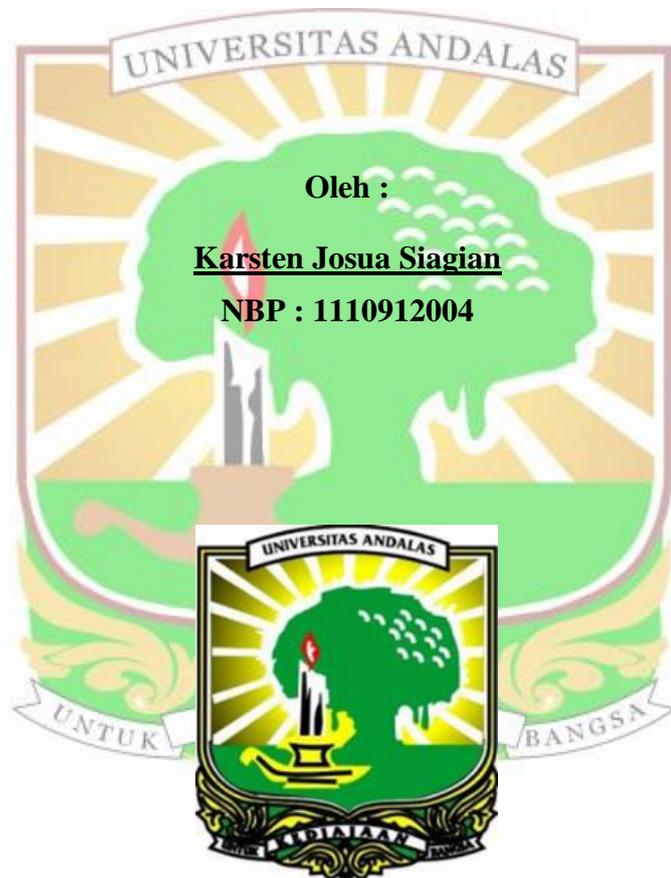


TUGAS AKHIR
BIDANG KONVERSI ENERGI

ELIMINASI KANDUNGAN TAR PADA GASIFIKASI
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Tahap Sarjana



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG, 2016



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Saya mahasiswa Universitas Andalas yang bertanda tangan di bawah ini:

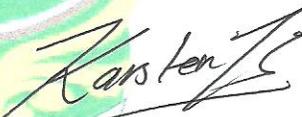
Nama lengkap : Karsten Josua Siagian
No. BP : 110912004
Program Studi : S1
Fakultas : Teknik
Jenis Tugas Akhir : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Andalas hak atas publikasi *online* Tugas Akhir saya yang berjudul:

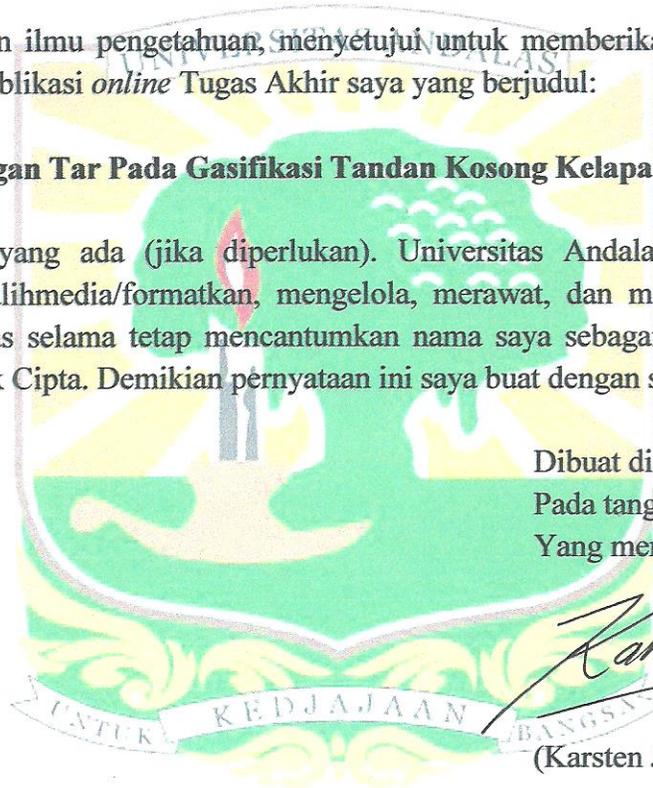
Eliminasi Kandungan Tar Pada Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Universitas Andalas juga berhak untuk menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola, merawat, dan mempublikasikan karya saya tersebut di atas selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Padang
Pada tanggal 1 Mei 2016
Yang menyatakan,



(Karsten Josua Siagian)



LEMBAR PENGESAHAN

**ELIMINASI KANDUNGAN TAR PADA GASIFIKASI
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

Oleh :

Karsten Josua Siagian

NBP : 1110912004

Disetujui

Pembimbing



Dr. Adjar Pratoto

NIP: 19600908 198603 1 002



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS ANDALAS
JURUSAN TEKNIK MESIN
Kampus Limau Manih, Padang 25163
Telp. (0751) 72856 Fax. (0751) 72566

PENETAPAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diberikan kepada :

Nama : Karsten Josua Siagian
Nomor BP : 1110912004
Judul : Eliminasi Kandungan Tar Pada Gasifikasi Tandan
Kosong Kelapa Sawit
Dosen Pembimbing : Dr. Adjar Pratoto
Jangka waktu Penyelesaian : 14 bulan

Uraian Tugas Akhir :

1. Studi literatur
2. Perancangan dan pembuatan alat uji
3. Penyiapan sampel uji tandan kosong kelapa sawit
4. Pengujian gasifikasi
5. Uji kandungan tar hasil gasifikasi
6. Pengolahan data
7. Penulisan laporan

Padang, Maret 2016

Pembimbing,

Dr. Adjar Pratoto

NIP. 19600908 198603 1 002

Mahasiswa Ybs,

Karsten Josua Siagian

NBP. 1110912004

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Allah Bapa, yang mana telah memberikan kuasa roh kudusnya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir berjudul **“Eliminasi Kandungan Tar pada Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit”**. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan tahap sarjana jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Andalas. Dengan selesainya penulisan laporan tugas akhir ini penulis berharap tulisan ini dapat menambah ilmu dan wawasan penulis khususnya.

Dalam penyelesaian laporan ini penulis telah melibatkan banyak pihak untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, adik-kakak dan keluarga yang dengan kasih dan dorongan semangat telah memberikan semangat untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Adjar Pratoto, sebagai pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan motivasi sampai tugas akhir terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Dr. H. Is Prima Nanda sebagai ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Gunawarman dan Benny Dwika Leonanda ST. MT, sebagai penguji seminar proposal dan seminar hasil tugas akhir yang meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan bimbingan dalam menyelesaikan tugas akhir.
5. Teman-teman mahasiswa jurusan Teknik Mesin, jurusan Teknologi Pertanian, dan jurusan Kimia Universitas Andalas.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang dapat membangun. Akhir kata, semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

Padang, April 2016

Penulis

ABSTRAK

Limbah dari industri pengolahan kelapa sawit berupa tandan kosong dapat dimanfaatkan menjadi energi alternatif yang ramah lingkungan. Salah satu cara yang digunakan untuk mendapatkan energi alternatif dari tandan kosong kelapa sawit yaitu dengan proses gasifikasi. Energi yang dihasilkan dari proses gasifikasi berupa gas sintesis (*syn-gas*). Namun, gas sintesis yang dihasilkan dalam proses gasifikasi masih belum dapat digunakan pada mesin pembakaran internal karena terdapat zat pengotor seperti tar. Tar merupakan resin yang termodifikasi dan terdiri dari berbagai macam senyawa kompleks. Tar ini menyebabkan *fouling* dan *scale* pada saluran mesin sehingga mesin tidak bekerja optimal dan rusak. Telah banyak penelitian yang dilakukan oleh para peneliti untuk mengurangi kandungan tar tersebut, tapi penulis tidak menemukan pengaruh penggunaan katalis dolomit dan temperatur gasifikasi terhadap pengurangan kandungan tar. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan eliminasi kandungan tar pada gasifikasi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan tujuan mengetahui pengaruh temperatur gasifikasi dan katalis dolomit terhadap pengurangan kandungan tar hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan pengetahuan tentang alternatif cara yang digunakan untuk mengurangi kandungan tar hasil gasifikasi TKKS.

Penelitian ini dimulai dengan mempelajari literatur, bimbingan dosen agar pengujian berjalan dengan baik. Setelah itu, dilakukan perancangan alat gasifikasi, rancangan pengujian dan persiapan sampel uji. Dalam rancangan pengujian, terdapat dua parameter yang divariasikan yaitu sampel uji dan temperatur gasifier/reaktor. Pada sampel uji ada 2 variasi, dimana yang pertama 10gram TKKS tanpa menambahkan katalis dan yang kedua 10gram TKKS ditambahkan dengan 10gram katalis. Variasi sampel uji ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh katalis dolomit terhadap pengurangan kandungan tar. Pada pengujian dengan sampel tanpa katalis dan dengan katalis, temperatur reaktornya di variasikan pada setiap pengujiannya 400°C, 600°C, 800°C. Pengujian dilakukan dengan memasukkan sampel kedalam gasifier yang telah dikontrol temperaturnya sesuai rancangan pengujian. Setelah itu, gas sintesis hasil gasifikasi dari reaktor mengalir ke dalam sistem pendingin. Dalam sistem pendingin terdapat solvent yang digunakan untuk merangkap/melarutkan tar sehingga tar yang terbawa bersama gas sintesis akan terkondensasi dan larut dalam solvent menjadi kondensat.

Secara visual, kondensat hasil gasifikasi dengan menggunakan katalis lebih jernih dibandingkan kondensat tanpa katalis yang berwarna lebih hitam dan kusam diakibatkan karena banyak mengandung fraksi berat seperti senyawa alkali, tar, dll. Dari pengujian komposisi kandungan dengan menggunakan GC-MS terlihat bahwa penggunaan katalis dolomit dapat mengurangi kandungan tar sampai 11.44%. Temperatur gasifikasi mempengaruhi jenis senyawa tar yang terkandung dalam hasil gasifikasi dan kenaikan temperatur dapat mengurangi kandungan tar sampai 0% pada kondensat hasil gasifikasi TKKS.

Keywords: Gasifikasi, Katalis, Tandan kosong kelapa sawit, Tar

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

PENETAPAN TUGAS AKHIR

ABSTRAK i

KATA PENGANTAR..... ii

DAFTAR ISIiii

DAFTAR GAMBAR.....v

DAFTAR TABELvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 La

1.1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Tu

1.2.1 Tujuan..... 2

1.3 M

1.3.1 Manfaat..... 2

1.4 Ba

1.4.1 Batasan Masalah 2

1.5 Si

1.5.1 Sistematika Penulisan..... 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bi

2.1.1 Biomassa..... 4

2.1.1.1 Karakteristik..... Ke

2.1.1.1.1 Lapa Sawit..... 5

2.2 Ga

2.2.1 Gasifikasi..... 6

2.2.1.1 Jenis *Gasifier* 6

2.2.2 Pembersihan Gas Hasil Gasifikasi 8

2.3	Se
nyawa tar	9
2.3.1 Eliminasi Tar	11
2.3.2 Analisa Tar	14
2.3.2.1 Protokol Tar Eropa	14
2.3.2.2 Metode Lain	16

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum	17
3.2 Alat Gasifikasi	18
3.2.1 Perancangan dan Pembuatan Alat Gasifikasi	18
3.2.2 Skema Alat Uji	22
3.2.3 Alat Ukur dan Kontrol	24
3.3 Metode Pengujian	26
3.3.1 Rancangan Pengujian Gasifikasi TKKS	26
3.3.2 Prosedur Sebelum Pengujian	27
3.3.2.1 Proses Penyiapan Sampel Uji	27
3.3.2.2 Proses Persiapan	28
3.3.3 Prosedur Pengujian	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pe
rubahan Massa dari Sampel TKKS	30
4.2	Ka
rakteristik Fisik Tar	33
4.3	K
omposisi Kandungan Tar	33

BAB V PENUTUP

5.1	Ke
simpulan	41
5.2	Sa
ran	41

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



Gambar 1.1	Tandan kosong kel	1
Gambar 2.1	Teknologi gasifikasi	6
Gambar 2.2	Rentang penerapan <i>gasifier</i> biomassa	7
Gambar 2.3	Skema dan tahapan pada <i>updraft gasifier</i>	7
Gambar 2.4	Skema pembentukan kandungan tar diusulkan Elliott	10
Gambar 2.5	Grafik tar primer, sekunder, dan produk tersier terhadap temperatur dengan <i>residence time</i> 0.3 detik.....	12
Gambar 2.6	Pengumpulan kelembaban dan tar	15
Gambar 3.1	Diagram alir pengujian	18
Gambar 3.2	<i>Watlow Ceramic Fiber Heating</i> model JS405a185	19
Gambar 3.3	<i>Dual element Heating Tape</i>	19
Gambar 3.4	Reaktor.....	20
Gambar 3.5	<i>Cover Heater</i>	20
Gambar 3.6	Sistem kondensasi	21
Gambar 3.7	Pompa	21
Gambar 3.8	Cawan.....	21

Gambar 3.9 Methanol.....	22
Gambar 3.10 Tabung <i>Filtering flask</i> (kiri), tabung <i>Erlenmeyer</i> (tengah), tabung <i>vial</i> (kanan)	22
Gambar 3.11 Skema alat uji.....	23
Gambar 3.12 Sirkuit sistem kontrol temperatur.....	24
Gambar 3.13 Timbangan digital	25
Gambar 3.14 <i>Stopwatch</i>	25
Gambar 3.15 Tabung <i>Volumetric</i>	25
Gambar 3.16 Serabut TKKS dari pabrik	27
Gambar 3.17 Serabut TKKS 0.5mm	27
Gambar 3.18 Sampel TKKS. Tanpa katalis (kiri), dengan katalis (kanan)	28
Gambar 4.1 Perubahan massa terhadap waktu selama proses gasifikasi tanpa menggunakan katalis	30
Gambar 4.2 Perubahan massa terhadap waktu selama proses gasifikasi dengan menggunakan katalis.....	30
Gambar 4.3 Perubahan massa terhadap waktu pada temperatur 400°C.....	31
Gambar 4.4 Perubahan massa terhadap waktu pada temperatur 600°C.....	32
Gambar 4.5 Perubahan massa terhadap waktu pada temperatur 800°C.....	32
Gambar 4.6 Kondensat hasil gasifikasi tanpa menggunakan katalis.....	33
Gambar 4.7 Kondensat hasil gasifikasi dengan menggunakan katalis.....	33
Gambar 4.8 Kromatogram kondensat hasil gasifikasi tanpa menggunakan katalis pada temperatur 400°C	34
Gambar 4.9 Kromatogram kondensat hasil gasifikasi dengan menggunakan katalis pada temperatur 400°C	34
Gambar 4.10 Kromatogram kondensat hasil gasifikasi tanpa menggunakan katalis pada temperatur 600°C	36
Gambar 4.11 Kromatogram kondensat hasil gasifikasi dengan menggunakan katalis pada temperatur 600°C	36
Gambar 4.12 Kromatogram kondensat hasil gasifikasi tanpa menggunakan katalis pada temperatur 800°C	38
Gambar 4.13 Kromatogram kondensat hasil gasifikasi dengan menggunakan katalis pada temperatur 800°C	38

