

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat, berkah, hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Penambahan Katalis Bentonit Terhadap Gasifikasi *Updraft* Tandan Kosong Kelapa Sawit Pada Temperatur 700°C”**, yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini, Penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu tercinta, yaitu Ibu Rif'ati, Saudara perempuan penulis tersayang Nurul Muayatin yang telah memberi do'a, dukungan, semangat tak terhingga, dan segala yang terbaik buat penulis.
2. Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng, selaku dosen pembimbing skripsi atas semua ilmu, saran, dan waktu yang telah diberikan selama penyusunan skripsi ini.
3. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
4. Teguh Dwi Widodo ST., M.Eng, Ph.D, selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
5. Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
6. Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku ketua Kelompok Kosentrasi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
7. Ir. Ari Wahjudi, MT. selaku dosen pembimbing akademis, yang telah memberikan bimbingan, nasehat dan motivasi selama saya menuntut ilmu di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
8. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
9. Rekan penelitian, Mas Ayan sathibi. ST, Mas Noviendo, Mas Iman Muhammad Qudus yang selalu menjalin koordinasi yang baik sehingga penulis bisa menyelesaikan Skripsi ini.
10. Teman-teman kontrakan saya Ojak, Moris, Afif, Antok, Rival, Dimas.
11. Keluarga besar M13 yang selalu menjadi bagian selama di kampus.

12. Asisten Laboratorium Pengecoran Logam Sudiro, Fajar, Redy, Yeppy, Hisyam, Tiara, Fathur, Ahlal, Fahri yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
13. Mas-mas asisten Laboratorium Pengecoran Logam Mas Iyan, Mas Afrizal, Mas Jefri, Mas Harsa, Mas Darmo, Mas Mamat, Mas Oddy dan Mas-mas lainnya yang selalu menjadi panutan dan motivasi.
14. Teman-teman alumni SMA N 1 Singgahan yang senantiasa memberikan untaian semangat.
15. Teman-teman dekat saya di Tuban yang selalu memberikan semangat baru.
16. Lia Fitriyati atas semua dukungan, do'a, motivasi, perhatian, dan target serta waktu yang diberikan untuk menyelesaikan skripsi ini
17. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya dan penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang lebih baik lagi.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi para pembaca umumnya sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

Malang, 8 Mei 2018

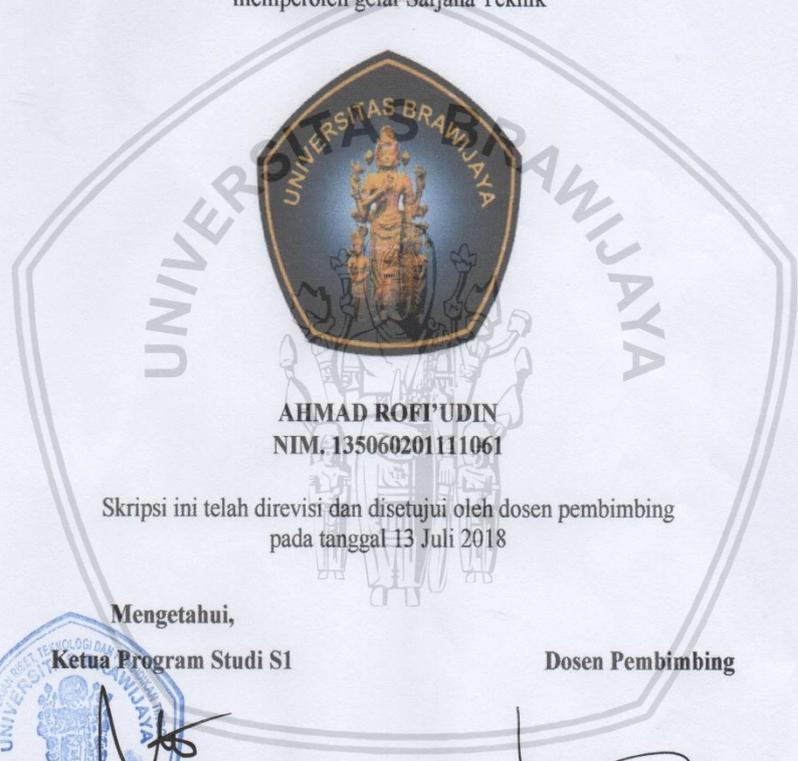
Penulis

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS BENTONIT TERHADAP  
GASIFIKASI *UPDRAFT* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA  
TEMPERATUR 700°C**

**SKRIPSI  
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AHMAD ROFI'UDIN  
NIM. 135060201111061**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 13 Juli 2018

Mengetahui,

**Ketua Program Studi S1**

**Dosen Pembimbing**

**Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.**  
NIP. 19740930 200012 1 001

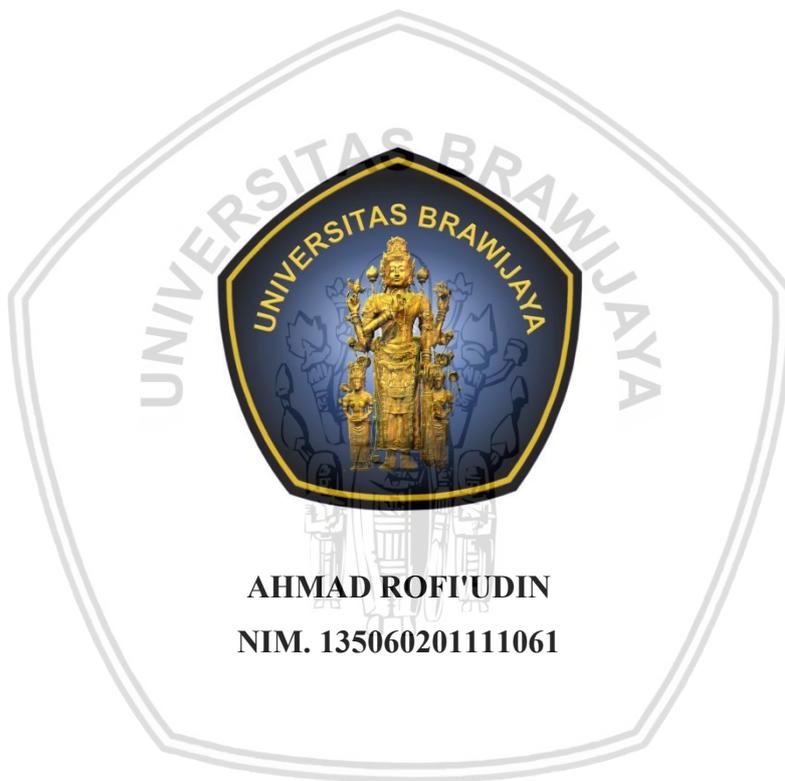
**Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng**  
NIP. 19740121199903101



**PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS BENTONIT TERHADAP  
GASIFIKASI *UPDRAFT* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA  
TEMPERATUR 700°C**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AHMAD ROFI'UDIN  
NIM. 135060201111061**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**



### PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelurusan berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak pernah terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

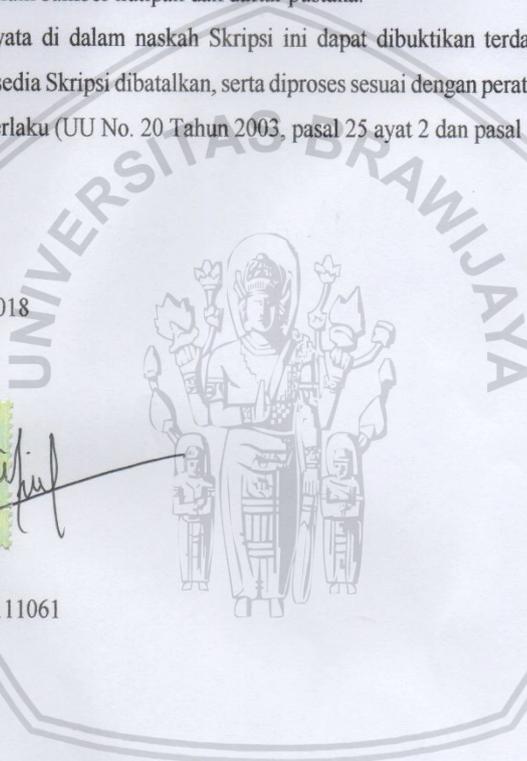
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 13 Juli 2018

Mahasiswa,



Ahmad Rofi,udin  
NIM. 135060201111061



**JUDUL SKRIPSI:**

**PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS BENTONIT TERHADAP GASIFIKASI  
UPDRAFT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA TEMPERATUR 700°C**

Nama Mahasiswa : Ahmad Rofi'udin  
NIM : 135060201111061  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat : Teknik Konversi Energi

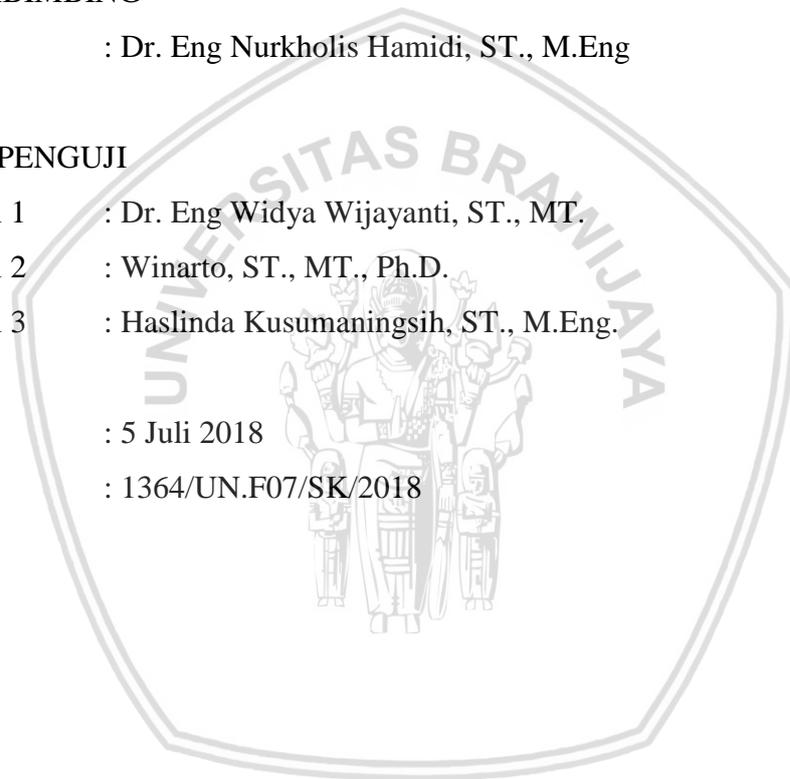
**KOMISI PEMBIMBING**

Pembimbing : Dr. Eng Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng

**TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng Widya Wijayanti, ST., MT.  
Dosen Penguji 2 : Winarto, ST., MT., Ph.D.  
Dosen Penguji 3 : Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.

Tanggal Ujian : 5 Juli 2018  
SK Penguji : 1364/UN.F07/SK/2018



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 094/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

AHMAD ROFI'UDIN

Dengan Judul Skripsi :

PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS BENTONIT TERHADAP GASIFIKASI UPDRAFT  
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA TEMPERATUR 700°C

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan  
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 16 JUL 2018



Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Djaret B. Darmadi, MT., Ph.D  
NIP.19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
NIP. 19740930 200012 1 001

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>viii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>ix</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>x</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) .....	8
2.3 Biomassa .....	9
2.3.1 Lignoselulosa .....	9
2.3.2 Lignin .....	10
2.3.3 Hemiselulosa .....	11
2.3.4 Selulosa .....	12
2.4 Katalis .....	13
2.5 Bentonit .....	13
2.6 Gasifikasi .....	15
2.6.1 Jenis-jenis Gasifikasi .....	16
2.6.2 Proses pada Reaktor Gasifikasi .....	17
2.6.2.1 <i>Thermal Cracking</i> .....	19
2.6.2.2 Reaksi Dekomposisi .....	20
2.7 Syngas .....	20
2.8 Hipotesis .....	21



### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Metode Penelitian .....	23
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.3 Variabel Penelitian .....	23
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	24
3.4.1 Alat Penelitian.....	24
3.4.2 Bahan Penelitian .....	28
3.5 Prosedur Penelitian .....	29
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	31

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Pengolahan Data .....	33
4.2 Perhitungan Laju Pemanasan .....	33
4.3 Data Hasil Penelitian .....	34
4.4 Pembahasan dan Analisa Grafik.....	34
4.4.1 Analisa Grafik Suhu Terhadap Waktu Temperatur Gasifikasi Pada Suhu 700 °C .....	34
4.4.2 Volume dan Laju Produksi Syngas Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	37
4.4.3 Komposisi Syngas, dan Hasil Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Penambahan Katalis dan Tanpa Katalis.....	39
4.4.4 Perhitungan Kalor Syngas Hasil Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawir...	41

### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran .....	43

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Komposisi Kimia Bentonit.....	14
Tabel 4.1	Perhitungan nilai kalor <i>syngas</i> pada setiap variasi bentonit.....	41



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Grafik hasil penelitian pengaruh temperatur terhadap entalpidan <i>kinetic rate</i> gas pirolisis serbuk kayu mahoni.....	5
Gambar 2.2	Pengaruh rasio katalis terhadap rendemen asap cair pada waktu 60 menit .....	7
Gambar 2.3	A. Presentase hasil pirolisis pada temperatur 650 °C, B. Presentase hasil pirolisis pada temperatur 550 °C, C. Presentase hasil pirolisis pada temperatur 450 °C.....	7
Gambar 2.4	Pohon kelapa sawit .....	8
Gambar 2.5	Tandan kosong kelapa sawit.....	8
Gambar 2.6	Selulosa, lignin dan hemiselulosa yang saling berikatan pada dinding sel .....	10
Gambar 2.7	Unit-unit penyusun lignin .....	11
Gambar 2.8	Struktur lignin dari <i>softwood</i> .....	11
Gambar 2.9	Struktur hemiselulosa .....	12
Gambar 2.10	Struktur selulosa .....	13
Gambar 2.11	<i>Updraft gasifier</i> .....	16
Gambar 2.12	<i>Downdraft gasifier</i> .....	17
Gambar 2.13	Macam-macam mekanisme konversi biomassa.....	18
Gambar 2.14	Reaksi pembentukan radikal bebas.....	19
Gambar 2.15	Reaksi <i>beta-scission</i> dan <i>alpha-scission</i> .....	20
Gambar 2.16	Dekomposisi biomassa .....	20
Gambar 2.17	<i>Syngas</i> sebagai sumber bahan bakar.....	21
Gambar 3.1	Instalasi gasifikasi.....	24
Gambar 3.2	<i>Advantech USB-4718 data logger</i> .....	25
Gambar 3.3	<i>Moisture analyzer</i> .....	27
Gambar 3.4	<i>Gas chromatography</i> .....	27
Gambar 3.5	Timbangan elektrik.....	28
Gambar 3.6	Diagram alir penelitian .....	31
Gambar 4.1	Hubungan suhu terhadap waktu gasifikasi tandan kosong kelapa sawit.....	34
Gambar 4.2	A. Tempertur gasifikasi tanpa penambahan bentonit, B. temepratur gasifikasi dengan bentonit 10%, C. temperatur gasifikasi dengan bentonit 30%, D. temperatur gasifikasi dengan bentonit 50%.....	35

Gambar 4.3 Laju pemanasan gasifikasi tandan kosong kelapa sawit..... 36

Gambar 4.4 Laju produksi volume *syngas* gasifikasi tandan kosong kelapa sawit..... 37

Gambar 4.5 Hasil *syngas* gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan katalis dan tanpa penambahan katalis..... 38

Gambar 4.6 Komposisi hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan bentonit dan tanpa penambahan bentonit pada suhu 700°C ..... 39

Gambar 4.7 Komposisi *syngas* hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit tanpa bentonit dan dengan penambahan bentonit..... 40

Gambar 4.8 Nilai kalor *syngas* gasifikasi tandan kosong kelapa swit..... 42



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Data dari data logeer gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan 0% bentonit
- Lampiran 2** Data dari data logger gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan 10% bentonit
- Lampiran 3** Data dari data logger gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan 30% bentonit
- Lampiran 4** Data dari data logger gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan 50% bentonit
- Lampiran 5** Volume, waktu, dan temperatur *heater* gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan bentonit 0%
- Lampiran 6** Volume, waktu, dan temperatur *heater* gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan bentonit 10%
- Lampiran 7** Volume, waktu, dan temperatur *heater* gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan bentonit 30%
- Lampiran 8** Volume, waktu, dan temperatur *heater* gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan bentonit 50%
- Lampiran 9** Komposisi *syngas* pada penambahan bentonit 0%
- Lampiran 10** Komposisi *syngas* pada penambahan bentonit 10%
- Lampiran 11** Komposisi *syngas* pada penambahan bentonit 30%
- Lampiran 12** Komposisi *syngas* pada penambahan bentonit 50%
- Lampiran 13** Tabel *calorific values*

## RINGKASAN

**Ahmad Rofi'udin**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Mei 2018, *Pengaruh Penambahan Katalis Bentonit Terhadap Gasifikasi Updraft Tandan Kosong Kelapa Sawit Pada Temperatur 700°C*, Dosen pembimbing: Nurkholis Hamidi.

Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang tersedia di alam. Untuk mendapatkan hasil yang lebih efisien dan ramah terhadap lingkungan maka diperlukan proses konversi yang lebih baik. Contoh dari konversi biomassa menjadi energi alternatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan adalah dengan cara gasifikasi jenis *updraft*.

Gasifikasi merupakan salah satu teknologi pembentuk energi terbarukan dengan memanfaatkan biomassa yang terdapat di alam. Bahan padat atau cair dikonversi menjadi gas yang dapat digunakan sebagai energi terbarukan. Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi ini merupakan gas yang dapat terbakar seperti, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO dan senyawa yang sifatnya tidak murni seperti, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, dan TAR. Gasifikasi menggunakan proses degradasi termal material organik pada temperatur tinggi didalam pembakaran yang tidak sempurna.

Penelitian ini akan memanfaatkan limbah tandan kosong sawit sebagai biomassa penghasil *syngas*. *Syngas* akan dihasilkan melalui proses gasifikasi dengan penambahan katalis bentonit pada biomassa. Pada penelitian ini di harapkan dengan penggunaan bentonit sebagai katalis dapat meningkat produk *syngas* dari biomassa tandan kosong kelapa sawit dan menurunkan energi aktivasi. Variasi yang digunakan penelitian ini adalah penambahan katalis bentonit sebesar 0%, 10%, 30%, dan 50% pada temperatur gasifikasi 700°C.

Dari analisa yang telah dilakukan, diperoleh laju pemanasan tertinggi sebesar 9,3 °C/menit pada penambahan katalis bentonit 50%. Laju pemanasan terendah sebesar 8,48 °C/menit pada tanpa penambahan katalis bentonit. Nilai laju produksi *syngas* tertinggi adalah pada penambahan katalis bentonit 50% sebesar 2278,46356 cm<sup>3</sup>/menit, dan laju produksi *syngas* terendah adalah pada tanpa penambahan katalis bentonit yaitu sebesar 1694,54 cm<sup>3</sup>/menit. Nilai total volume *syngas* tertinggi adalah 60,548 liter pada penambahan katalis bentonit 50%. Sedangkan untuk nilai volume terendah adalah 51,042 liter pada tanpa penambahan katalis bentonit.

**Kata kunci:** Gasifikasi, Tandan kosong kelapa sawit, Dekomposisi, Bentonit, Katalis, *Syngas*, *catalytic cracking*, *thermal cracking*.

## SUMMARY

**Ahmad Rofi'udin**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, may 2018, *The Effect of Addition of Bentonit Catalyst Against The Updraft Gasification Bunches of Empty Palm At Temperature 700 ° C*, Academic Supervisor: Nurkholis Hamidi.