Gambar 4.14 Perbandingan persentase konsentrasi kandungan tar pada kondensat hasil gasifikasi pada penelitian ini	39
--	----

Gambar 4.15 Perbandingan persentase konsentrasi kandungan tar pada kondensat hasil gasifikasi yang dilakukan oleh Ade Rio.....	39
---	----



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan <i>proximate</i> kelapa sawit.....	5
Tabel 2.2 Kandungan <i>ultimate</i> kelapa sawit.....	5
Tabel 2.3 Batas kandungan pengotor yang dibutuhkan untuk mesin pembakaran internal.....	9
Tabel 2.4 Senyawa tar berdasarkan kelasnya	10
Tabel 2.5 Komponen kimia dari tar biomassa	10
Tabel 2.6 Perbandingan partikulat dan kandungan tar untuk beberapa rancangan reaktor gasifikasi biomassa	13
Tabel 3.1 Rancangan Pengujian Eliminasi Tar.....	27
Tabel 4.1 Komposisi kandungan tar pada temperatur 400°C	35
Tabel 4.2 Komposisi kandungan tar pada temperatur 600°C	37

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit merupakan salah satu contoh sumber energi terbarukan yang berpotensi untuk dimanfaatkan. Indonesia salah satu negara penghasil kelapa sawit terbesar didunia. Pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit menjadi minyak sawit (*Crude Palm Oil*), menghasilkan limbah berbentuk padat (tandan kosong, serat, cangkang), cair dan gas.



Gambar 1.1 Tandan kosong kelapa sawit

Tandan kosong kelapa sawit ini dikembangkan menjadi bahan bakar biomassa. Biomassa rata-rata hanya memiliki 6 wt% hidrogen ^[1], pada prinsipnya tidak terlalu menarik untuk produksi hidrogen. Namun, penelitian biomassa ini terus dikembangkan dengan berbagai metode dan proses gasifikasi biomassa menjadi teknologi terapan yang banyak diminati karena dianggap ekonomis dan kompetitif dengan metode pembentukan kembali gas alam konvensional. Tetapi, kualitas hasil dari proses gasifikasi masih belum maksimal karena mengandung zat pengotor terutama tar. Dalam aplikasinya tar ini dapat menyebabkan *fouling* (pengendapan tar) dan pengurangan diameter yang akan menyumbat saluran pada pipa sehingga akan merusak dan menurunkan performa dari mesin.

Salah satu teknik untuk mengurangi kandungan tar pada hasil gasifikasi adalah dengan menggunakan katalis. Sebagian besar penelitian tentang pengaruh katalisator terhadap hasil gasifikasi telah dilakukan. Seperti pada penelitian Min-Hwan Cho^[2] yang melakukan pengurangan produksi tar pada gasifikasi sampah plastik dalam dua tahap *gasifier* dengan menggunakan katalis *olivine* dan karbon aktif. Katalis ini dapat mengurangi produksi tar, namun katalis tersebut tidak tersedia bebas dipasaran sehingga sulit dalam pengadaan katalisnya. Majesti^[3] menggunakan katalis dolomit pada penelitian gasifikasi TKKS (tandan kosong kelapa sawit), pada hasil gasifikasinya tidak menampilkan pengurangan tar. Ade Rio Yolanda^[4] menggunakan katalis alkali NaOH. Katalis ini mampu mengurangi tar, namun pada temperatur 500°C tar pada kondensat hasil gasifikasi masih ditemukan.

Berdasarkan penelusuran pustaka yang dilakukan, pada penelitian sebelumnya tidak diketahui pengaruh temperatur terhadap pengurangan kandungan tar, karena pada penelitian sebelumnya digunakan temperatur progresif. Penggunaan katalis dolomit juga dianggap tidak menampilkan pengurangan tar. Maka dilakukan penelitian kembali terhadap pengurangan tar untuk mendapatkan efisiensi hasil gasifikasi yang maksimal pada tandan kosong kelapa sawit.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh temperatur gasifikasi dan katalis dolomit terhadap pengurangan kandungan tar hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit.

1.3 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan informasi dan pengetahuan tentang alternatif cara yang digunakan untuk mengurangi kandungan tar hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya memfokuskan pada hasil dari gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dan penggunaan katalis dolomit.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan tugas akhir ini disusun menjadi lima bab utama. Bab 1 berisi mengenai latar belakang, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan laporan. Berikutnya, Bab 2 dijelaskan mengenai biomassa, kelapa sawit di Indonesia, gasifikasi, teknologi eliminasi tar dan katalis. Selanjutnya, Bab 3 membahas tentang langkah-langkah yang penulis lakukan untuk mencapai tujuan serta penyelesaian dari penelitian ini. Bab 4 berisi hasil dan pembahasan, pemaparan, menganalisis data-data yang didapat dari hasil pengujian dan analisa laboratorium. Bab 5 berisi kesimpulan akhir penelitian dan saran yang direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa

Biomassa merupakan suatu bentuk energi diperoleh dari limbah, residu pertanian, dan kehutanan yang dapat didegradasi secara biologis. Biomassa dalam industri merupakan produksi energi yang merujuk pada bahan biologis yang hidup atau baru mati yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar atau untuk produksi industrial. Biomassa tidak mencakup material organik yang telah tertransformasi oleh proses geologis menjadi zat seperti batu bara atau minyak bumi.

Energi dari biomassa merupakan salah satu bagian dari siklus karbon. Energi biomassa yang terkandung pada tumbuhan diperoleh dari karbondioksida yang diserap dengan bantuan sinar matahari melalui proses fotosintesis menjadi energi kimia. Pada saat biomassa dibakar, energinya akan terlepas dalam bentuk panas. Karbon pada biomassa yang bereaksi dengan oksigen di udara membentuk karbondioksida, sedangkan karbon yang bereaksi dengan hidrogen akan membentuk rantai hidrokarbon (metana). Apabila dibakar sempurna, jumlah karbon yang dihasilkan akan sama dengan jumlah yang diserap tumbuhan dari udara saat tumbuh.

Secara umum, energi dari bahan baku biomassa dapat diperoleh dengan pembakaran langsung dan tidak langsung oleh proses termokimia^[5]. Metode pembakaran langsung melibatkan biomassa padat seperti arang, batu bara dan kayu. Sedangkan, metode pembakaran tidak langsung dengan mengkonversi biomassa padat menjadi cairan (dikenal dengan *bio-fuel*) atau gas (dikenal dengan *bio-gas*). Cairan (*biofuel*) atau gas (*biogas*) ini kemudian dibakar untuk menghasilkan panas yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Misal etanol dari tumbuhan (tebu, kentang, jagung) dapat digunakan sebagai bahan tambahan bensin sehingga menjadi *bio-fuel*.

Nilai kalor biomassa tidak jauh berbeda dengan batubara, sehingga energi biomassa dapat juga digunakan sebagai pembangkit energi listrik menggantikan

batubara. Energi biomassa lebih menjadi diunggulkan dari pada energi terbarukan lain karena proses konversi menjadi energi listrik memiliki nilai investasi yang lebih murah bila dibandingkan dengan jenis sumber energi terbarukan lainnya.

2.1.1 Kelapa sawit

Kelapa sawit memiliki kandungan *proximate* umpan umpan yang merupakan jumlah kandungan air, abu, karbon padat, nilai kalor dan *volatile matters* pada umpan. Selain itu biomassa juga memiliki kandungan *ultimate* umpan yang terdiri dari komponen karbon, belerang, nitrogen, hidrogen, dan oksigen.

Tabel 2.1 Kandungan *proximate* kelapa sawit ^[6]

Limbah Kelapa sawit	Analisis <i>proximate</i> (%)			
	Moisture content	Volatile matters	Fixed carbon	Ash
Tandan kosong	8.8	79.7	8.7	3
Serat	6.7	75.6	12.4	5.3
Cangkang	5.7	73.7	18.4	2.2

Tabel 2.2 Kandungan *ultimate* kelapa sawit ^[6]

Limbah Kelapa sawit	Komposisi (%)				
	C	H	O	S	N
Tandan kosong	48.8	7.3	40.2	0.7	0.2
Serat	50.2	7.1	36.3	0.6	0.42
Cangkang	53.8	7.2	36.3	0.5	0.6

Ada 3 jenis pengkonversian biomassa tandan kosong kelapa sawit yang dapat dilakukan, sehingga biomassa ini dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar. Yang pertama pengkonversian yang sangat sederhana adalah dengan pembakaran langsung, yaitu dengan dibakar langsung dengan atau tanpa pengeringan terlebih dahulu. Yang kedua adalah dengan teknologi konversi termokimiawi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar. Dan yang ketiga adalah pengkonversian biokimiawi yang merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba untuk menghasilkan bahan bakar.

2.2 Gasifikasi

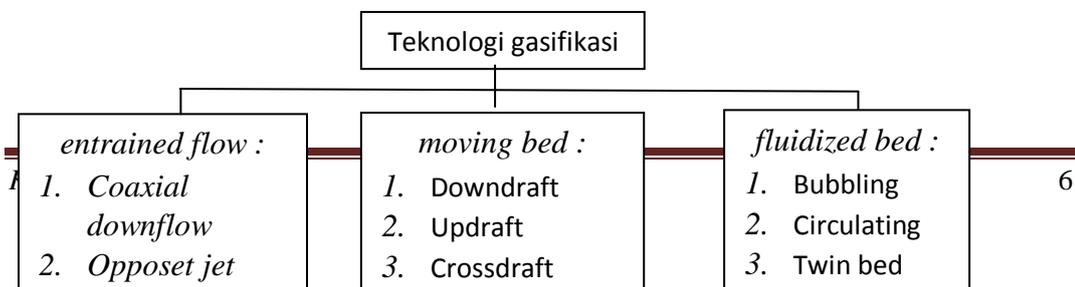
Gasifikasi merupakan suatu proses pembakaran bahan bakar padat dalam wadah *gasifier* menggunakan oksigen yang terbatas untuk menghasilkan bahan bakar gas (syn-gas). Jumlah oksigen gasifikasi yang digunakan sekitar 25% dari kebutuhan oksigen pembakaran sempurna^[1]. Apabila oksigen melebihi 25% maka efisiensi gasifikasi akan turun^[1]. Keunggulan menggunakan bahan bakar as yaitu lebih mudah dalam pengontrolan laju atau temperatur sehingga lebih aman dan nyaman digunakan sebagai energi panas maupun untuk pembangkit (diesel, turbin).

Dengan pemanasan dalam *gasifier*, bahan baku biomassa/batubara akan terurai menjadi gas hidrogen, metana, karbon dioksida, karbon monoksida, nitrogen, polutan, abu. Komponen syngas yang dimanfaatkan sebagai penghasil energi adalah hidrogen, metana dan karbon monoksida.

Selama proses gasifikasi reaksi kimia utama yang terjadi adalah endotermis (diperlukan panas dari luar selama proses berlangsung). Produk yang dihasilkan pada gasifikasi dapat dikategorikan menjadi 3 bagian utama, yaitu padatan, cairan (termasuk gas yang dikondensasikan) dan gas permanen. Pada umumnya udara dan uap digunakan sebagai media pada proses gasifikasi. Gasifikasi dengan pembakaran merupakan proses termokimia yang terkait erat, tetapi memiliki perbedaan mendasar. Dimana gasifikasi menyatukan energi menjadi satu ikatan kimia, sedangkan pembakaran hanya memecah ikatan kimia tersebut untuk melepaskan energi^[7]. Selain itu, Gas yang dihasilkan dari gasifikasi mempunyai nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan gas yang dihasilkan dari pembakaran pada umumnya^[7].

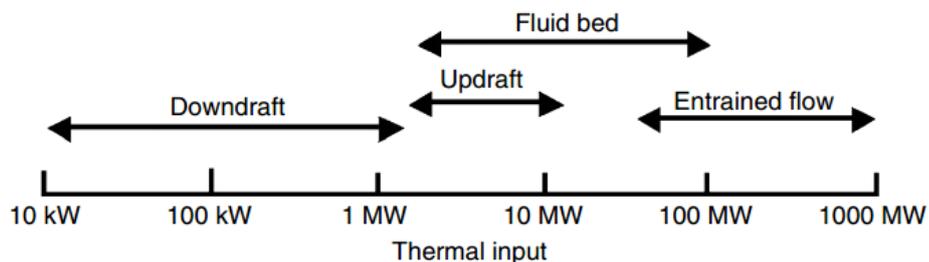
2.2.1 Jenis *gasifier*

Gasifier atau reaktor gasifikasi merupakan tempat proses gasifikasi berlangsung. Gas hasil proses gasifikasi yang keluar dari *gasifier* disebut gas produser. Bentuk dan model *gasifier* menentukan jumlah syngas dan tar yang dihasilkan, serta jenis tar yang terbentuk. Secara umum, ada 3 jenis utama *gasifier*, yaitu *fixed/moving bed*, *fluidized bed* dan *entrained flow*.

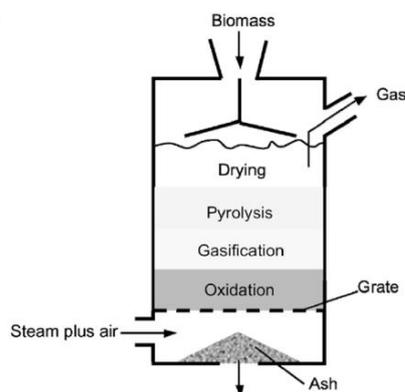


Gambar 2.1 teknologi gasifikasi ^[7]

Masing-masing jenis *gasifier* memiliki pengaplikasiannya sendiri yang sesuai dengan kapasitas yang dihasilkan. **Gambar 2.1** menunjukkan kapasitas aplikasi untuk berbagai jenis *gasifier* yang dikembangkan berdasarkan data dari Maniatis (2001) dan Knoef (2005).