*Biomass is renewable source of energy that available in the nature. It also can be converted to be better fuel that is more friendly to the environment by some processes. One of the processes that can convert the biomass to the gas fuel is by gasification.*

*Gasification is one of the constituent technologies by utilizing renewable energy of biomass. Solid or liquid material is converted into gas that can be used as renewable energy. The resulting gas from gasification process is able gas, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO. Gasification using thermal degradation process of organic material at high temperatures in the incomplete combustion.*

*This research will utilize waste empty Palm bunches as producing biomass syngas. Syngas was produced through gasification process with the addition of bentonite catalysts. Is research on the expected with the use of bentonite as catalyst can increase product from biomass syngas empty Palm bunches and lower the activation energy. This research used variation is the addition of bentonite catalysts of 0%, 10%, 30%, and 50%. The temperature of gasification was 700 ° C.*

*The results obtained the highest rate of warming of 9.3 ° C/min on the addition of 50% bentonite catalysts. The lowest rate of warming of 8.48 ° C/min on without adding the catalyst bentonite. The value of the rate of production of syngas catalysts is highest on the addition of bentonite 50% of 2278.46356 cm<sup>3</sup>/min, and the rate of production of syngas is lowest on bentonite catalysts i.e. without adding of 1694.54 cm<sup>3</sup>/min. The total value of the highest volume of syngas is 60.548 litres in addition 50% bentonite catalysts. As for the value of the lowest volume is 51.042 liter on without adding the catalyst bentonite.*

**Keywords:** *Gasification, Bunches of Empty Palm, Decomposition, Bentonite, Catalyst, Syngas, catalytic cracking, thermal cracking.*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi fosil merupakan energi yang terbentuk dari makhluk hidup jutaan tahun dan terkubur di bawah bumi. Ketersediaan energi fosil di alam jumlahnya terbatas namun kebutuhan akan penggunaan energi sebagai sumber kehidupan manusia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Sehingga dibutuhkan peralihan dari energi fosil menjadi energi terbarukan.

Indonesia masih menghadapi banyak persoalan pembangunan dalam bidang energi. Sumber daya energi nasional sudah tidak mencukupi kebutuhan energi yang terus meningkat sehingga impor energi tidak dapat dihindari. Kebutuhan bahan bakar minyak dan minyak mentah sebagai *intake* kilang minyak sudah tergantung pada komoditas impor sejak tahun 2004. Sementara kenaikan kebutuhan energi yang dinyatakan dalam net pasokan dalam negeri lebih tinggi dari kenaikan penyediaan energi sebesar 4,4 % per tahun. Hal ini mengakibatkan terdorongnya impor energi sehingga meningkatkan dengan laju sebesar 6,3% per tahun. Jika kondisi ini terus-menerus terjadi, maka di beberapa tahun yang akan datang Indonesia akan mengalami krisis energi dan menjadi negara “*net importer*” (*Outlook Energi Indonesia*, 2016).

Biomassa merupakan *renewable energi sources* ( RES ) yang tersedia secara kontinu di alam. Indonesia merupakan penghasil biomassa terbesar di ASEAN akan tetapi pemanfaatannya masih kurang maksimal (Rantanen 2009 ). Biomassa dapat langsung atau digunakan sebagai sumber energi bagi kehidupan dengan cara dibakar langsung atau dapat dikonversi menjadi energi terbarukan dengan menggunakan teknologi konversi. Pembakaran secara langsung memiliki banyak kelemahan salah satunya nilai kalor biomassa yang dibakar secara langsung lebih rendah dan memiliki banyak polusi karena partikulat yang tidak ikut terbakar.

Indonesia memiliki sumber biomassa yang berlimpah. Perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu perkebunan yang di budidayakan di Indonesia terutama di pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua. Selama proses pengolahan kelapa sawit, menghasilkan produk berupa *Crude Palm Oil* (CPO) dan limbah. Luas area perkebunan kelapa sawit setiap tahun bertambah. Pada 2011 luas areal perkebunan sawit 8.992.824 Ha dengan jumlah produksi

23.096.541 Ton Sedangkan pada 2015 jumlah area perkebunan kelapa sawit 11.300.370 Ha dengan produksi 31.284.306 Ton (Dirjen Perkebunan, 2015). Dalam satu ton pengolahan CPO (*Crude Palm Oil*) limbah sawit yang di hasilkan berupa tandan kosong 1,16 ton, serat 0,53 ton, cangkang 0,3 ton, dan abu 0,02 ton (Hayashi K, 2007). Dapat di asumsikan dengan jumlah produksi pada tahun 2015 potensi tandan kosong kelapa sawit sebesar 9.385.291,8 Ton.

Dengan penjelasan di atas maka limbah kelapa sawit dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi dan juga mengurangi limbah tersebut. Limbah tandan kosong kelapa sawit dapat dimanfaatkan menjadi energi alternatif melalui proses termokimia. Melalui proses termokimia biomassa dapat di ubah menjadi energi dengan tiga cara yaitu: pembakaran langsung (*direct combustion*), gasifikasi dan pirolisa.

Gasifikasi merupakan proses konversi energi yang mengubah biomassa padat menjadi biogas yang nantinya menjadi sumber energi bagi kehidupan manusia. Dalam berbagai sumber, dijelaskan bahwa gasifikasi biomassa merupakan pembangkit energi yang terbarukan dan lebih efisien dibandingkan energi fosil yang saat ini telah sangat menipis jumlahnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian cara untuk meningkatkan hasil dari gasifikasi biomassa. Dengan bantuan katalis diharapkan dapat mempercepat proses dekomposisi termal pada biomassa sehingga gas yang dihasilkan pada proses gasifikasi semakin optimal.

Dalam tahapan pada proses gasifikasi, pada gasifier objek akan direduksi oleh *steam* dan CO<sub>2</sub> menghasilkan gas H<sub>2</sub> dan CO. peningkatan jumlah atau laju *steam* mengakibatkan penurunan gas CO pada gas produk, namun akan meningkatkan kandungan H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> melalui reaksi geser atau *shift reaction*.

Pada proses gasifikasi dapat ditambahkan katalis. Katalis adalah zat yang di gunakan untuk mempercepat reaksi kimia. Penambahan katalis dapat mengurangi kebutuhan energi pereaksian sehingga proses pereaksian dapat terjadi pada temperatur rendah. Katalis dapat berupa mineral yang berasal dari alam seperti bentonit. Kemampuan bentonit sebagai katalisator telah di uji oleh Dou (2016) dimana penambahan bentonit dapat meningkatkan komposisi dan volume gas.

Banyak cara yang dilakukan untuk meningkatkan hasil gasifikasi yang berupa gas, salah satunya dengan menggunakan bentonit yang telah diaktifasi selama proses gasifikasi berlangsung. Penggunaan katalis bentonit dalam proses gasifikasi berfungsi untuk menyerap kandungan air sehingga reaksi dekomposisi atau penguraian rantai panjang hidrokarbon yang terdapat pada biomassa terurai menjadi rantai hidrokarbon pendek menjadi lebih cepat. Bentonit

juga dapat menyerap kandungan tar sehingga dapat meningkatkan hasil dari gasifikasi yang berupa biogas. Ketersediaan bentonit yang melimpah di alam dan mudah didapatkan juga menjadi pertimbangan mengapa bentonit dipilih sebagai katalis pada proses gasifikasi. Oleh karena itu katalis bentonit dipilih agar dapat meningkatkan hasil gasifikasi dan menurunkan biaya produksi.

Pada penelitian ini, akan dikaji melalui suatu simulasi pemanfaatan tandan kosong sawit sebagai sumber energi hidrogen melalui proses hidrogen. Simulasi dilakukan dengan menggunakan pendekatan model keseimbangan termodinamika, suatu model yang telah banyak diterapkan dalam gasifikasi berbagai biomassa. Hasil dari simulasi ini dapat dimanfaatkan sebagai input dalam desain ataupun proses gasifikasi (Melgar, et al., 2007).

Oleh sebab itu penulis akan melakukan penelitian tentang bagaimana pengaruh bentonit terhadap produksi hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan metode *updraft* pada suhu 700 °C. Dengan katalis bentonit diharapkan hasil dari gasifikasi tandan kosong kelapa sawit lebih maksimal.

## 1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, dirumuskan sebuah masalah yaitu :  
Bagaimana pengaruh penambahan bentonit terhadap produktifitas *syngas* hasil tandan kosong kelapa sawit dengan menggunakan metode gasifikasi?

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat batasan – batasan antara lain yaitu :

1. Proses pembuatan *syngas* menggunakan metode gasifikasi.
2. Bahan baku atau biomassa yang digunakan adalah tandan kosong kelapa sawit.
3. Katalis yang digunakan adalah Na- bentonit
4. Temperatur gasifikasi dan katalis yang digunakan selama pengujian yaitu pada temperatur 700°C.
5. Penambahan bentonit yang digunakan adalah sebesar 10%, 30% dan 50%.
6. Gasifikasi dengan metode *updraft*
7. Produk *syngas* yang dihasilkan diamati dengan menggunakan *gas chromatography*
8. Temperatur awal gasifikasi adalah 25 °C – 27 °C

9. Temperatur ruangan saat pengujian adalah 25 °C – 27 °C

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menghasilkan *syngas* sebagai pengganti bahan bakar fosil yang semakin menipis dan sebagai energi alternatif.
2. mengetahui pengaruh bentonit terhadap gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit pada temperatur 700 °C

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

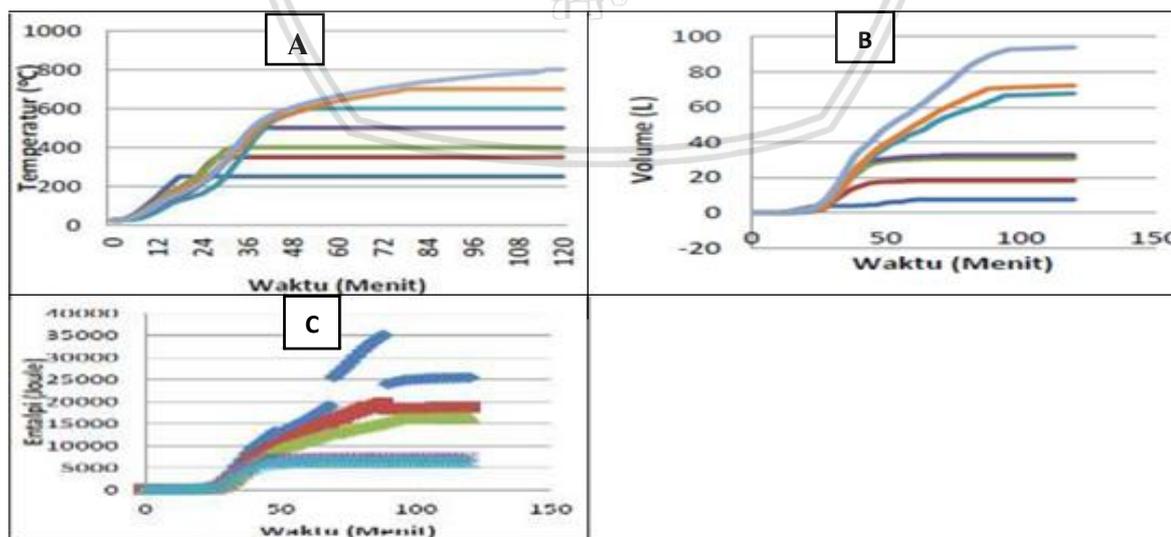
1. Dapat menerapkan ilmu yang didapat dari perkuliahan
2. Menghasilkan data penelitian yang nantinya dapat dibandingkan dengan proses proses gasifikasi yang lain
3. Untuk menjadi rujukan atau referensi dalam penelitian selanjutnya agar perkembangan teknologi gasifikasi semakin maju
4. Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang pemanfaatan biomassa agar dapat menjadi energi terbarukan yang memiliki banyak keuntungan.
5. Memberikan pengetahuan tentang penggunaan limbah tandan kosong kelapa sawit sebagai salah satu penyedia bahan baku untuk memproduksi *syngas*.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Gasifikasi biomassa merupakan pembangkit energi yang terbarukan dan lebih efisien dibandingkan energi fosil yang saat ini telah sangat menipis jumlahnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian cara untuk meningkatkan hasil dari gasifikasi biomassa. Seiring berkembang zaman, teknologi gasifikasi untuk mengkonversikan biomassa menjadi *flammable* gas terus berkembang. Dimana semakin banyak penelitian yang bertujuan untuk mengoptimalkan hasil dari gas mampu bakar meliputi volume gas yang dihasilkan maupun komposisi kimia gas yang dihasilkan melalui proses gasifikasi.

Suwardono, 2015, melakukan penelitian pengaruh temperatur terhadap entalpi dan *kinetic rate* gas pirolisis serbuk kayu mahoni. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap perubahan volume gas dimana persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai *kinetic rate* yaitu persamaan volume per satuan waktu. Dalam penelitian ini dilakukan secara eksperimental pada temperatur 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, dan 800 °C. dimana data yang diambil adalah *flow rate* dari gas dan menyimpan gas pada *sampling bag* yang akan di uji pada gas *chromatograph*. Pada penelitian tersebut didapatkan grafik seperti berikut.



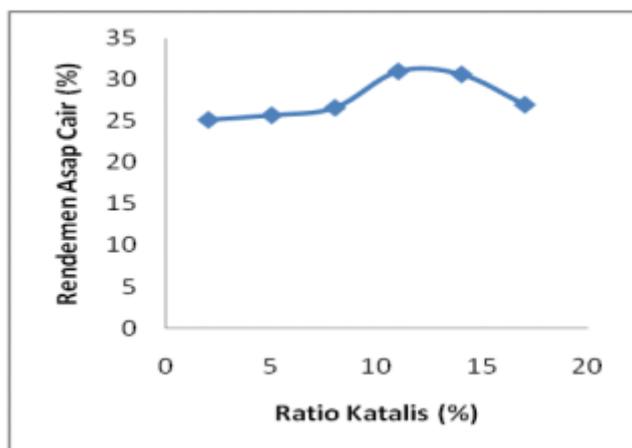
Gambar 2.1 Grafik hasil penelitian pengaruh temperatur terhadap entalpi dan *kinetic rate* gas pirolisis serbuk kayu mahoni  
Sumber: Suwardono (2015)

Pada grafik hasil penelitian A dan B dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi volume gas total (L) yang terbentuk hal ini dikarenakan lignin pada biomassa semakin banyak yang terdekomposisi seiring dengan semakin besarnya energi yang diberikan. Untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap entalpi gas yang dihasilkan ditunjukkan oleh grafik C. Pada grafik tersebut menunjukkan entalpi gas pada temperatur 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, dan 800 °C. secara berturut turut dari atas ke bawah. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur maka entalpi gas yang dihasilkan semakin tinggi, hal ini dikarenakan nilai mold dan volume pada tiap gas yang semakin tinggi.

Hossain et al, 2017, pada penelitian ini diamati pengaruh penambahan katalis Ni-Ru- $\text{Al}_2\text{O}_3$  terhadap gasifikasi glukosa. Pada gambar 2.1 ditunjukkan bahwa total organik karbon yang dihasilkan seiring pertambahan temperatur bertambah. Pada temperatur 500°C merupakan temperatur dengan total organik karbon tinggi. Penambahan katalis Ni-Ru- $\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat meingkatkan total organik karbon. Total organik karbon adalah jumlah karbon yang mengikat pada rangkaian organik. Semakin tinggi total organik karbon maka gas yang dihasilkan pada gasifikasi akan bertambah, Jadi penambahan Ni-Ru- $\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat meningkat gas yang dihasilkan pada gasifikasi.

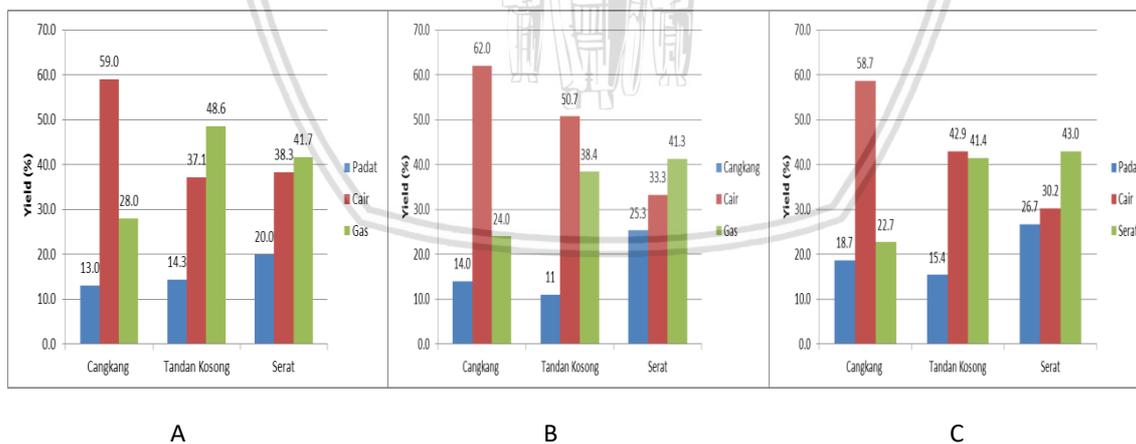
Dou, 2016, melakukan penelitian pirolisis menggunakan biji nanas dan biji mangga dengan menggunakan *bentonit* sebagai katalisator. Dimana hasilnya adalah penambahan bentonit meningkatkan kadar hydrogen ( $\text{H}_2$ ) dan metana ( $\text{CH}_4$ ) pada produksi gas hasil pirolisis meskipun pada temperatur rendah. Penambahan *bentonit* dapat meningkatkan volume gas yang dihasilkan. Pada temperatur 300 °C merupakan temperatur dengan volume gas tertinggi. Jadi penambahan katalis bentonit pada proses pirolisis berfungsi untuk mengoptimalkan produksi dan komposisi gas meskipun pada temperatur pirolisis rendah.

Padil et al 2011, meneliti pirolisis cangkang sawit menjadi asap cair dengan katalis bentonite dengan variable bebas yaitu waktu pirolisis (30, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit), dan perbandingan cangkang-katalis bentonit 2%, 5%, 8%, 11%, 14 % dan 17 % dari jumlah massa cangkang sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum pembuatan asap cair menggunakan katalis bentonit yaitu waktu pirolisis 60 menit dengan rasio katalis 11% (% berat). Pada kondisi ini, kadar asam asetat sebesar 21,767% dan kadar fenol 5,532%.



Gambar 2.2 Pengaruh rasio katalis terhadap rendemen asap cair pada waktu 60 menit  
Sumber: Padil et al (2011)

Ningrum, 2011, melakukan penelitian *fast pyrolysis* limbah kelapa sawit (cangkang, tandan kosong dan serat) untuk menghasilkan *biooil*. Penelitian ini menghasilkan grafik hubungan antara temperatur pemanasan dengan presentase hasil *fast pyrolysis*. Dimana hasilnya pada temperatur 550°C merupakan temperatur terbaik untuk mengkonversi limbah cangkang kelapa sawit dan tandan kosong menjadi cair. Temperatur 650°C merupakan temperatur optimum untuk mengkonversi serat menjadi cair. Cair maksimum pada masing-masing temperatur optimum cangkang 62%, tandan kosong 50,7% dan serat 38,3 %. Produk cair dari *fast pyrolysis* cenderung susah terbakar karena memiliki kadar air tinggi.



Gambar 2.3 A. Presentase hasil pirolisis pada temperatur 650 °C, B. Presentase hasil pirolisis pada temperatur 550 °C, C. Presentase hasil pirolisis pada temperatur 450 °C  
Sumber: Ningrum (2011)

## 2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) adalah limbah pabrik kelapa sawit yang jumlahnya sangat melimpah. Setiap pengolahan 1 ton TBS (Tandan Buah Segar) akan dihasilkan TKKS sebanyak 22 – 23% TKKS atau sebanyak 220 – 230 kg TKKS. Apabila dalam sebuah pabrik dengan kapasitas pengolahan 100 ton/jam dengan waktu operasi selama 1 jam, maka akan dihasilkan sebanyak 23 ton (Yunindanova, 2009).

Kandungan nutrisi kompos tandan kosong kelapa sawit: C 35%, N 2,34%, C/N 15, P 0,31%, K 5,53%, Ca 1,46%, Mg 0,96%, dan Air 52%. Kompos TKKS dapat diaplikasikan untuk berbagai tanaman sebagai pupuk organik, baik secara tunggal maupun dikombinasikan dengan pupuk kimia (Widiastuti dan Panji, 2007).