**Gambar 2.2** Rentang penerapan *gasifier* biomassa ^[7]

Pada *gasifier updraft gasifier*, media gasifikasi (udara, oksigen atau uap) bergerak keatas, sementara itu bahan bakar diumpakan dari atas menuju atau bergerak ke bawah, dengan demikian gas dan padatan bergerak dalam arah yang berlawanan. Gas produk keluar dari bagian atas reaktor seperti yang diperlihatkan **Gambar 2.3**. Media gasifikasi memasuki reaktor melalui *grate* atau distributor, dimana media tersebut bertemu dengan tempat abu panas. Abu turun melalui *grate*, yang sering dibuat bergerak (berputar atau *reciprocating*), terutama pada unit besar untuk memfasilitasi pembuangan abu.

**Gambar 2.3** Skema dan tahapan pada *updraft gasifier* ^[7]

Reaksi pembakaran pada *updraft gasifier* ini terjadi dekat *grate*, kemudian diikuti reaksi reduksi (proses gasifikasi). Reaksi reduksi tersebut akan menghasilkan temperatur tinggi. Gas hasil reaksi (gas produser) bergerak ke bagian atas *gasifier* menembus unggun bahan bakar menuju daerah yang bertemperatur lebih rendah. Pada saat menembus unggun bahan bakar, gas produser akan kontak dengan bahan bakar yang turun sehingga terjadi proses pirolisis dan pertukaran panas antara gas dan bahan bakar. Panas *sensible* yang diberikan gas digunakan bahan bakar untuk pemanasan awal dan pengeringan bahan bakar. Proses pirolisis dan pengeringan tersebut terjadi pada bagian atas *gasifier*. *Updraft gasifier* mencapai efisiensi tertinggi ketika gas panas yang dihasilkan meninggalkan *gasifier* pada temperatur rendah.

Biomassa yang cocok untuk memakai *Updraft gasifier* yaitu biomassa yang jumlah abunya tinggi (hingga 25%), yang berkelembaban tinggi (hingga 60%), memiliki volatilitas tinggi. Produksi tar dalam *gasifier* ini sangat tinggi (30-150 g/Nm³) sehingga masih perlu treatment penghilangan tar^[7].

2.2.2 Pembersihan gas hasil gasifikasi

Sebelum gas hasil gasifikasi dapat digunakan pada mesin pembakaran internal, gas perlu didinginkan dan dibersihkan dari kotoran (debu, abu, tar dan asam kondensat), karena jika zat pengotor ini jumlahnya terlalu signifikan akan dapat merusak mesin dan kinerja mesin menjadi tidak maksimal.

Zat pengotor yang terdapat pada *syngas*, yaitu :

1. Partikulat

Bahan fase padat yang terikat dalam aliran gas sebagai produk mentah dari *gasifier*.

2. Komponen alkali

Pada bahan baku biomassa umumnya terdapat kandungan alkali, seperti kalium, karena kalium adalah unsur yang diperlukan bagi pertumbuhan tanaman.

3. Komponen yang mengandung nitrogen

Pada bahan baku biomassa kontaminan nitrogen terbesar yaitu ammonia (NH₃), ammonia dibentuk dari reaksi antara protein dengan komponen lain

yang mengandung nitrogen dalam biomassa, untuk mencegah pembentukan emisi N_{ox} .

4. Sulfur

Sulfur dalam bahan baku dapat dikonversi menjadi SO_x dan H_2S . Namun, pada bahan baku biomassa kadar sulfur cenderung sangat rendah. Pada kelapa sawit pun juga demikian, dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

5. Tar

Tar didefinisikan sebagai molekul organik yang memiliki berat molekul lebih besar dari benzene yaitu 78^[8].

Abu sisa (partikulat) dan tar dalam bahan bakar ini merupakan masalah yang sering dijumpai pada hasil gasifikasi. Bahan bakar dengan kadar abu lebih besar dari 5%-6% tidak dianjurkan untuk digunakan pada mesin. **Tabel 2.3** menunjukkan batas kandungan pengotor pada gas yang dibutuhkan untuk mesin pembakaran internal.

Tabel 2.3 Batas kandungan pengotor pada gas yang dibutuhkan untuk mesin pembakaran internal^[4].

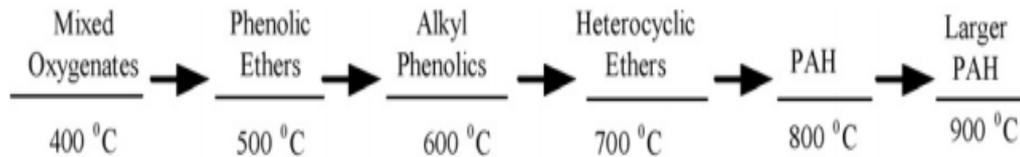
Parameter	Unit	IC Engine	Gas turbin
Partikel	mg/Nm ³	<50	<30
Ukuran partikel	Mm	<10	<5
Tar	mg/Nm ³	<100	N/A
Metal Alkali	mg/Nm ³	N/A	0.24

Untuk memenuhi batas kandungan polutan, polutan utama yang harus ditreatment yaitu partikulat dan tar. Karena partikulat dan tar banyak dihasilkan pada *raw syngas*, bila tidak dilakukan treatment maka akan dapat merusak engine.

2.3 Senyawa tar

Tar merupakan resin yang termodifikasi yang secara visual memiliki ciri-ciri berwarna hitam pekat dan kental. Pada dasarnya kandungan utama tar adalah *aromatic hydrocarbons*, *tar acid* dan *tar bases*. Tar merupakan bentuk resin yang

termodifikasi dan terdiri dari berbagai macam senyawa kompleks dari komponen organik sampai komponen ringan seperti *benzene*, *fenol* hingga *polynuclear aromatic hydrocarbon (PAH)*.



Gambar 2.4 Skema pembentukan kandungan tar diusulkan Elliott^[9]

Berdasarkan berat molekul senyawa tar, beberapa peneliti membagi komponen tar menjadi lima kelompok^[10], seperti diperlihatkan pada **Tabel 2.4**. Tar menyebabkan *fouling* dan *scale* setelah gas menjadi (lebih) jenuh. Hal ini menyebabkan pembentukan aerosol dan deposisi dalam instalasi, sehingga akan terjadi penyumbatan. Fenomena *fouling* tidak terjadi selama semua tar dalam fase gas. Oleh karena itu, diyakini bahwa masalah tar dasarnya tidak pada kuantitas tar, tetapi pada sifat dan komposisi tar.

Tabel 2.4 Senyawa tar berdasarkan kelasnya^[10].

No.	Nama kelas	Sifat	Senyawa terkandung
1.	GC- <i>undetectable</i>	sangat berat, tidak dapat dideteksi oleh GC	Ditentukan oleh <i>subtract</i> fraksi tar yang terdeteksi GC dari total gravimetric tar
2.	<i>Heterocyclic aromatics</i>	Tars mengandung atom hetero; mudah larut dalam air	<i>Pyridine, phenol, cresols, quinoline, isoquinoline, Dibenzophenol</i>
3.	<i>Light aromatic (1 ring)</i>	Hidrokarbon ringan dengan cincin tunggal; tidak bermasalah pada <i>condensability</i> dan kelarutan	<i>Toluene, ethylbenzene, xylenes, styrene</i>
4.	<i>Light PAH senyawa (2-3ring)</i>	Senyawa memiliki 2 dan 3 cincin; mengembun pada temperatur rendah meskipun pada konsentrasi sangat rendah	<i>Indene, naphthalene, methylnaphthalene, biphenyl, acenaphthalene, fluorene, phenanthrene, anthracene</i>
5.	<i>Heavy PAH senyawa (4-7 ring)</i>	Dengan cincin lebih dari 3, mengembun di temperature tinggi pada konsentrasi rendah	<i>Fluoranthene, pyrene, chrysene, perylene, coronene</i>

Tabel 2.5 Komponen kimia dari tar biomassa ^[10].

Flash pirolisis konvensional (450°C-500°C)	<i>Acids aldehydes, ketones, furans, alcohols complex oxygenates, phenols, guaiacols, syringols, complex phenols.</i>
Flash pirolisis temperature tinggi (600°C-650°C)	<i>Benzenes, phenols, catechols, naphthalenes, biphenyls, phenanthrenes, benzofurans, benzaldehydes.</i>
Gasifikasi uap konvensional (700°C-800°C)	<i>Naphthalenes, acenaphthylenes, fluorenes, phenanthrenes, benzaldehydes, phenols, Naphthofurans, benzantracenes.</i>
Gasifikasi uap temperature tinggi (900°C-1000°C)	<i>Naphthalene, acenaphthylene, phenanthrene, fluoranthene, pyrene, acephenanthrylene, Benzantracenes, benzopyrenes, 226 MW PAHs 276 MW PAHs</i>

Tar dapat diklasifikasikan menjadi 4 kelompok produk utama, yaitu *primary, secondary, alkyl tertiary, dan condensed tertiary* ^[11].

1. Tar primer (200°C-500°C)

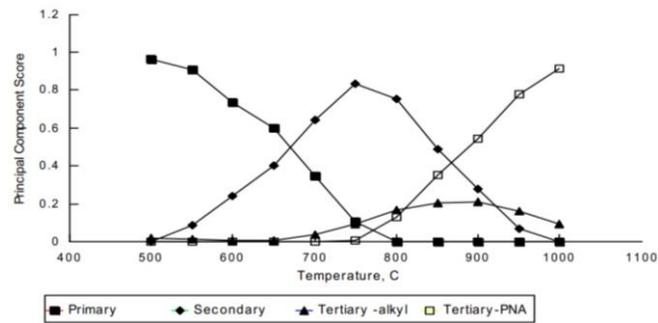
Tar primer diproduksi selama proses pirolisis primer. Tar ini terdiri dari *oxygenated*, organik primer, dan molekul terkondensasi. Produk utama berasal dari terurainya komponen-komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin dari biomassa. Jenis tar ini terbentuk pada *updraft gasifier* pada temperatur 200°C-500°C.

2. Tar sekunder (500°C-800°C)

Terproduksi saat temperatur meningkat hingga diatas 500°C. Tar sekunder adalah tar primer mulai membentuk gas yang lebih tidak terkondensasi dan molekul yang lebih berat.

3. Produk tar tersier (>750°C)

Produk tar tersier alkil termasuk turunan metal organik, seperti *methyl acenaphthyhline, methyl naphthalene, toluene*, dan indena ^[5]. Terkondensasinya organik tersier membentuk seri *Polynuclear Aromatic Hydrocarbon (PAH)* tanpa substituen (atom atau sekelompok atom organik diganti dalam rangkaian induk hidrokarbon). Seri ini mengandung benzena, naftalena, *acenaphthylene*, antrasen/fenantrena, dan *pyrene*. Produk ini mulai terbentuk pada temperatur diatas 750°C.



Gambar 2.5 Grafik variasi tar primer, sekunder, dan produk tersier terhadap temperatur dengan residence time 0.3 detik. ^[11]

2.3.1 Eliminasi tar

Tar terbentuk melalui dipolimerisasi selama tahap pirolisis pada proses gasifikasi. Tar pada *updraft gasifier* tidak mengalami proses pemecahan kembali karena langsung ikut terbawa keluar bersama gas melalui bagian atas *gasifier*. Tar tersebut akan masuk ke area dingin sehingga terkondensasi dan terbentuklah tar cair. Eliminasi atau pemisahan tar dari aliran gas ini sangat penting karena tar yang terkondensasi ini dapat menyebabkan permasalahan operasional.

Eliminasi tar dapat dilakukan dengan cara mengkonversi tar menjadi produk lain sebelum meninggalkan *gasifier*. Hal tersebut dilakukan dengan cara :

1. Memodifikasi kondisi operasi dari *gasifier*.
2. Menambahkan katalis.
3. Memodifikasi desain *gasifier*.

Pemilihan salah satu atau kombinasi yang tepat dari faktor tersebut dapat mengurangi jumlah tar dalam gas produk. *Reforming*, *thermal cracking*, dan *steam cracking* merupakan 3 reaksi utama yang dapat mengurangi jumlah tar. Hal ini mengubah tar menjadi susunan hidrokarbon yang lebih kecil dan ringan.

Eliminasi tar dengan penambahan katalis dapat mempercepat proses perengkahan dan penghancuran tar. Berbagai penelitian dan pengembangan telah dilaksanakan menggunakan berbagai katalis berbasis logam maupun non logam didalam *gasifier* ataupun pada *vessel* diluar *gasifier*.

Penelitian katalis yang dapat digunakan untuk merengkahkan atau menghancurkan tar berpusat pada penggunaan dolomit yang harganya murah. Dolomit terdiri dari kandungan 29wt% CaO, 20wt% MgO, 48wt% ^[4]. Tar

direngkahkan menjadi molekul yang lebih kecil di permukaan katalis. Konsep utama dari proses ini adalah penghancuran tar setelah tar terbentuk sehingga tidak menimbulkan masalah di sisi hilir. Proses katalis dapat dilakukan dengan menempatkan katalis tersebut didalam reaktor yang sama dengan bahan bakar, atau dapat juga dengan memisahkan ruang antara bahan bakar dengan katalis dengan menggunakan distributor pemisah.

Parameter- parameter yang mempengaruhi pembentukan dan konversi tar, yaitu sebagai berikut :

1. Temperatur

Kenaikan temperatur pengoperasian reaktor dapat mengurangi kuantitas dan mempengaruhi komposisi tar. Temperatur tinggi juga mengurangi kandungan ammonia dalam gas dan meningkatkan perubahan arang, tetapi memiliki efek negatif yaitu mengurangi nilai panas yang berguna dari gas produk.

2. Tekanan reaktor

Peningkatan tekanan reaktor dapat mengurangi jumlah tar, tetapi fraksi PAH meningkat ^[7].

3. Media gasifikasi

Media yang digunakan dalam gasifikasi yaitu udara, uap, karbondioksida dan campuran uap-oksigen. Secara umum, hasil tar dalam gasifikasi uap lebih besar dari gasifikasi uap-oksigen. Sedangkan gasifikasi media udara menghasilkan tar terendah. Hasil tar dalam suatu sistem tergantung pada jumlah media gasifikasi per-unit gasifikasi biomassa.

4. *Residence time*

Residence time memiliki efek nominal pada pengurangan tar dalam *fluidized-bed gasifier*. Tar dapat berkurang seiring dengan peningkatan *Residence time*.

Untuk berbagai sistem yang sensitif terhadap bentuk tar, sangat penting untuk mengurangi produksi tar yang terkandung dalam gas keluaran *gasifier*. Hal ini dapat dilakukan melalui pemilihan dan optimasi rancangan *gasifier* seperti yang diperlihatkan **Tabel 2.6**. Pemilihan jenis *gasifier* juga harus memperhatikan aplikasi penggunaan produk gas selanjutnya untuk mencegah permasalahan akumulasi tar.

Tabel 2.6 Perbandingan partikulat dan kandungan tar untuk beberapa rancangan reaktor gasifikasi biomassa ^[12]

Jenis <i>Gasifier</i>	Partikulat (g/Nm ³)			Tar (g/Nm ³)		
	Rendah	Tinggi	Rentang	Rendah	Tinggi	Rentang
Unggun tetap						
<i>Downdraft</i>	0.01	10	0.1-0.2	0.04	6	0.1-1.2
<i>Updraft</i>	0.1	3	0.1-1	1	150	20-100
Unggun bergerak						
<i>Fluidized bed</i>	1	100	2-20	<0.1	23	1-15
<i>Circulated Fluidized Bed</i>	8	100	10-35	<1	30	1-15

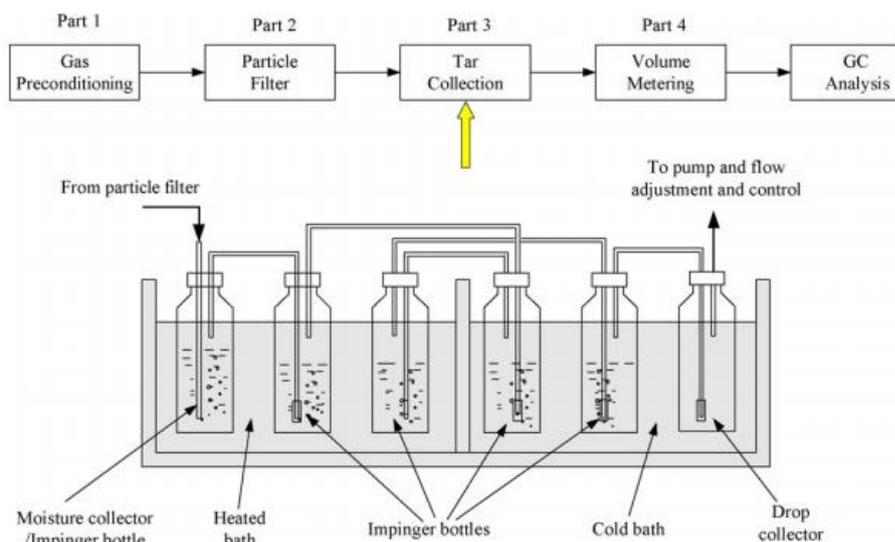
2.3.2 Analisa tar

2.3.2.1 Protokol tar Eropa

Para anggota Gasifikasi Tugas Perjanjian Bioenergi IEA, DoE AS dan DGXVII Komisi Eropa telah menyadari keragaman metode dan definisi untuk kontaminan organik dan masalah yang dihasilkan. Pada Maret 1998 di Brussels, ditetapkan dua sampling dan analisis Protokol yang dapat digunakan sebagai metode referensi untuk bekerja lebih lanjut. Protokol pertama akan digunakan untuk skala kecil, *fixed bed*, sistem berbasis mesin. Protokol kedua untuk skala utilitas yang lebih besar.

Pedoman, yang dikembangkan dalam proyek Uni Eropa yang sebelumnya, menyediakan satu set prosedur untuk pengukuran kontaminan organik dan partikel dalam gas produser dari *gasifiers* biomassa. Prosedur yang dirancang untuk menutupi perbedaan jenis *gasifier* (*updraft* atau *downdraft* / *fixed bed* atau *gasifier fluidized bed*), kondisi operasi (0-900°C dan 0,6-60 bar), dan rentang konsentrasi tar (1-300 mg / m³).

Prosedur ini meliputi empat bagian: pengkondisian gas (*gasifier* atmosfer dan *gasifier* bertekanan), filter partikel, koleksi tar, Volume metering. Selanjutnya, tar bersih mengumpulkan dalam isopropanol, kemudian dianalisis dengan GC. Koleksi kelembaban dan tar dilakukan dalam serangkaian 6 botol impinger disebut sebagai " Petersen kolom " ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Pengumpulan kelembaban dan tar. [10]

Dalam rangkaian, botol impinger pertama berfungsi sebagai kolektor kelembaban, dimana air dan tar kental dari gas mengalami proses penyerapan oleh isopropanol. Panas yang dilepaskan ke pendinginan gas dan terkondensasi dalam bak air eksternal atau oleh penukar panas tambahan sebelum kondensor. Penukar panas mungkin diperlukan untuk gas produser kelembaban tinggi (misalnya dari gasifikasi uap) dan harus dirancang sesuai *gasifier*.

Kondensor adalah botol impinger standar atau opsional dapat dilengkapi dengan sistem pendinginan internal yang sangat cocok untuk gas produser mengandung kadar tar yang lebih tinggi. Bila menggunakan pendingin cepat, isopropanol akan bersikulasi setelah kolektor kelembaban gas dilewatkan melalui serangkaian 4 impinger dengan *solvent*/pelarut dan 1 impinger yang kosong. Kolom Petersen adalah suatu peralatan alternatif 6 botol impinger pada **Gambar 2.6**, yang terdiri dari dua tahap cuci diisi dengan isopropanol. Pendingin cairan dan pendinginan suhu dapat dipilih sesuai kebutuhan.

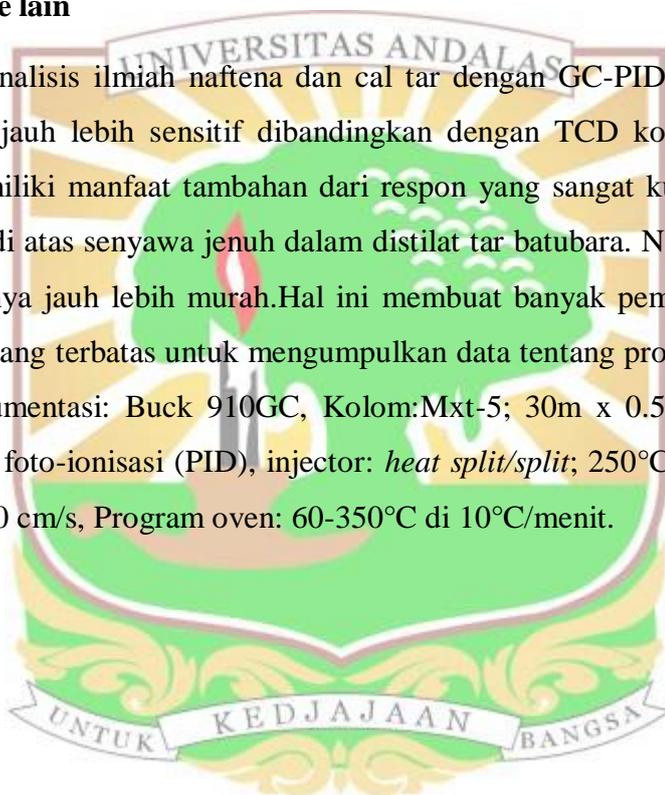
Gas kromatografi adalah peralatan analisa utama, yang dilengkapi dengan kolom kapiler, *flame ionization detector* dan sistem pengolahan data. Fase stasioner dari kolom kapiler harus terikat *poly(5%diphenyl/95%dimethylsiloxane)*. Dimensi yang disarankan berdiameter internal 0,25-0,32 mm dan panjang 30-60 m.

Parameter kromatografi gas : Program suhu kolom: 50°C selama 5 menit. 325°C di 8°C/min, berhenti selama 5 menit; injector: *split*, 1:75; Suhu injektor: 275°C; Suhu detektor: 300°C; Volume injeksi: 1-2 µl; gas pembawa: hidrogen atau helium, tekanan kolom disesuaikan sehingga kecepatan linear dari hidrogen 30-55cm/s dan helium 20-40 cm/s.

Hasil analisis tergantung pada faktor respon dari senyawa yang digunakan untuk kalibrasi. Naftalena dipilih untuk prosedur kalibrasi eksternal, dan o-Terphenyl sebagai standar internal.

2.3.2.2 Metode lain

Buck analisis ilmiah naftena dan cal tar dengan GC-PID. Detektor foto-ionisasi yang jauh lebih sensitif dibandingkan dengan TCD konvensional atau FID, dan memiliki manfaat tambahan dari respon yang sangat kuat untuk olefin dan aromatik di atas senyawa jenuh dalam distilat tar batubara. Namun, TCD dan FID ini biasanya jauh lebih murah. Hal ini membuat banyak pembangkit dengan sumber daya yang terbatas untuk mengumpulkan data tentang proses penyulingan mereka. Instrumentasi: Buck 910GC, Kolom: Mxt-5; 30m x 0.53mm I.D x0.50 mm, detektor: foto-ionisasi (PID), injector: *heat split/split*; 250°C, gas pembawa: helium pada 20 cm/s, Program oven: 60-350°C di 10°C/menit.



BAB III

METODOLOGI

3.1 Umum

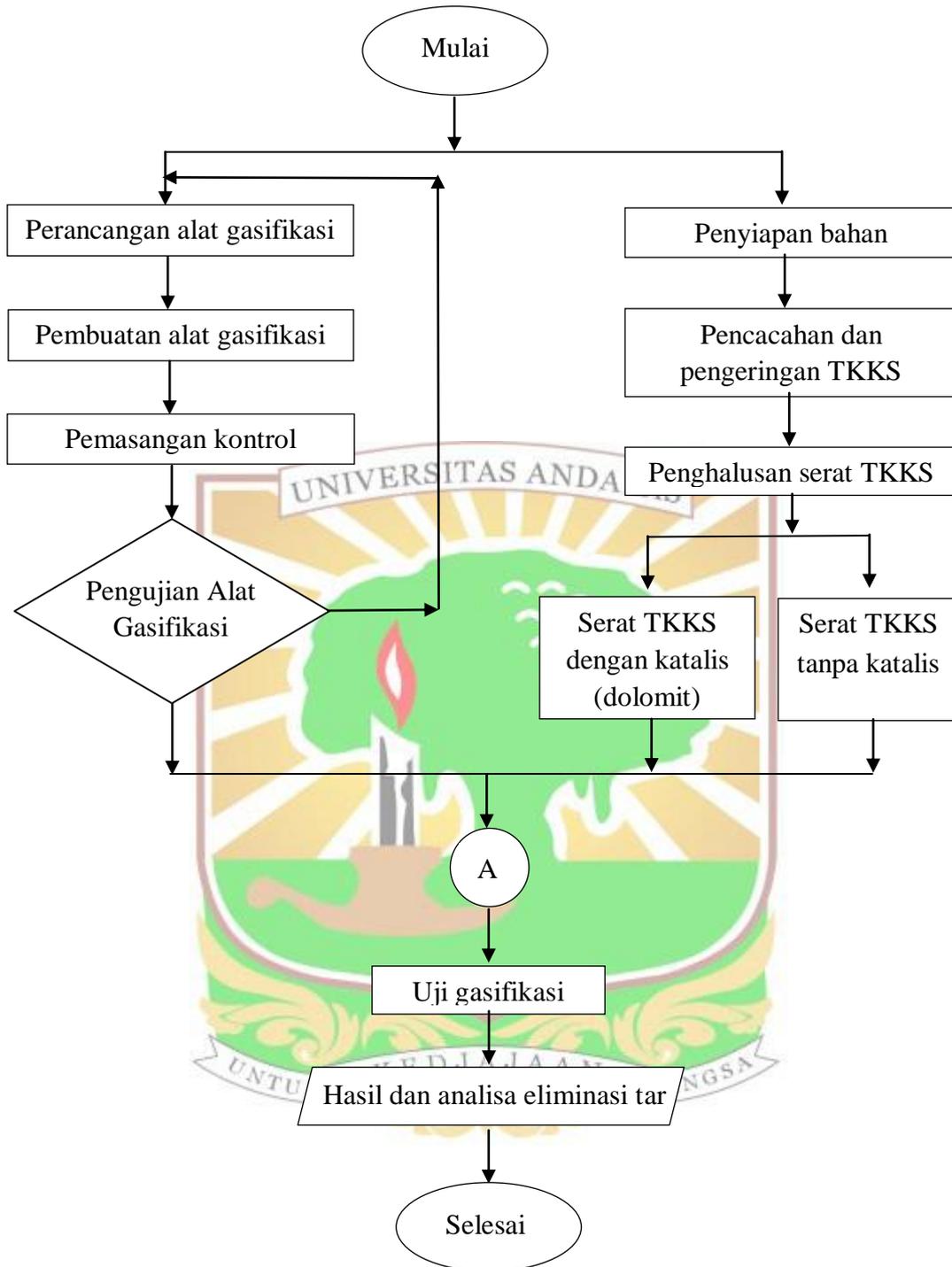
Penelitian dimulai dari mempelajari literatur melalui berbagai jurnal internasional, *e-book*. Selama penelitian penulis mendapatkan bimbingan dari dosen pembimbing agar memperoleh data pengujian yang baik dan dapat dipercaya.

Perancangan dan pembuatan alat gasifikasi akan dilakukan di Laboratorium Termodinamika Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas. Pengujian kandungan hasil gasifikasi akan dilakukan di UPTD Balai Laboratorium Kesehatan, Padang. Penelitian dikerjakan dalam waktu 14 Bulan, dimulai pada bulan Februari 2015 dan selesai pada Maret 2016.

Perancangan dilakukan dengan pembuatan gambar dengan *autocad*. Setelah rancangan selesai maka dilakukan pemasangan komponen alat gasifikasi dan pembuatan komponen yang belum tersedia. Setelah alat gasifikasi selesai maka dilakukan pemasangan kontrol, kemudian dilakukan pengujian terhadap alat supaya sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan, setelah alat dianggap layak maka pengujian dapat dijalankan. Pada proses penyiapan bahan, TKKS diambil langsung dari pabrik kelapa sawit PTP. Nusantara VI (Persero), Unit Usaha Ophir, Pasaman Barat. TKKS yang diambil sudah berbentuk serabut, kemudian dikeringkan, dicacah, dihaluskan sebelum digunakan pada pengujian. Katalis yang digunakan adalah dolomit dari CV. Bukit Raya, Bukittinggi. Dolomit ini berbentuk serbuk 80 mesh, mengandung MgO 58% , CaO 36%.

Setelah semua hal yang mendukung pengujian siap, maka dilakukan proses gasifikasi sesuai rancangan pengujian. Hasil proses gasifikasi yang berupa kondensat tar cair akan diuji kandungan tar nya dengan menggunakan alat *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*.