Berdasarkan literatur yang ada kandungan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) mengandung Selulosa 41,3% - 46,5% ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>, Hemi Selulosa 25,3% - 32,5% dan mengandung Lignin 27,6% - 32,5%. (Kamal, 2012)



*Gambar 2.4* Pohon kelapa sawit  
Sumber: Sudarminto (2015)



*Gambar 2.5* Tandan kosong kelapa sawit  
Sumber: Bentra (2015)

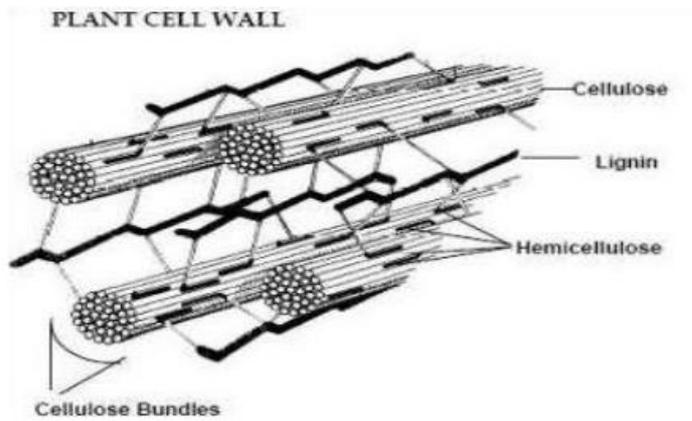
## 2.3 Biomassa

Tandan kosong kelapa sawit adalah salah satu limbah dari pengolahan minyak kelapa sawit yang memiliki potensi besar menjadi sumber biomassa karena memiliki sumber biomassa selulosa yang cukup tinggi dan sifatnya terbarukan. Biomassa adalah limbah padat organik yang tersedia di alam dan bisa dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar. Biomassa meliputi limbah kayu, limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah hutan, komponen organik dari industri dan rumah tangga. Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi) karena beberapa sifatnya yang dapat diperbaharui (*renewable resources*), sumber energi ini relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian. (Rofiatussa, 2009).

Terbentuknya biomassa merupakan hasil dari interaksi antara karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), udara, air, tanah dan sinar matahari (Basu, 2010). Biomassa disebut juga sebagai salah satu sumber energi yang ramah lingkungan karena sumber  $\text{CO}_2$  berasal dari  $\text{CO}_2$  di udara. Hasil pembakaran biomassa adalah  $\text{CO}_2$  dimana jumlah  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan sama dengan  $\text{CO}_2$  yang diserap selama proses fotosintesis. Dengan adanya sinar matahari dan adanya kandungan air, tumbuhan dapat mengkonversi  $\text{CO}_2$  menjadi glukosa dan juga oksigen. Setiap satu mol karbon dioksida yang diserap oleh tumbuhan dapat dirubah menjadi karbohidrat dan juga glukosa pada biomassa. Biomassa merupakan salah satu bentuk energi baru terbarukan (EBT) yang tersedia dalam jumlah besar dan sangat cocok untuk dikembangkan di Indonesia. Tergolongnya Indonesia sebagai negara agraris, dimana sangat melimpahnya lahan pertanian yang ada di Indonesia menyebabkan banyaknya limbah pertanian di Indonesia yang belum dimanfaatkan dengan baik. Biomassa tersusun atas selulosa, hemiselulosa dan lignin. Struktur tersebut yang akan terurai atau terdekomposisi pada saat dilakukannya proses gasifikasi.

### 2.3.1 Lignoselulosa

Limbah pertanian mengandung banyak bahan lignoselulosa yang bisa didegradasi oleh selulase. Lignoselulosa merupakan komponen organik berlimpah di alam, yang terdiri dari tiga polimer yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Komponen ini merupakan sumber utama untuk menghasilkan produk bernilai seperti gula dari hasil fermentasi, bahan kimia, bahan bakar cair, sumber karbon dan energi. (Pason at al, 2003).



Gambar 2.6 Selulosa, lignin dan hemiselulosa yang saling berikatan pada dinding sel tumbuhan Sumber: Holtzaple et al (2003)

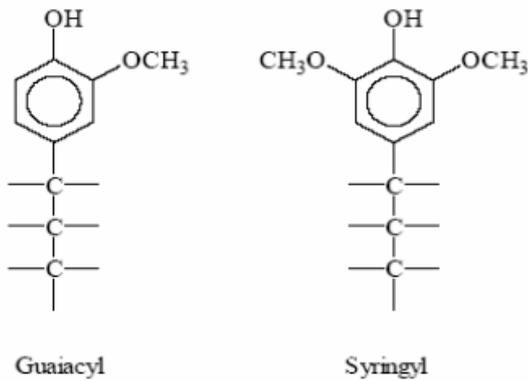
### 2.3.2 Lignin

Lignin ( $C_9H_{10}O_2$ ,  $C_{10}H_{12}O_3$ ,  $C_{11}H_{14}O_4$ ) atau zat kayu adalah salah satu zat komponen penyusun tumbuhan. Komposisi bahan penyusun ini berbeda-beda bergantung jenisnya. Berbeda dengan selulosa yang terbentuk dari gugus karbohidrat, struktur kimia lignin sangat kompleks dan tidak berpola sama. Lignin tidak dapat diuraikan menjadi satuan monomer, karena bila dihidrolisis monomer sangat cepat teroksidasi sehingga cepat terjadi reaksi kondensasi.

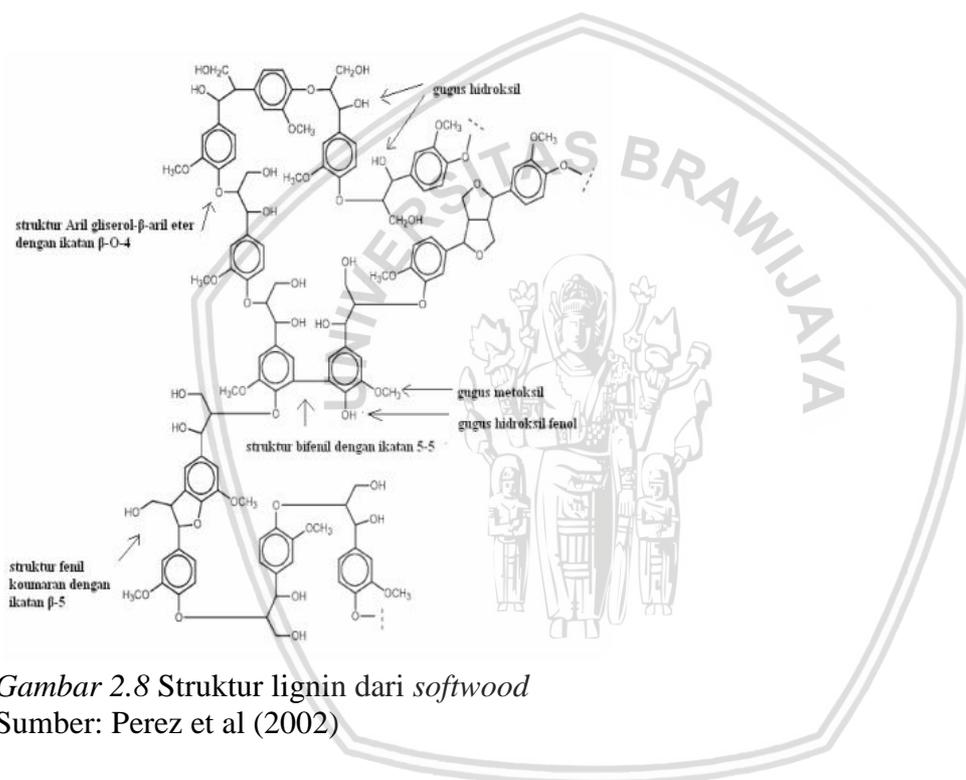
Lignin merupakan polimer kompleks kayu dari *phenylpropane* dan merupakan bagian dalam dari dinding sel tanaman. Lignin berbentuk polimer 3 dimensi dari *4-propenyl phenol*, *4-propenyl-2-methoxy phenol*, dan *4-propenyl-2,5-dimethoxyl phenol* (Diebold dan Bridgewater, 1997)

Lignin terutama terakumulasi pada batang tumbuhan berbentuk pohon dan semak. Lignin umumnya terdapat didaerah lamella tengah. Pada batang, lignin berfungsi sebagai bahan pengikat komponen penyusun lainnya sehingga memberi kekuatan mekanis dan perlindungan pada batang. Oleh sebab itu, lignin merupakan komponen biomassa yang sulit dipecah. Oleh karena itu lignin baru dapat terdekomposisi secara *thermal* mulai pada temperatur  $376\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Struktur molekul lignin sangat berbeda dibandingkan dengan polisakarida karena terdiri atas sistem aromatik yang tersusun atas unit-unit fenilpropana: unit *guaiacyl* dari prekursor *trans*-koniferil alkohol, unit *syringyl* dari prekursor *trans*-sinapil alkohol, dan *p*-hidroksipenil dari prekursor *trans*-koumaril alkohol (Palonen, 2004).



Gambar 2.7 Unit-unit penyusun lignin  
Sumber: Ibrahim (1998)

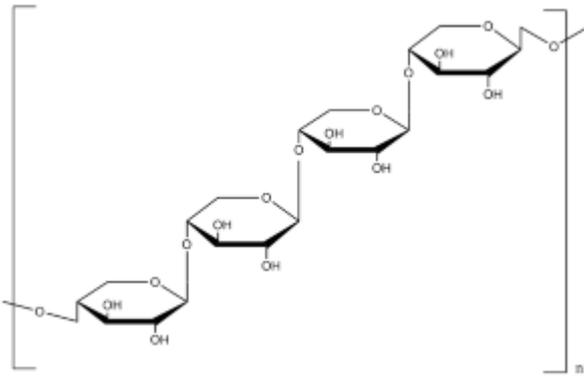


Gambar 2.8 Struktur lignin dari *softwood*  
Sumber: Perez et al (2002)

### 2.3.3 Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan polimer dari pentosa (xilosa, arabinosa), heksosa (manosa, glukosa, galaktosa), dan asam gula. Berbeda dengan selulosa, hemiselulosa tidak homogen secara kimia. Hemiselulosa tersusun dari pentosan ( $C_5H_8O_4$ ) dan heksosan ( $C_6H_{10}O_5$ ). Berat kandungan hemiselulosa sekitar 20-30% dari berat kering kayu. Menurut Ndazi, 2007. Hemiselulosa *hardwood* mengandung paling banyak xialin, sedangkan hemiselulosa *softwood* mengandung paling banyak glukomanan. Xialin merupakan heteropolisakarida dengan rantai homopilimerik dengan ikatan 1,4- $\beta$ -D unit xylopiranosa. Selain xialin dan xilosa, hemiselulosa juga mengandung arabinosa, asam glukoronat, atau 4-o-metil eter, dan asetat, ferulat, dan asam-p-kumarat. Hemiselulosa akan mengalami reaksi oksidasi dan

degradasi terlebih dahulu daripada selulosa, karena rantai molekul hemiselulosa lebih pendek dan bercabang.