Secara umum metodologi penelitian dapat dilihat pada diagram alir (*flowchart*) berikut ini :



Gambar 3.1 Diagram alir pengujian.

3.2 Alat gasifikasi

3.2.1 Perancangan dan pembuatan alat gasifikasi

Dalam melakukan pengambilan tar melalui proses pengujian gasifikasi TKKS digunakan alat uji gasifikasi (*gasifier*). *Gasifier* dirancang agar dapat

digunakan dalam proses pengujian yang akan dilakukan. Jenis *Gasifier* yang dipakai adalah *Up-draft (counter-current) gasifier*.

Gasifier terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu :

1. Heater

Heater yang digunakan ada 2 jenis, pertama adalah *Watlow Ceramic Fiber Heating* model JS405a185 sebanyak 1 buah. Spesifikasi: daya 1775 watt, tegangan 240 volt. *Heater* ini berfungsi untuk menaikkan temperatur reaktor. *Heater* ini akan dibalut dengan sabuk isolator yang bertujuan untuk mengurangi panas kelingkungan dan dihubungkan dengan kontroler untuk mengatur temperatur agar konstan.



Gambar 3.2 *Watlow Ceramic Fiber Heating* model JS405a185.

Heater yang kedua (*pre-heater*) adalah *Dual element Heating Tape*. *Heater* ini memiliki daya 100 watt. *Heater* ini berfungsi sebagai pemanas dengan melilitkannya pada pipa besi berdiameter $\frac{1}{2}$ inchi untuk merubah fasa air menjadi uap sebelum masuk ke reaktor. *Heater* ini dihubungkan dengan *regulator slide* untuk mengatur temperaturnya.

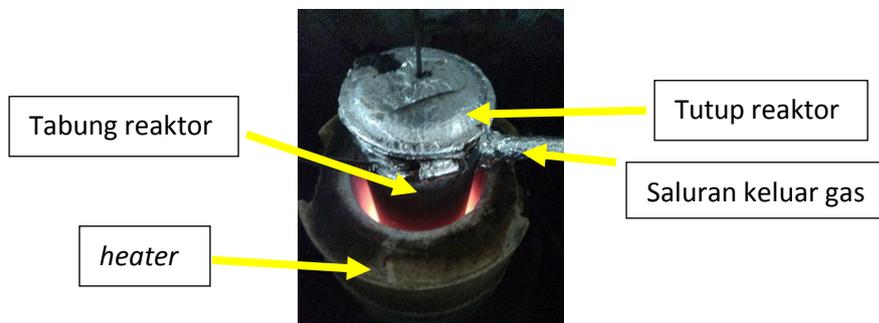


Gambar 3.3 *Dual element Heating Tape*.

2. Reaktor

Reaktor berfungsi sebagai ruang pembakaran biomassa dan katalis. Reaktor dirancang berbentuk tabung yang terbuat dari besi *stainless steel* dengan diameter 110 mm dan tinggi 530 mm. Tutup reaktor dan bibir reaktor dilapisi aluminium untuk mencegah terjadinya kebocoran. Disekeliling

reaktor dipasang dengan *heater*. Dibagian bawah reaktor akan diberi saluran untuk masuknya uap, dan dibagian atas diberi saluran keluar gas hasil gasifikasi.



Gambar 3.4 Reaktor.

3. Cover Heater

Cover Heater dibuat dari plat besi dengan ketebalan 1mm. *Cover Heater* berfungsi agar *reaktor* dan *heater* dapat berdiri dengan sempurna dan sebagai semi-isolator menahan panas dari pemanas supaya tidak lepas ke lingkungan.



Gambar 3.5 Cover Heater.

4. Sistem kondensasi

Sistem kondensasi berfungsi merubah gas hasil gasifikasi menjadi kondensat, ini bertujuan agar pengujian untuk mengetahui kandungan dari sampel menggunakan GC-MS yang memakai sampel cair bisa dilakukan. Sistem kondensasi terdiri dari 2 wadah plastik, diwadah pertama terdapat *filtering flask* dan diwadah kedua terdapat tabung *Erlenmeyer*. Dalam setiap wadah juga dimasukkan campuran batu es dan garam untuk menjaga temperatur wadah kurang dari 5°C.



Gambar 3.6 Sistem kondensasi

5. Pompa

Pompa ini berfungsi untuk memompakan air yang dilewatkan ke pipa yang telah dililitkan *heater* sehingga air menjadi uap yang akan digunakan sebagai media gasifikasi.



Gambar 3.7 Pompa air.

6. Cawan sampel

Sampel uji akan diletakkan diatas cawan uji didalam *reaktor*. Cawan terbuat dari besi dengan diameter alas 8cm. Cawan akan digantungkan pada profil persegi panjang yang diletakkan diatas timbangan, ini bertujuan untuk mengetahui waktu pengambilan tar berdasarkan pengurangan massa pada saat pengujian.



Gambar 3.8 Cawan

7. Solvent

Solvent digunakan sebagai pelarut untuk mengendapkan atau memerangkap tar. Umumnya jenis solvent yang dipakai adalah isopropanol.

Beberapa penelitian lain ada yang memakai dichlorometan, larutan HCl dan beberapa jenis alkohol. Dalam penelitian kali ini dipakai methanol, karena methanol merupakan pelarut univernal, harga terjangkau dan mudah didapat.



Gambar 3.9 Methanol.

8. Tabung *Filtering flask*, tabung *Erlenmeyer* dan tabung *vial*.

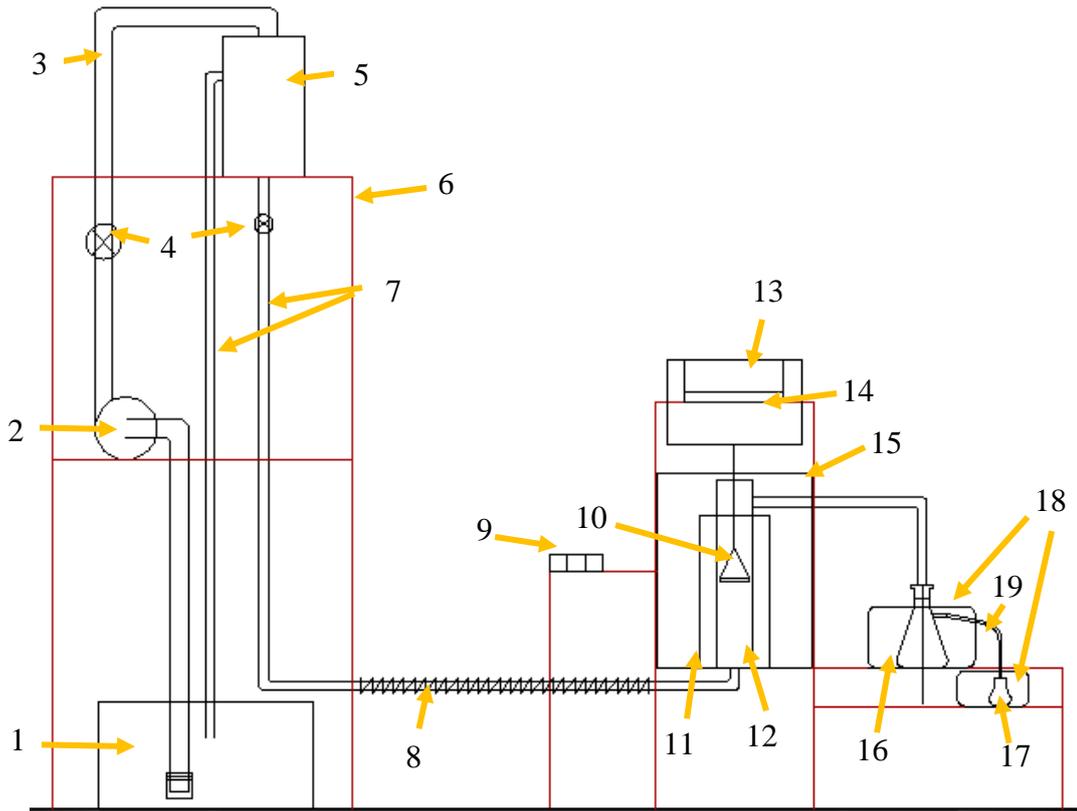
Tabung *filtering flask* digunakan sebagai wadah untuk menangkap tar yang terdapat dalam gas penghasil. Pada tabung ini terdapat lubang *inlet* yang berfungsi sebagai masuknya gas dan *outlet* yang dihubungkan dengan selang *waterpass* sebagai keluaranya gas. *Outlet filtering flask* dihubungkan dengan tabung *erlenmeyer* yang berfungsi sebagai wadah penangkap tar kedua. Tabung *erlenmeyer* ditambahkan karena keluaran *filtering flask* masih terdapat tar. Dalam kedua tabung di tambahkan 30ml *solvent*. Tar yang terkumpul dalam *filtering flask* dan *Erlenmeyer* akan dimasukkan ke dalam tabung *vial*.



Gambar 3.10 Tabung *Filtering flask* (kiri), tabung *Erlenmeyer* (tengah), tabung *vial* (kanan).

3.2.2 Skema Alat Uji

Adapun skema dari alat uji yang telah dijelaskan dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Skema alat uji.

Keterangan gambar :

1. Wadah sumber air pompa.
2. Pompa.
3. Pipa PVC 1 ½ inchi.
4. Katup, sebagai pengontrol debit air.
5. Wadah penampung air menuju *pre-heater*.
6. Rangka, sebagai dudukan tiap komponen alat.
7. Pipa besi ½ inchi.
8. *Pre-heater (Dual element heating tape)*.
9. Pengontrol temperatur.
10. Cawan uji.
11. *Watlow Ceramic Fiber Heating model JS405a185*
12. Reaktor.
13. Timbangan.
14. Isolator dari bahan gabus.
15. *Cover Heater*.

16. *Filtering flask.*
17. Tabung *Erlenmeyer.*
18. Wadah kondensasi.
19. Selang *waterpass.*

3.2.3 Alat Ukur dan Kontrol

Untuk menunjang penelitian maka digunakan beberapa alat ukur dan pengontrol, sebagai berikut :

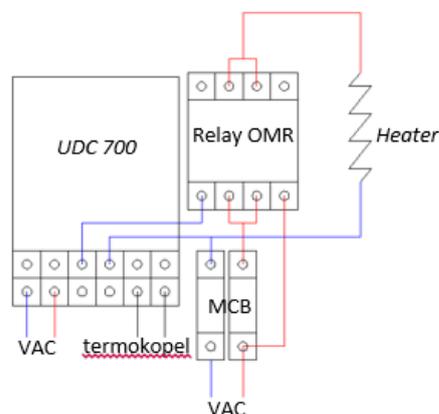
1. Alat Pengontrol Temperatur

Universal Digital Controller (UDC700) digunakan untuk mengatur temperatur *heater* watlow agar konstan. Kontroler ini dapat beroperasi pada 96-264 VAC 50/60Hz, *input* tegangan 24 AC atau 12-30VDC, dengan daya sebesar 4 watt.

Sensor temperatur yang dihubungkan pada alat ini adalah termokopel tipe-K. Termokopel tipe-K cocok dengan range temperatur antara -240°C - 1371°C pada program kode 300 ($^{\circ}\text{C}$) *UDC 700*.

Relay OMR MK 2P-1 menjadi saklar penghubung antara *UDC 700* dengan *heater*. Pemakaian relay ini dikarenakan ampere *heater* yang tinggi tidak dapat ditahan oleh *UDC 700*. Jika *output UDC 700* langsung dihubungkan ke *heater* maka *UDC 700* akan hangus terbakar.

Untuk memutus arus digunakan 2 buah *Mini Circuit Breaker (MCB)* 6A. MCB digunakan karena lebih aman, karena MCB akan memutus arus saat adanya beban yang berlebih.



Gambar 3.12 Sirkuit sistem kontrol temperatur.

2. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang massa sampel TKKS dan massa dari katalis. Timbangan diberi alas dari gabus sebagai isolator dari panas

reaktor. Timbangan elektronik ini mempunyai ketelitian 0.1 gram.



Gambar 3.13 Timbangan digital

3. Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk mengukur lamanya waktu saat pengambilan sampel hasil gasifikasi.



Gambar 3.14 Stopwatch

4. Tabung Volumetric

Tabung *volumetric* digunakan sebagai alat ukur debit steam yang digunakan selama proses gasifikasi dan untuk mengukur banyaknya *solvent* yang digunakan. Sebelum proses gasifikasi dimulai, debit akan diukur dengan tabung *volumetric*



Gambar 3.15 Tabung *volumetric*.

3.3 Metode Pengujian

Pengujian akan dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu rancangan pengujian gasifikasi TKKS, prosedur sebelum pengujian, prosedur pengujian. Seluruh tahapan harus dilakukan dengan baik agar pengujian dapat berjalan lancar dan data yang diperoleh memiliki tingkat kesalahan yang rendah dan menjamin keselamatan selama proses pengujian.

3.3.1 Rancangan pengujian gasifikasi TKKS

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu ditentukan parameter-parameter yang diperlukan saat pengujian sehingga hasil pengujian sesuai dengan literatur. Parameter yang ditentukan dalam pengujian sebagai berikut :

1. Massa sampel uji

Massa sampel uji merupakan massa TKKS yang sudah diolah sehingga layak menjadi sampel siap uji. Massa sampel uji yang digunakan sebanyak 10 gram setiap pengujian..

2. Massa katalis

Massa katalis merupakan massa katalis dolomit yang berbentuk serbuk padat dan tidak perlu dihaluskan. Katalis yang digunakan sebanyak 10 gram.

3. Temperatur

Temperatur reaktor dijaga konstan pada 400°C, 600, 800°C. Temperatur sistem pendingin dijaga kurang dari 5°C.

4. Debit air

Merupakan laju aliran air yang akan masuk ke *pre-heater*. Laju aliran air ditetapkan 4 mililiter/menit

Rancangan pengujian dapat dilihat pada **Tabel 3.1**. Pengujian ke 1,2,3 dilakukan tanpa katalis, dan pengujian ke 4,5,6 menggunakan katalis. Untuk mempermudah penamaan sampel tar maka diberi kode sampel pada tabung *vial*.