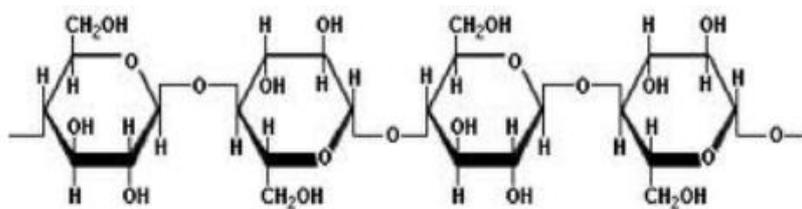


Gambar 2.9 Struktur hemiselulosa  
Sumber: Capitra (2000)

### 2.3.4 Selulosa

Selulosa merupakan polimer yang paling melimpah di alam. Nama selulosa diciptakan oleh Anselme Payen, seorang ahli kimia fisika dan matematika Perancis pada tahun 1838. Selulosa  $(C_6H_{10}O_5)_n$  adalah polimer glukosa yang berbentuk rantai linier dan dihubungkan oleh ikatan  $\beta$ -1,4 glikosidik. Struktur yang linier menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut. Selulosa tidak mudah didegradasi secara kimia maupun mekanis. Unit penyusun selulosa adalah selobiosa karena unit keterulangan dalam molekul selulosa adalah dua unit gula (D-glukosa). Polimer rantai panjang selulosa terikat bersama oleh ikatan hidrogen dan ikatan Van Der Waals, yang mana menyebabkan selulosa terpaket dalam mikrofibril. Mikrofibril selulosa memiliki bagian kristalin yang besar (2/3 dari total selulosa) dan bagian terkecil yang tak berbentuk (amorphous). Semakin kristalin selulosa, akan semakin susah selulosa tersebut untuk terlarut dan terdegradasi (Mussatto and Teixeira, 2010).

Selulosa hampir tidak pernah ditemui dalam keadaan murni di alam, melainkan selalu berikatan dengan bahan lain seperti lignin dan hemiselulosa. Selulosa terdapat dalam tumbuhan sebagai bahan pembentuk dinding sel dan serat tumbuhan. Molekul selulosa merupakan mikrofibril dari glukosa yang terikat satu dengan lainnya membentuk rantai polimer yang sangat panjang. Adanya lignin serta hemiselulosa di sekeliling selulosa merupakan hambatan utama untuk menghidrolisis selulosa (Sjostrom, 1995).



Gambar 2.10 Struktur selulosa  
Sumber: (Sjostrom, 1995).

## 2.4 Katalis

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan dalam reaksi tetapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Penambahan katalis dapat membuat reaksi berlangsung pada temperatur lebih rendah sehingga energi aktivasi yang dibutuhkan menjadi lebih rendah dan energi yang dibutuhkan saat bereaksi menurun. Hal ini menghasilkan reaksi dapat berlangsung lebih cepat (Nainggolan, 2017).

Secara umum katalis dibedakan menjadi katalis heterogen dan homogen. Katalis homogen adalah katalis yang fasenya sama dengan pereaksinya, sedangkan katalis heterogen fasenya berbeda dengan pereaksinya.

Cara kerja katalis adalah mengganggu ikatan kimia reaktan sehingga elektron dari substrat reaktan untuk sementara terperangkap. Ikatan baru terjadi disaat pelemahan ikatan kimia molekul reaktan. Gaya antar molekul melepas ikatan antara produk dan katalis. Reaksi umum ikatan katalitik di gambarkan sebagai berikut, dimana C melambangkan katalisnya:



Meskipun katalis (C) termakan oleh reaksi 1, namun selanjutnya dihasilkan kembali oleh reaksi 2, sehingga untuk reaksi keseluruhannya menjadi:



## 2.5 Bentonit

Bentonit merupakan sejenis tanah lempung yang secara alami mempunyai kemampuan mengembang sampai 15 kali volume keringnya jika menyerap air. Mineral bentonit memiliki diameter kurang dari 2  $\mu\text{m}$ , yang mengandung silika, aluminium oksida dan hidroksida yang dapat mengikat air ( Alvin, 2012 ). Bentonit merupakan istilah dalam dunia perdagangan untuk *clay* yang mengandung *monmorillonit*. Kandungan utama bentonit

adalah mineral *monmorilonit* (80%) dengan rumus kimia  $[Al_{1.67}Mg_{0.33}(Na_{0.33})]Si_4O_{10}(OH)_2$ . Bentonit banyak terdapat secara luas di semua benua. Bentonit dikenal dan dipasarkan dengan berbagai sinonim seperti sabun tanah liat, sabun mineral, *wilkinite*, *staylite*, *vol-clay*, *aquagel*, *ardmorite*, dan *refinite*.

Secara umum bentonit dibagi menjadi dua. Berdasarkan komponen penyusunnya yaitu Na-bentonit dan Ca-bentonit. Natrium bentonit (Na-bentonit) mengandung relatif lebih banyak ion  $Na^+$  dibandingkan dengan ion  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$ . Bentonit ini dapat mengembang hingga 8 – 15 kali apabila dicelupkan ke dalam air dan tetap terdispersi beberapa waktu di dalam air. Pada bentonit jenis ini, posisi pertukaran ion terutama ditempati oleh ion natrium. Sementara itu, kalsium bentonit (Ca-bentonit) mengandung lebih banyak ion  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$ , kurang menyerap air, tetapi secara alamiah atau setelah diaktifkan dengan asam, menjadi adsorben yang baik dan tetap terdispersi dalam air. Pada bentonit jenis ini posisi pertukaran ion didominasi oleh ion kalsium dan magnesium (Alvin, 2012).

Bentonit termasuk mineral yang memiliki gugus alumino-silikat. Unsur-unsur kimia yang terkandung dalam bentonit diperlihatkan pada :

Tabel 2.1  
Komposisi Kimia Bentonit

Senyawa	Na-Bentonit (%)	Ca-Bentonit (%)
SiO <sub>2</sub>	61,3-61,4	62,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,8	17,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,9	5,30
CaO	0,6	3,68
MgO	1,3	3,30
Na <sub>2</sub> O	2,2	0,50
K <sub>2</sub> O	0,4	0,55
H <sub>2</sub> O	7,2	7,22

Sumber: Puslitbang Tekmira (2005)

Biomassa dengan katalis bentonit saat proses pirolisis menghasilkan lebih banyak gas dan meningkatkan kandungan hidrogen dan metana meskipun pada temperatur yang rendah (Dou, 2016). Pada prosesnya terdapat perpindahan atom (-) atau atom (+) dari bentonit ke biomassa. Pada biomassa terdapat ikatan -OH dimana unsur O merekat dengan unsur H dan bergerak bebas serta mudah terlepas sehingga kekosongan antara unsur O dan H dapat digantikan oleh bentonit. Proses perpindahan atom bentonit terjadi di permukaan dimana

atom yang bermuatan tersebut akan menyerap energi panas saat proses gasifikasi berlangsung.

Dengan adanya bentonit proses dekomposisi pemutusan ikatan rantai hidrokarbon panjang pada selulosa, hemiselulosa dan lignin menjadi rantai hidrokarbon pendek menjadi lebih cepat. Hal itu dikarenakan kandungan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) pada bentonit membuat bentonit berfungsi sebagai perambat panas yang baik sehingga proses penyerapan energi panas berlangsung secara optimal menyebabkan mempercepat proses dekomposisi pada biomassa.

Bentonit juga dapat membantu menghilangkan kandungan racun pada proses gasifikasi. Ammonia ( $\text{NH}_3$ ) merupakan molekul yang sangat beracun dan merupakan gas yang tidak mudah terbakar. Ammonia dapat menurunkan pH dan dapat memperlambat proses *co-digestion*. Oleh karena itu kandungan ammonia pada gas hasil gasifikasi sangat merugikan. Penambahan bentonit dengan kandungan  $\text{Ca}^+$  dan  $\text{Na}^+$  dapat membantu mengurangi konsentrasi dari kandungan ammonia.

## 2.6 Gasifikasi

Gasifikasi merupakan salah satu teknologi pembentuk energi terbarukan dengan memanfaatkan biomassa yang terdapat di alam dengan cara mengkonversi bahan padat maupun cair menjadi gas yang dapat digunakan sebagai energi terbarukan. Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi ini merupakan gas yang dapat terbakar seperti,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  dan senyawa yang sifatnya tidak murni seperti,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ , dan TAR. Gasifikasi ini menggunakan proses degradasi termal material organik pada temperatur tinggi didalam pembakaran yang tidak sempurna. Proses gasifikasi pada biomassa terjadi pada alat yang dinamakan gasifier. Pada gasifier biomassa di panaskan dengan minim oksigen sehingga pembakaran didalam gasifier tidak sempurna. Hasil pembakaran yang berupa uap air dan karbon dioksida direduksi sehingga berubah menjadi gas yang mudah terbakar seperti karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan metana ( $\text{CH}_4$ ). Gas-gas yang terbentuk dari proses gasifikasi inilah yang akan menggantikan peran bahan bakar fosil yang semakin menipis keberadaannya. Gas ini dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar transportasi, industri, dan rumah tangga yang selama ini menggunakan bahan bakar fosil.

Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia untuk mengubah material berkarbon menjadi gas mampu bakar. Oleh karena itu, gasifikasi memerlukan bahan baku material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara dan biomassa. Pada gasifier inilah terjadi proses

pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu dan selanjutnya menghasilkan gas mampu bakar dan sisa hasil pembakaran lainnya.

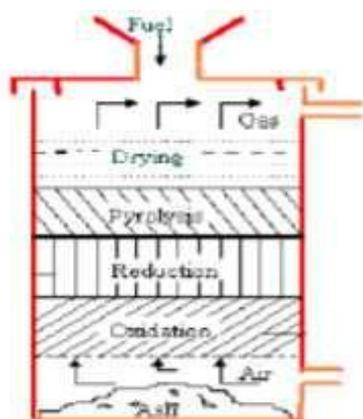
Tujuan dari gasifikasi adalah untuk memutuskan ikatan dari molekul kompleks ini menjadi gas yang sederhana yaitu Hidrogen dan karbon monoksida ( $H_2$  dan  $CO$ ). Kedua gas ini merupakan gas yang mudah terbakar serta memiliki kerapatan energi dan densitas. Keduanya merupakan gas yang sangat bersih dan hanya memerlukan satu atom oksigen untuk dibakar menghasilkan karbon dioksida dan air ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ). Inilah yang menyebabkan pembakaran yang melalui proses gasifikasi memiliki emisi yang lebih bersih. Proses gasifikasi terdiri dari beberapa tahapan yang memiliki kondisi termal berbeda.