Tabel 3.1 Rancangan pengujian eliminasi tar

Pengujian ke -	Massa sampel (gram)	Massa katalis (gram)	Temperatur reaktor (°C)	Temperatur kondensor (°C)	Temperatur <i>Pre-heater</i> (°C)	Debit air (ml/min)
1	10	-	400	< 5	100	4
2	10	-	600	< 5	100	4
3	10	-	800	< 5	100	4
4	10	10	400	< 5	100	4
5	10	10	600	< 5	100	4
6	10	10	800	< 5	100	4

3.3.2 Prosedur sebelum pengujian

3.3.2.1 Proses penyiapan sampel uji

Sampel yang telah diperoleh dari pabrik kelapa sawit PTP. Nusantara VI (Persero), Unit Usaha Ophir, Pasaman Barat yang telah berupa serabut tandan kosong (dapat dilihat pada **Gambar 3.16**). Serabut TKKS ini kemudian dijemur pada sinar matahari langsung sampai kering. Hal ini bertujuan agar TKKS tidak busuk/berjamur dan memudahkan proses pencacahan TKKS. Jika sampel sudah kering maka sampel akan dimasukkan ke mesin pencacah/gerinda. Hasil pencacahan akan diayak dengan lubang ayakan 0.5mm.

**Gambar 3.16** Serabut TKKS dari pabrik**Gambar 3.17** Serabut TKKS 0.5mm

Sampel TKKS yang telah berdiameter 0.5mm ditimbang dan ditambahkan katalis dolomit dalam sistem yang terbuat dari *aluminium foil* sesuai rancangan percobaan, dapat dilihat pada **Gambar 3.18**. Prosedur penimbangan menggunakan timbangan digital :

- Kalibrasi alat ukur dengan melihat angka pada *display*.
- Timbang massa cawan.
- Timbang massa biomassa atau katalis.
- Massa biomassa atau katalis yang dicatat yaitu massa yang telah dikurangi dengan massa wadah.



Gambar 3.18 Sampel TKKS. Tanpa katalis (kiri), dengan katalis (kanan)

3.3.2.2 Proses persiapan

Sebelum proses pengambilan tar diperlukan persiapan alat-alat yang mendukung berlangsungnya proses pengujian. Persiapan yang diperlukan sebagai berikut :

1. Memastikan tidak ada kebocoran air pada pipa dan penampung air.
2. Memastikan debit air 4ml/menit dengan menggunakan tabung *volumetric* sebelum proses gasifikasi dilakukan. Dengan cara mengatur katup sampai waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi 100ml tabung *volumetric* adalah 25menit. $\text{Debit} = \frac{\text{volume air}}{\text{waktu}}$.
3. Mengatur dan memastikan temperatur *heater* konstan, sesuai dengan tiap pengujian yang dilakukan pada rancangan percobaan.
4. Memastikan saluran keluar gas pada *gasifier* tidak tersumbat.
5. Memasang timbangan diatas *reaktor* sesuai skema, hidupkan *reaktor*, lalu meletakkan profil persegi panjang diatas permukaan timbangan.

6. Memastikan kebersihan dari *filtering flask*, tabung *erlenmeyer*, tabung *vial* dan selang *waterpass* yang akan digunakan pada tiap pengujian.
7. Memasukkan 30ml methanol pada *filtering flask* dan tabung *erlenmeyer*,
8. Memasukkan *filtering flask* dan tabung *Erlenmeyer* kedalam tiap sistem kondensasi. Inlet *filtering flask* disambungkan dengan outlet *gasifier* . Lalu, outlet *filtering flask* dan inlet tabung *Erlenmeyer* dengan selang *waterpass*. Tiap sambungan dipakai TBA untuk mencegah kebocoran.
9. Memasukkan batu es dan garam pada tiap sistem kondensasi.

3.3.3 Prosedur pengujian

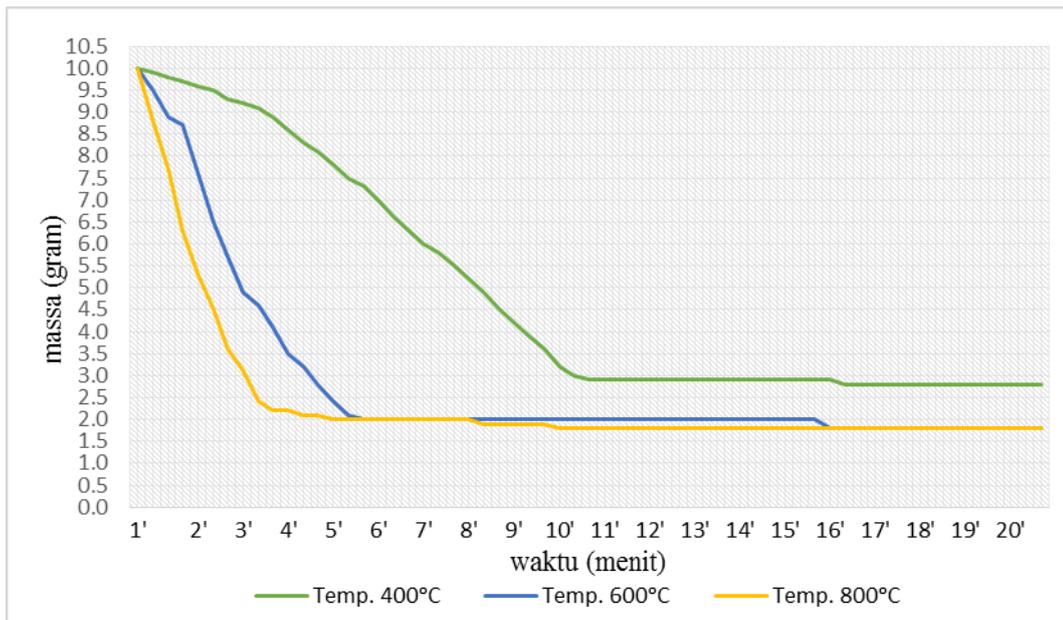
Setelah proses persiapan selesai prosedur pengujian dilakukan sebagai berikut :

1. Meletakkan TKKS tanpa katalis (atau dengan katalis, sesuai pengujian yang dilakukan berdasarkan rancangan percobaan) yang sudah disiapkan pada cawan, kemudian dimasukkan kedalam *reaktor* dan tutup *reaktor* dengan rapat. Pada saat *reaktor* sudah ditutup, *stopwatch* langsung dihidupkan.
2. Massa sampel TKKS pada layar timbangan diamati dan dicatat per 20 detik sejak *stopwatch* dihidupkan. Hal ini dilakukan sampai massa sampel TKKS terlihat konstan.
3. Setelah massa sampel konstan maka pengujian selesai, kemudian *filtering flask* dan tabung *erlenmeyer* dilepaskan dari *gasifier* dan selang *waterpass*. Tar yang tertampung dituangkan ke dalam tabung *vial* yang telah diberi kode sesuai temperatur pengujian yang dilakukan.
4. Komponen yang digunakan seperti *filtering flask*, tabung *erlenmeyer*, selang *waterpass* dibersihkan dan disusun kembali untuk proses pengujian berikutnya. Temperatur di atur kembali sesuai dengan rancangan percobaan yang akan dilakukan.
5. Sampel tar dalam tabung *vial* ini kemudian di uji kandungannya dengan menggunakan metode GC-MS.

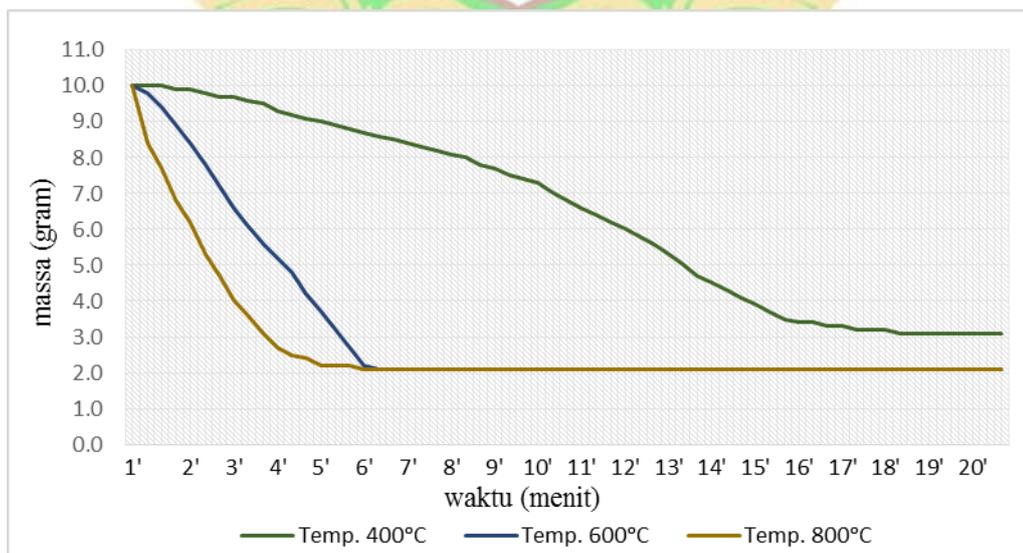
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perubahan massa dari sampel TKKS

Perubahan massa dari sampel TKKS pada pengujian tanpa menggunakan katalis dolomit dapat dilihat pada **Gambar 4.1**, sedangkan pada pengujian dengan menggunakan katalis dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.1 Perubahan massa terhadap waktu selama proses gasifikasi tanpa menggunakan katalis.

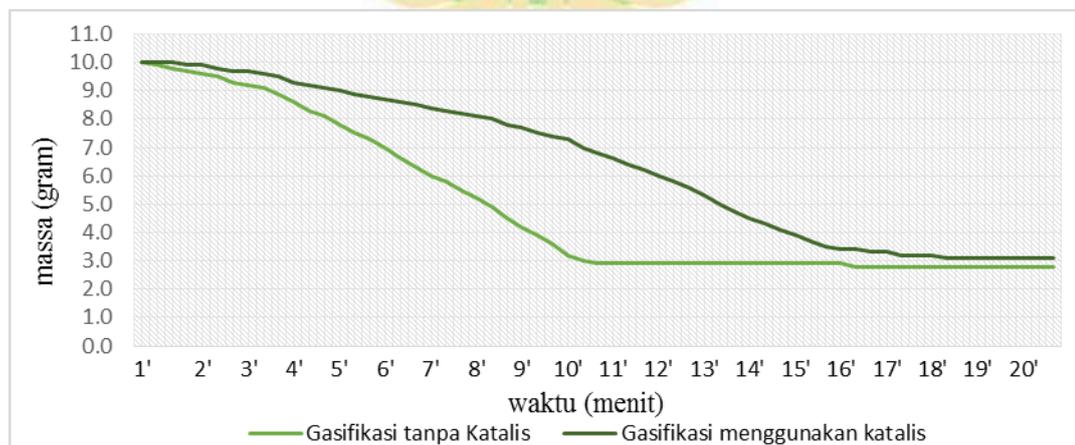


Gambar 4.2 Perubahan massa terhadap waktu selama proses gasifikasi dengan menggunakan katalis.

Pada setiap temperatur terjadi pengurangan massa yang sangat cepat sejak sampel dimasukkan kedalam reaktor. Proses pengurangan massa yang cepat ini disebut proses pelepasan volatil (*devolatilisasi*), setelah proses *devolatilisasi* pengurangan massa melambat sampai menjadi konstan, proses ini disebut pengurangan massa arang (*fixed carbon*). Pada proses pengurangan massa arang dapat dilihat yang telah melandai hampir datar.

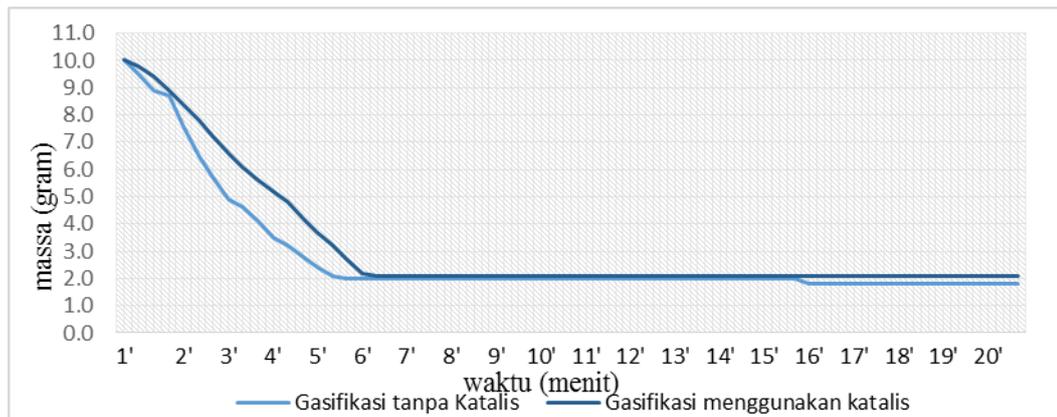
Pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2**, waktu *devolatilisasi* yang terlama pada temperatur 400°C, selanjutnya pada temperatur 600°C, dan proses *devolatilisasi* tercepat pada temperatur 800°C. Massa terendah atau massa arang pada temperatur 400°C lebih besar pada temperatur 600°C dan temperatur 800°C. Pada temperatur 600°C dan temperatur 800°C massa arangnya relatif sama. Sebenarnya jika waktu gasifikasi yang dilakukan pada temperatur 400°C lebih lama maka massa arangnya akan sama dengan massa arang pada temperatur 600°C dan temperatur 800°C. Semua hal ini jelas diakibatkan oleh panas yang dihasilkan temperatur 400°C lebih kecil dari temperatur 600°C dan 800°C.

Meskipun temperatur pemanasan sama namun ternyata terdapat perbedaan waktu *devolatilisasi* pada pengujian gasifikasi tanpa katalis dan dengan katalis. Pada **Gambar 4.3**, **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5** dapat dilihat waktu pengujian dengan katalis lebih lama dibandingkan tanpa menggunakan katalis. Proses *devolatilisasi* yang lebih lama ini diakibatkan karena katalis yang ditaburkan diatas sampel TKKS menghambat proses keluarnya volatil dan katalis juga menyebabkan terjadinya proses penghancuran atau perengkahan tar dalam volatil.



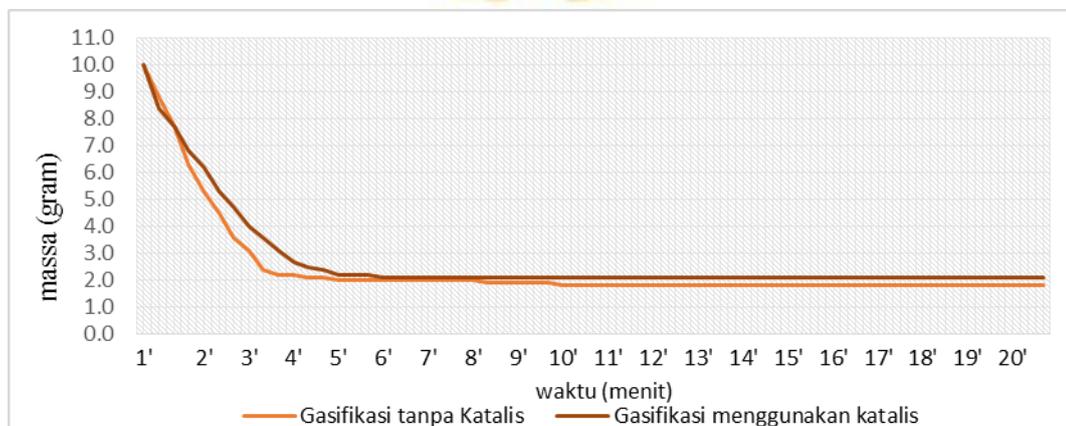
Gambar 4.3 Perubahan massa terhadap waktu pada temperatur 400°C.