### 2.6.1 Jenis-jenis Gasifikasi

Berdasarkan arah aliran fluida gas didalam reaktor gasifikasi pada umumnya dibagi menjadi dua yaitu :

#### a. Gasifikasi *Updraft*

Pada gasifikasi tipe *updraft* ciri dari sistem ini adalah arah aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian bawah *gasifier*. Sementara produksi gas mampu bakar dikeluarkan melalui bagian atas dari *gasifier*. Produksi gas mampu dikeluarkan melalui bagian atas dari reactor sedangkan abu dari proses reaksi jatuh ke bagian bawah *gasifier* karena pengaruh gaya gravitasi dan berat jenis abu sehingga kandungan menjadi lebih bersih. Gas mampu bakar kemudian bergerak menuju bagian atas *gasifier* yang memiliki temperatur lebih rendah. Selain itu kelebihan dari tipe ini adalah dapat digunakan dalam skala kecil dan *char* yang dihasilkan hampir tidak ada karbon karena terbawa oleh gas keatas. Kekurangan dari tipe ini adalah memiliki hasil tar yang tinggi.

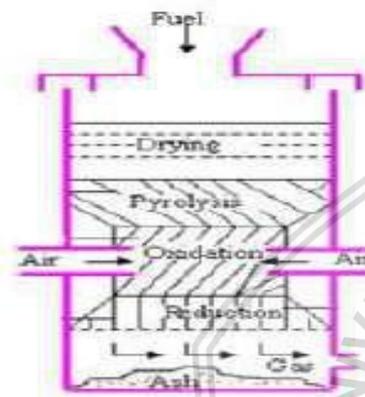


Gambar 2.11 *Updraft gasifier*

Sumber : Tasliman ( 2008 )

## b. Gasifikasi *Downdraft*

Pada gasifikasi tipe *downdraft* ciri dari sistem ini adalah arah aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian atas *gasifier*. Sementara produksi gas mampu bakar dikeluarkan melalui bagian bawah *gasifier*. Produksi gas mampu dikeluarkan melalui bagian bawah dari reaktor. Pada tipe ini gas yang dihasilkan cenderung lebih kotor dari pada tipe *updraft* karena kandungan *char* ikut terbawa keluar oleh gas karena pengaruh gaya gravitasi. Oleh karena itu, kelemahan dari tipe ini adalah sulit untuk mengendalikan abu yang keluar bersamaan dengan gas hasil gasifikasi



Gambar 2.12 *Downdraft* gasifier  
Sumber : Tasliman ( 2008 )

### 2.6.2 Proses Pada Reaktor Gasifikasi

Proses dekomposisi zat dengan temperatur tinggi untuk mendapatkan energi dari hidrokarbon dimana menggunakan medium sebagai oksidatornya disebut gasifikasi. Medium yang dapat digunakan dalam proses gasifikasi dapat berupa gas inert ( $N_2, CO_2$ ), udara, dan uap. Tujuan utama gasifikasi adalah memecah molekul hidrokarbon yang memiliki rantai panjang menjadi molekul yang lebih kecil dan sederhana dalam bentuk gas. Gasifikasi menghasilkan produk sampingan berupa *char* dan *tar*. Sisa bahan baku yang berbentuk padat dalam gasifier disebut *char*. Pada proses kondensasi gas yang keluar dari gasifier dengan menggunakan kondesor menghasilkan produk cair yang disebut *char*. Pengkondensasian gas bertujuan untuk menurunkan uap air yang masih tercampur dengan gas hasil gasifikasi.  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  dan  $H_2$  merupakan gas yang tidak terpengaruh proses kondensasi.

#### 1. Proses Pengeringan

Proses pengeringan bertujuan mengurangi kandungan kadar air pada biomassa. Proses ini berlangsung pada temperatur  $100^\circ C - 300^\circ C$ . Kadar air pada biomassa dihilangkan melalui proses konveksi karena pada reaktor terjadi pemanasan dan udara yang bergerak

megeuarkan kandungan kadar air pada biomassa. Semakin tinggi temperatur pemanasan akan mampu mempercepat proses difusi kadar air yang terkandung di dalam biomassa.

## 2. Proses Pirolisis

Proses ini bertujuan membentuk *tar*, *char* dan senyawa gas yang mampu bakar tanpa oksigen sehingga pembakarannya kurang sempurna. Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi laju pemanasan selama pirolisis berlangsung. Temperatur berlangsungnya proses pirolisis sekitar temperatur 300 °C. reaksi pada pirolisis secara umum sebagai berikut:

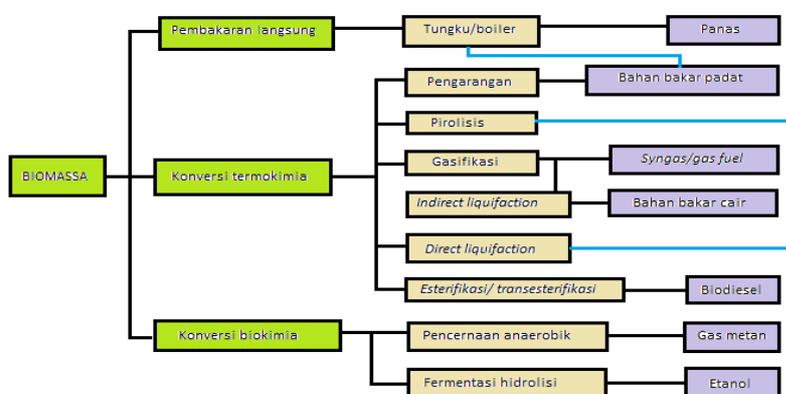


## 3. Proses Reduksi

Proses reduksi adalah proses dimulainya pembentukan gas mampu bakar seperti *hydrogen* dan karbon monoksida dari *char* hasil pirolisis, dimana kandungan dari *char* tersebut mengandung hidrokarbon . Kandungan hidrokarbon dalam *char* tersebut harus direaksikan dengan karbon dioksida. Akibat di reaksikan dengan karbon dioksida maka rantai hidrokarbon terputus dan menghasilkan senyawa H<sub>2</sub>,CH<sub>4</sub>,CO . Temperatur terjadinya proses reduksi antara 400 °C sampai 900 °C.

## 4. Proses Oksidasi / Pembakaran

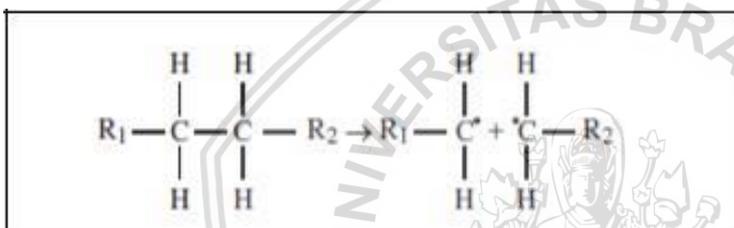
Proses oksidasi adalah proses mulainya pembentukan gas *hydrogen* dari metana. Proses ini terjadi pada temperatur di atas 900°C dan pada proses ini dipengaruhi oleh distribusi oksigen yang merata pada area oksidasi .Syarat terjadinya proses oksidasi atau pembakaran adalah terdapat tiga elemen penting yang saling mengisi satu sama lain, yaitu panas ( *heat* ), bahan bakar ( *fuel* ) dan udara. Bentuk reaksi pembentukan gas *hydrogen* pada proses oksidasi sebagai berikut :



Gambar 2.13 Macam-macam mekanisme koversi biomassa  
Sumber: Jalal (2012)

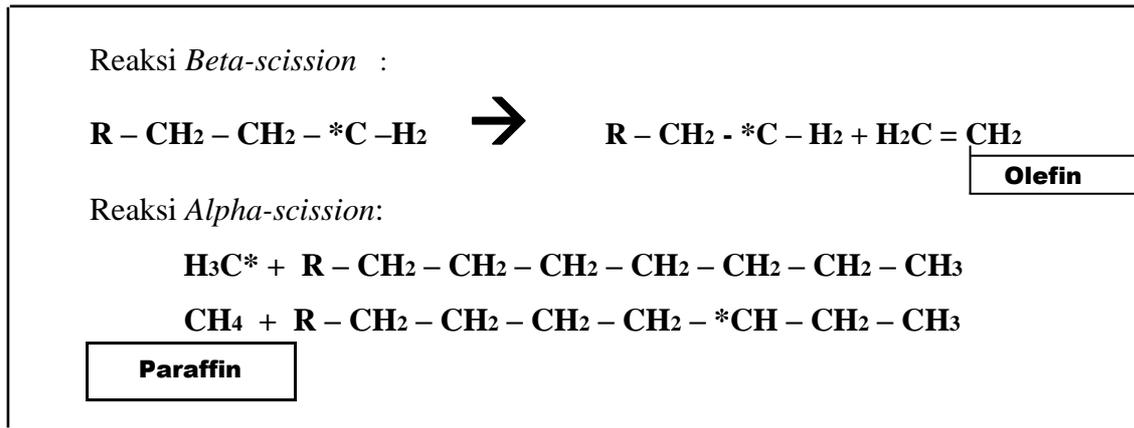
### 2.6.2.1 Thermal Cracking

*Thermal cracking* merupakan proses pemecahan struktur kimia ikatan karbon dengan carbon ( C – C ) pada rantai panjang yang pemecahanan stuktur kimia disebabkan oleh kalor ( panas ) sehingga biomassa dapat terdekomposisi secara *thermal*. Dimana proses tersebut bertujuan untuk mengkonversi kandungan pada biomassa menjadi produk yang mampu bakar ( Sadeghibeigi, 2012 ). Proses *thermal cracking* sangat erat hubungannya dengan fungsi temperatur dan waktu. Proses reaksi utama pada *thermal cracking* adalah terbentuknya radikal bebas. Radikal bebas merupakan molekul yang tidak mempunyai pasangan elektron dan sangat reaktif sehingga menyebabkan menarik pasangan elektron lainnya. Radikal bebas terbentuk akibat terputusnya ikatan rantai karbon. Berikut merupakan contoh reaksi pemutusan ikatan karbon yang diakibatkan oleh energi panas yang menyebabkan terbentuknya radikal



Gambar 2.14 Reaksi pembentukan radikal bebas  
 Sumber : Sadeghibeigi ( 2012,p,126 )

Dengan adanya radikal bebas dapat menyebabkan terjadi proses *beta-scission* dan *alpha-scission*. *Beta-scission* adalah proses pemecahan ikatan karbon ( C – C ) yang diakibatkan oleh radikal bebas sehingga dapat menghasilkan olefin ( ethylene ) dan radikal bebas yang lainnya. Sementara itu proses *alpha-scission* menghasilkan metil radikal, yang mana dapat mengekstrak atom hidrogen dari kandungan molekul hidrokarbon netral pada biomassa. Ekstraksi hidrogen tersebut menghasilkan paraffin yaitu gas metana ( CH<sub>4</sub> ) dan radikal bebas sekunder.