Pada **Gambar 4.3** waktu *devolatilisasi* pada temperatur 400°C dengan menggunakan katalis lebih lama dibandingkan tanpa katalis. Waktu *devolatilisasi* tanpa katalis ± 9 menit20detik, sedangkan dengan menggunakan katalis ± 15 menit20detik. Perbedaan waktu *devolatilisasi* cukup besar, hal ini diakibatkan juga karena temperatur yang cukup rendah.



Gambar 4.4 Perubahan massa terhadap waktu pada temperatur 600°C.

Pada **Gambar 4.4** waktu *devolatilisasi* pada temperatur 600°C dengan menggunakan katalis sedikit lebih lama dibandingkan tanpa katalis. Waktu *devolatilisasi* tanpa katalis ± 4 menit30detik, sedangkan dengan menggunakan katalis ± 5 menit. Demikian juga pada waktu *devolatilisasi* pada temperatur 800°C (**Gambar 4.5**), Waktu *devolatilisasi* tanpa katalis ± 2 menit20detik, sedangkan dengan menggunakan katalis ± 3 menit. Perbedaan waktu *devolatilisasi* pada temperatur 600°C dan temperatur 800°C tidak begitu besar dibandingkan dengan temperatur 400°C



Gambar 4.5 Perubahan massa terhadap waktu pada temperatur 800°C.

4.2 Karakteristik fisik tar

Hasil pengujian gasifikasi ini berupa kondensat tar yang berasal dari *syn-gas* hasil gasifikasi. Secara visual kondensat pada masing-masing pengujian terlihat berbeda, dapat dilihat pada **Gambar 4.6** dan **Gambar 4.7**. Kondensat hasil gasifikasi tanpa menggunakan katalis lebih berwarna hitam pekat, sedangkan dengan menggunakan katalis lebih terlihat jernih. Temperatur *gasifier* juga mempengaruhi karakteristik fisik kondensat tar, dimana semakin tinggi temperatur maka warnanya lebih jernih.



Gambar 4.6 Kondensat hasil gasifikasi tanpa menggunakan katalis.



Gambar 4.7 Kondensat hasil gasifikasi dengan menggunakan katalis.

4.3 Komposisi kandungan tar

Komposisi kandungan tar pada kondensat diketahui dengan menguji kondensat di laboratorium dengan menggunakan metode GC-MS. Hasil GC-MS berupa grafik (seperti **Gambar 4.8**), dimana sumbu vertikal pada grafik menunjukkan *Intensity* yaitu kelimpahan suatu zat, sedangkan sumbu horizontal (*time*) merupakan waktu ketika sampel melewati sensor GC-MS.

Senyawa tar pada hasil kromatogram diketahui dengan menyesuaikan jenis senyawa yang terdeteksi pada jurnal *Tar Property, analysis, reforming mechanism*

karbonat dan *ester* yang terkandung dalam hasil kromatogram tersebut.. Komposisi kandungan tar pada kondensat hasil gasifikasi temperatur 400°C ini terdiri dari jenis senyawa *ketones*, *furans*, *phenols*, *acids*, *aldehydes* yang merupakan tar primer. Jenis senyawa yang terkandung pada temperatur ini sesuai dengan literatur.

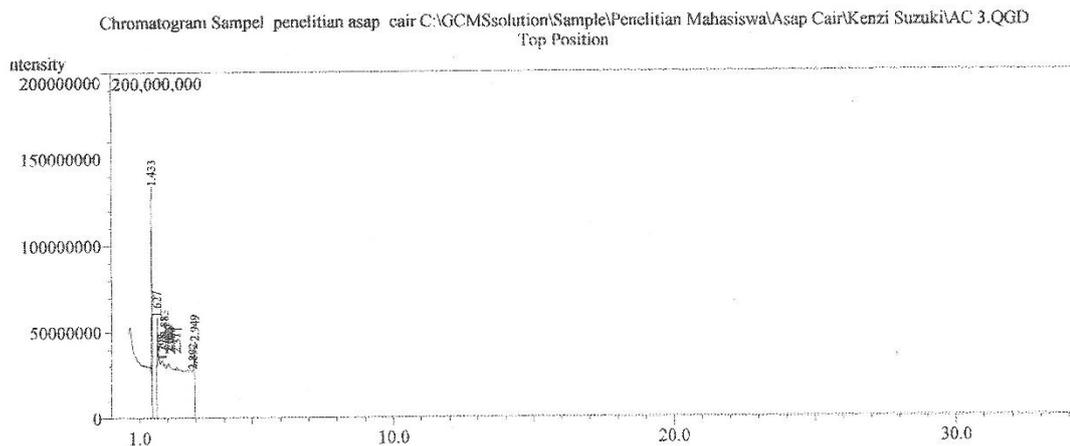
Tabel 4.1 Komposisi kandungan tar pada temperatur 400°C.

No	Nama senyawa	Jenis senyawa tar	Luas area (%)	
			Tanpa katalis	Dengan katalis
1	<i>2-methyl-2-cyclohexenone</i>	<i>ketones</i>	9.56	
2	<i>2(3H)-Furanone, dihydro-(CAS) Butyrolactone</i>	<i>furans</i>	0.69	15.87
3	<i>2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl-(CAS)diacetone alcohol</i>	<i>ketones</i>	2.66	
4	<i>2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-(CAS) 3-Methyl-2-cyclopentenone</i>	<i>ketones</i>	4.05	8.19
5	<i>Phenol (CAS) izal</i>	<i>phenols</i>	5.18	6.36
6	<i>16-Hentriacontanone (CAS) Palmitone</i>	<i>ketones</i>	3.65	
7	<i>2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl- (CAS) Corylon</i>	<i>ketones</i>	2.42	
8	<i>Phenol3-methyl- (CAS) m-cresol</i>	<i>phenols</i>	0.54	
9	<i>Pentanal (CAS) n-Pentanal</i>	<i>aldehydes</i>	3.15	
10	<i>Ethanone, 1-(1-cyclohexen-1-yl)- (CAS) 1-Cyclohexen-1-yl methyl ketone</i>	<i>ketones</i>	0.27	
11	<i>Phenol, 2,6-dimethoxy- (CAS) 2,6-Dimethoxyphenol</i>	<i>phenols</i>	1	
12	<i>Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid</i>	<i>acids</i>	21.67	
13	<i>9-Octadecenal, (Z)- (CAS) CIS-OCTADEC-9-ENAL</i>	<i>aldehydes</i>	1.05	
14	<i>Octanal (CAS) n-octanal</i>	<i>aldehydes</i>		14.03
Total			55.89	44.45

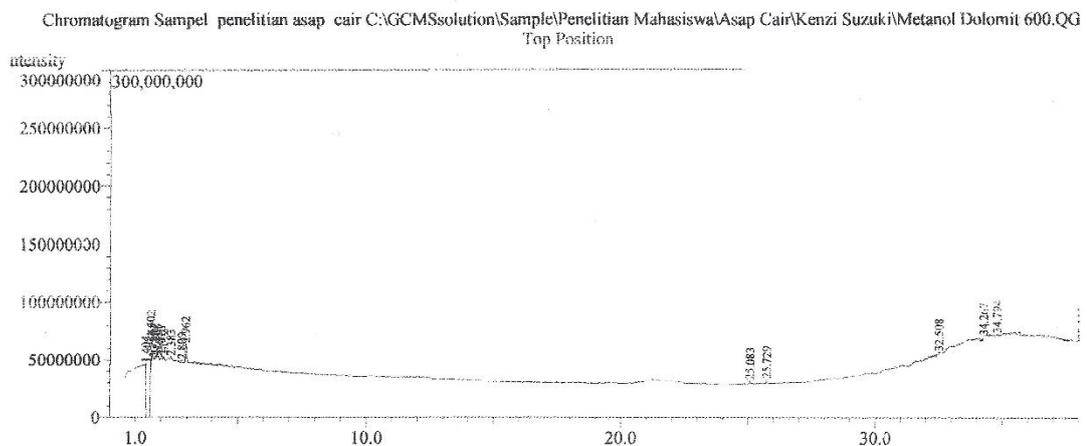
Dari persentase luas area pada **Tabel 4.1**, diketahui bahwa konsentrasi jumlah tar yang terkandung pada kondensat dengan tanpa menggunakan katalis lebih besar daripada dengan menggunakan katalis. Konsentrasi jumlah tar yang terkandung pada kondensat tanpa menggunakan katalis sebanyak 55.89%, sedangkan dengan menggunakan katalis sebanyak 44.45%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis dolomit dapat mengurangi jumlah kandungan tar pada hasil gasifikasi pada temperatur 400°C. Pengurangan tar pada temperatur 400°C

ini dengan menggunakan katalis sebanyak 11.44%. Dapat dilihat juga pada **Tabel 4.1**. jenis senyawa tar yang terkandung tanpa menggunakan katalis lebih banyak dari pada dengan menggunakan katalis. Hal ini berarti penggunaan katalis juga dapat mengurangi jenis senyawa tar.

b. Komposisi kandungan tar pada temperatur 600°C.



Gambar 4.10 Kromatogram kondensat hasil gasifikasi tanpa menggunakan katalis pada temperatur 600°C.



Gambar 4.11 Kromatogram kondensat hasil gasifikasi dengan menggunakan katalis pada temperatur 600°C.

Dari kromatogram pada **Gambar 4.10** dan **Gambar 4.11** dapat dilihat kandungan senyawa kondensat hasil gasifikasi dengan menggunakan katalis lebih banyak dibandingkan kondensat hasil gasifikasi tanpa katalis. Hal itu dikarenakan adanya senyawa yang bukan tar seperti *ester* yang terbentuk. Jenis senyawa tar yang terbentuk pada temperatur 600°C kurang sesuai dengan beberapa literatur

karena terdapat senyawa seperti *acids*, *furans*, *ketones*, *mixed oxygenates* yang seharusnya terbentuk pada temperatur $<500^{\circ}\text{C}$. Sedangkan jenis senyawa yang sesuai literatur *phenol* dan *light aromatics*. Namun, jenis senyawa pada literatur tersebut masih untuk biomassa secara umum, mungkin saja pada sampel TKKS memang masih terbentuk senyawa *acids*, *furans*, *ketones*, *mixed oxygenates*.

Tabel 4.2 Komposisi kandungan tar pada temperatur 600°C .

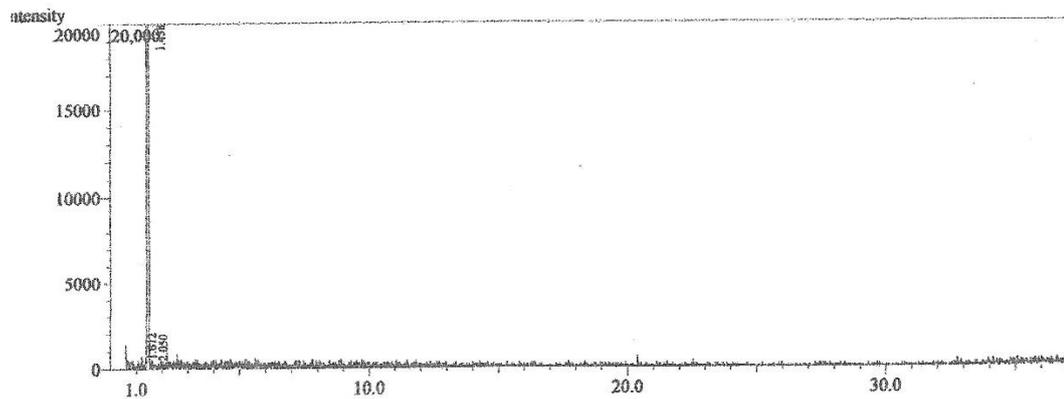
No	Senyawa	Jenis senyawa tar	Luas area (%)	
			Tanpa katalis	Dengan katalis
1	<i>12-Hydroxy-dodecanoic acid, lactone</i>	<i>acids</i>	3.42	
2	<i>3-Furanol, tetrahydro- (CAS) 3-Hydroxytetrahydrofuran</i>	<i>furans</i>	19.3	
3	<i>2-Furancarboxaldehyde (CAS) Furfural</i>	<i>furans</i>	7.71	
4	<i>Phenol (CAS) izal</i>	<i>phenols</i>	8.99	1.75
5	<i>Hydroxyacetic acid, hydrazide</i>	<i>light aromatics</i>		0.28
6	<i>1,3-Propanediol, 2,2-bis(hydroxymethyl)- (CAS) Pentaerythritol</i>	<i>mixed oxygenates</i>		8.25
7	<i>Benzene, methyl- (CAS) Toluene</i>	<i>light aromatics</i>		5.7
8	<i>2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl- (CAS) 2-Methyl-2-cyclopentenone</i>	<i>ketones</i>		2.8
Total			39.42	18.78

Dari persentase luas area pada **Tabel 4.2**, diketahui bahwa konsentrasi jumlah tar yang terkandung pada kondensat dengan menggunakan katalis lebih kecil dari tanpa katalis. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis dolomit pada temperatur 600°C dapat mengurangi jumlah kandungan tar pada hasil gasifikasi. Pengurangan kandungan tar pada temperatur ini sebanyak 10,64% sedikit lebih kecil dari temperatur 400°C .

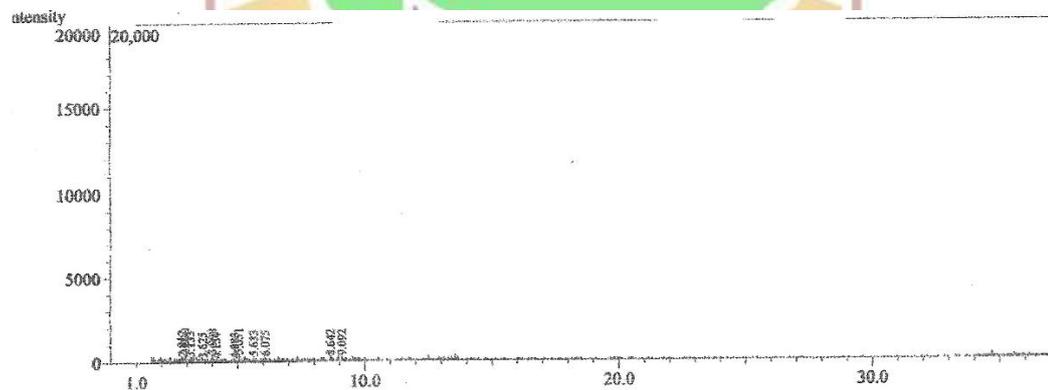
Ada jenis senyawa yang tidak terkandung pada kondensat tanpa katalis tetapi ada pada kondensat dengan katalis, hal ini mungkin diakibatkan karena tidak rapatnya penutup reaktor dan terjadi kesalahan dalam sistem pendingin tar yang menyebabkan tar yang seharusnya terkandung kondensat menguap ke lingkungan. Metode yang digunakan pada pengujian kandungan dengan GC-MS yang tidak cocok juga bisa menjadi penyebabnya, hal ini mungkin saja terjadi

karena persentase luas area senyawa yang tidak terdeteksi sangat besar yaitu 60.58% pada kondensat tanpa katalis dan 74.78% pada kondensat dengan katalis, dan bisa saja asumsi ini salah karena kandungan kondensat memang banyak senyawa yang memiliki fraksi berat yang tidak dapat terdeteksi.

c. Uji kandungan kondensat pada temperatur 800°C



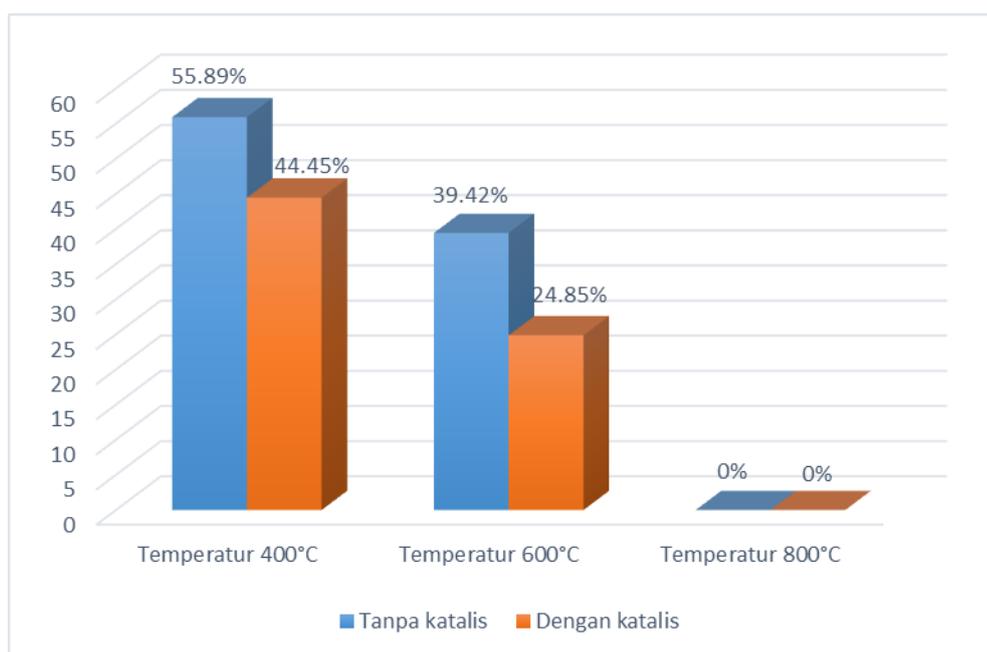
Gambar 4.12 Kromatogram kondensat hasil gasifikasi tanpa menggunakan katalis pada temperatur 800°C.



Gambar 4.13 Kromatogram kondensat hasil gasifikasi dengan menggunakan katalis pada temperatur 800°C.

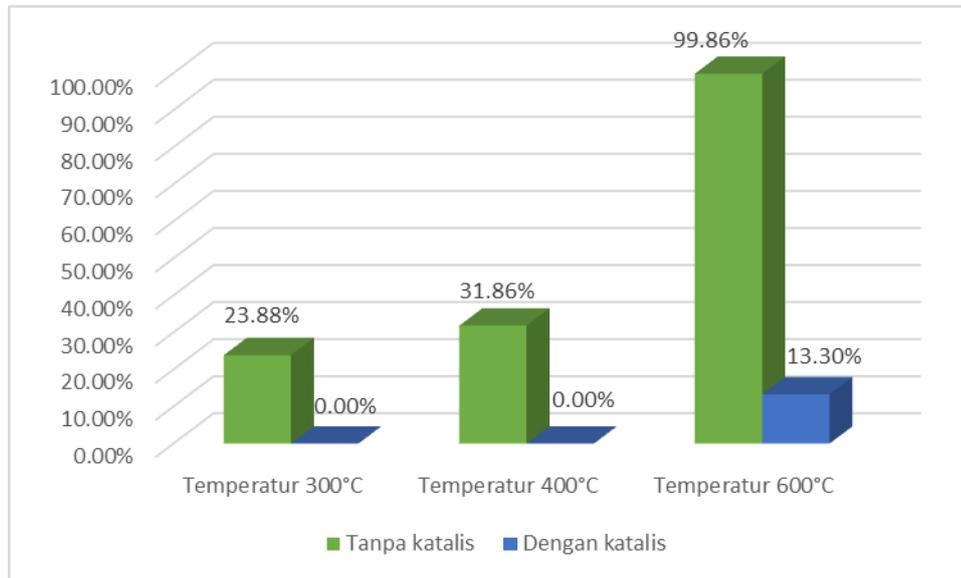
Dari kromatogram pada **Gambar 4.12** dan **Gambar 4.13** dapat dilihat kandungan senyawa yang terdeteksi, namun senyawa tersebut bukan tar, melainkan senyawa *alkynes* pada kondensat hasil gasifikasi tanpa katalis dan senyawa *ester* pada kondensat hasil gasifikasi dengan katalis. Menurut literatur seharusnya kondensat hasil gasifikasi pada temperatur ini mengandung tar, tapi pada kenyataannya tidak ada. Namun, analisa tar pada literatur tersebut hanya secara umum, karena tidak dituliskan biomassa apa yang dipakai pada pengujian

gasifikasinya. Tetapi hal ini mungkin terjadi karena sampel TKKS yang digunakan kurang banyak, dugaan ini disebabkan karena senyawa tar terdeteksi pada “#hit” hasil kromatogram, “#hit” pada kromatogram ini menandakan bahwa senyawa tersebut ada namun konsentrasinya sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Penutup reaktor yang kurang rapat dan kesalahan sistem pendinginan dapat juga menjadi penyebab yang mengakibatkan tar menguap ke lingkungan sebelum terkondensasikan.



Gambar 4.14 Perbandingan persentase konsentrasi kandungan tar pada kondensat hasil gasifikasi pada penelitian ini.





Gambar 4.15 Perbandingan persentase konsentrasi kandungan tar pada kondensat hasil gasifikasi yang dilakukan oleh Ade Rio Yolanda^[4].

Pada **Gambar 4.14** dapat dilihat bahwa konsentrasi kandungan tar dengan menggunakan katalis mengalami pengurangan, dan semakin tinggi temperatur *gasifier* maka konsentrasi tar akan berkurang sampai 0%. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan katalis dolomit dapat mengurangi tar, maka penelitian yang dilakukan oleh Majesti^[3] dengan sampel TKKS dan katalis dolomit yang menyatakan bahwa katalis dolomit tidak mempengaruhi pengurangan tar adalah keliru.

Sedangkan, pada penelitian yang dilakukan Ade Rio Yolanda^[4] (lihat **Gambar 4.15**) dengan menggunakan sampel TKKS dan katalis alkali (NaOH), memperlihatkan bahwa penurunan temperatur mengurangi kandungan tar. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Ade Rio Yolanda^[4] ini berbeda karena menurut hasil dari penelitian yang telah dilakukan kenaikan temperatur yang dapat mengurangi kandungan tar. Perbedaan ini dapat disebabkan karena temperatur yang digunakannya adalah temperatur progresif, sedangkan pada penelitian ini digunakan temperatur konstan.

Pada **Gambar 4.15** konsentrasi kandungan tar pada penelitian tersebut lebih rendah dibandingkan konsentrasi kandungan tar pada penelitian saat ini

(lihat **Gambar 4.14**). Hal ini terjadi karena perbedaan cara mendapatkan tar dalam pengujian, pada penelitian Ade Rio Yolanda^[4] tar didapatkan dengan cara mengkondensasikan gas yang keluar dari reaktor gasifikasi menggunakan kondensor *shell and tube* dan tidak menggunakan *solvent*. Sedangkan, pada penelitian kali ini pengkondensasian tar dilakukan dengan menggunakan *solvent* dan sesuai dengan protokol yang telah ditetapkan Uni Eropa. Oleh karena itu, penglarutan/pengkondensasian kandungan tar pada penelitian Ade Rio Yolanda^[4] tidak maksimal sehingga konsentrasi kandungan tar yang didapat lebih kecil dari penelitian yang dilakukan penulis.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengambilan data, uji laboratorium serta analisa terhadap hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa :

1. Katalis dolomit mampu mengurangi kandungan tar pada kondensat hasil gasifikasi TKKS. Pada temperatur 400°C kandungan tar berkurang sebanyak 11,44% dan pada temperatur 600°C sebanyak 10.64%.
2. Kenaikan temperatur dapat mengurangi kandungan tar. Pada temperatur 400°C kandungan tar tanpa menggunakan katalis sebanyak 55.89% dan dengan katalis sebanyak 44.45%. Pada temperatur 600°C kandungan tar tanpa menggunakan katalis sebanyak 39.42% dan dengan katalis sebanyak 18.78%. Kandungan tar tidak ditemukan pada temperatur 800°C tanpa menggunakan katalis dan dengan katalis.

5.2 Saran

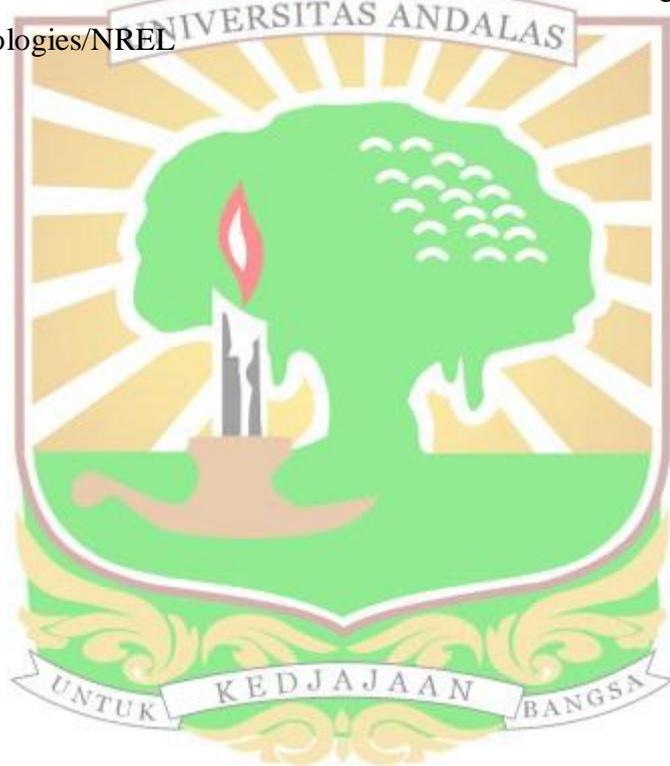
Dari penelitian yang telah dilakukan masih terdapat hasil yang kurang sesuai dengan literatur, seperti jenis senyawa tar yang lebih banyak dengan menggunakan katalis dibandingkan tanpa katalis. Oleh karena itu, untuk penelitian perlu dilakukan beberapa hal, yaitu :

1. Merancang penutup tabung yang tidak rentan pada kebocoran dan tahan terhadap temperatur 800°C.
2. Membersihkan pipa saluran keluar reaktor setiap pengujian, untuk mencegah tar mengendap dan menutup saluran.
3. Membuat temperatur sistem pendingin atau kondensasi yang lebih rendah dari 5°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Apriyanti, Eni. Pembuatan Gas Hidrogen dari Gasifikasi Biomassa dengan Proses Oksidasi Menggunakan Katalis Water Gas Shift. Jurusan Teknik Kimia-FT Universitas Pandaran.
- [2] Cho, Min-Hwan., Mun, Tae-Young., dan Kim, Joo-Sik. Production of Low Tar Producer Gas from Air Gasification of Mixed Plastic Waste in Two-Stage Gasifier Using Olivine Combined with Activated Carbon. Elsevier Ltd. 2013.
- [3] Majesti, F. Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Dolomit. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Andalas. 2010.
- [4] Yolanda, Ade R. Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit : Studi Penurunan Kandungan Tar pada Gas Hasil Gasifikasi Suhu Rendah dengan Katalis Alkali. Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas. Padang. 2014
- [5] McGowan, Thomas F. Biomass and Alternate Fuel Systems. A John Wiley & Sons.inc. 2009
- [6] Yang, Haiping, et al. Mechanism of Palm Oil Waste Pyrolysis in a Packed Bed. Energy & Fuels Vol 20: 1321-1328.2006
- [7] Basu, Prabir. Biomass Gasification and Pirolisis : Practical Design and Theory. UK:Elsevier.inc.2010
- [8] Neeft, J.P.A., Knoef, H.A.M., dan Onaji, P. Behavior of Tars in Biomass Gasification Systems. NOVEM EW BAB Program Report 9919. Netherlands.
- [9] Elliott DC. Relation of reaction time and temperature to chemical composition of pyrolysis oils. In: Soltes EJ, Milne TA, editors. Proceedings of the ACS symposium series 376, pyrolysisoils from biomass.1988.

- [10] Li, Chunshan., Suzuki, Kenzi. Tar Property, analysis, reforming mechanism and model for biomass gasification-An Overview. EcoTopia Science Institute, Nagoya University, Nagoya 464-8603, Japan. ©2008 Elsevier Ltd All rights reserved.
- [11] Milne, T.A. dan R.J. Evans. Biomass Gasifier “Tars”: Their Nature, Formation, and Conversion. National Renewable Energy Laboratory. Hal 85-94. November1998
- [12] Graham, R.G., dan R. Brain. Biomass Gasification: Hot Gas Clean-up. Report Submitted to IEA Biomass Gasification Working Group, Ensyn Technologies/NREL





LAMPIRAN

HASIL UJI LABORATORIUM