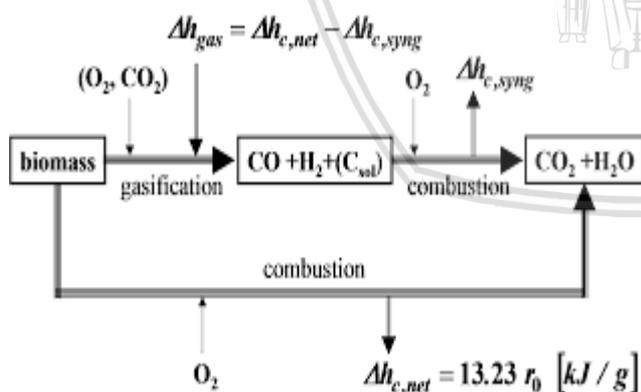


Gambar 2.15 Reaksi *beta-scission* dan *alpha-scission*  
 Sumber : Sadeghibeigi ( 2012,p,127 )

### 2.6.2.2 Reaksi Dekomposisi

Reaksi dekomposisi adalah reaksi kimia yang menghasilkan produk dari pemecahan reaktan. Reaktan di pecah menjadi bentuk produk yang lebih sederhana. Bentuk paling umum dari reaksi dekomposisi adalah  $AB = A+B$ .

Contoh reaksi dekomposisi secara spontan *hydrogen peroxide* ( $2\text{H}_2\text{O}_2$ )



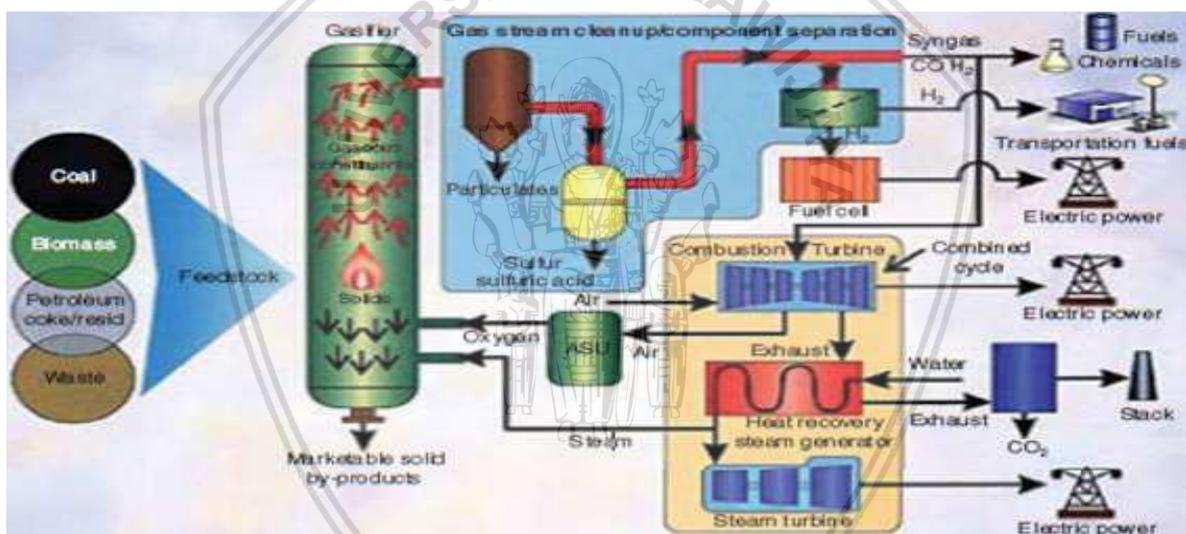
Gambar 2.16 Dekomposisi biomassa  
 Sumber : Hrabovsky,2011

### 2.7 Syngas

*syngas* (synthesis gas) adalah campuran gas yang mengandung  $\text{H}_2$  dan  $\text{CO}$  dengan jumlah yang bervariasi. *Syngas* harus memiliki tekanan tinggi, mengingat proses untuk sintesis amonia berlangsung pada tekanan yang tinggi. Selain itu, *syngas* harus bebas

senyawa sulfur untuk menghindari korosi pada alat dan menghindari lepasnya senyawa sulfur ke lingkungan saat proses pembakaran, *carbon oxide* (CO dan CO<sub>2</sub>), dan air. Di samping itu, produk samping berupa CO<sub>2</sub> dengan kemurnian 90% dapat digunakan sebagai bahan baku sintesis urea. Namun, produk samping CO<sub>2</sub> ini perlu *treatment* lanjutan untuk menghilangkan kandungan airnya, mengingat CO<sub>2</sub> yang dapat digunakan untuk sintesis urea konsentrasinya harus lebih dari 98,5%.

*Syngas* merupakan komponen yang sangat penting di muka bumi ini karena peran dari bahan bakar fosil karena dapat berfungsi sebagai sumber bahan bakar pada manufaktur dan pembangkit listrik. Rasio dari metana, hidrogen dan karbon monoksida pada gas dari hasil gasifikasi merupakan parameter yang sangat penting. Komposisi yang terkandung dalam satuan unit massa bahan bakar dan satuan unit volume dapat menentukan nilai LHV bahan bakar dan LHV *syngas*.



Gambar 2.17 *Syngas* sebagai sumber bahan bakar  
Sumber: Ke Liu (2010,p,466)

## 2.8 Hipotesis

Bentonit secara umum Na<sup>+</sup> maupun Ca<sup>+</sup> memiliki senyawa (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) atau biasa disebut alumina. Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dapat mengantarkan panas dengan baik sehingga dapat menurunkan energi aktivasi, energi aktivasi yang berkurang menyebabkan pembentukan senyawa terjadi lebih cepat. Pembentukan senyawa yang lebih cepat berdampak pada meningkatnya jumlah *syngas* yang dihasilkan. Sehingga proses gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan bentonit akan diperoleh hasil *syngas* lebih banyak dibanding tanpa bentonit.



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental ( *eksperimental research* ). Dalam penelitian ini peneliti menggunakan biomassa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) untuk dijadikan sebagai bahan bakar alternatif dengan bantuan katalis menggunakan *bentonit* dengan variasi 0%, 10%, 30%, dan 50% pada temperatur pemanasan 700°C. Proses gasifikasi menggunakan proses gasifikasi *updraft*.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari – juli 2018 yang bertempat di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Variabel bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah temperatur pemanasan 700°C dan Penambahan katalis bentonit sebesar 0%, 10%, 30%, dan 50%

b. Variabel terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laju pemansan biomassa
2. Volume gas yang dihasilkan
3. Laju produksi *syngas* pada proses gasifikasi tandan kosong kelapa sawit.
4. Komposisi gas yang dihasilkan.

c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tandan kosong kelapa sawit sebanyak 200 gram.
2. Lama waktu gasifikasi 2 jam.

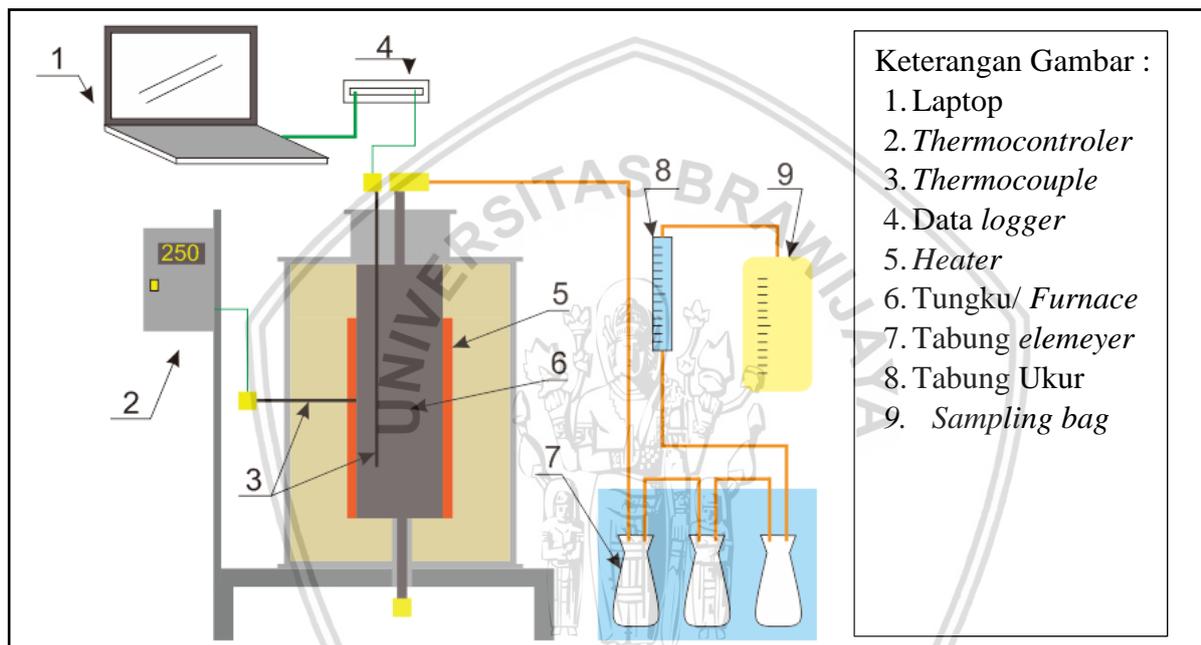
### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 1. Instalasi Gasifier

Gasifier digunakan dalam proses gasifikasi biomasa dimana bahan baku utamanya adalah cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit dan bentonit dimasukkan ke dalam *gasifier* yang sebelumnya telah diaktivasikan dan diatur suhu pemanasannya melalui *thermocontroller* seperti ditunjukkan pada Gambar dibawah.



Gambar 3.1 Instalasi gasifikasi

Penjelasan gambar :

##### 1. Laptop

Laptop digunakan untuk melihat data yang dihasilkan oleh data *logger* yang tersambung dengan *thermocouple*.

##### 2. *Thermocontroller*

*Thermocontroller* digunakan untuk mengatur arus yang masuk ke dalam *heater* sehingga dapat mengatur temperatur di dalam *gasifier*, *thermocontrol* ini juga berfungsi sebagai saklar dari *gasifier*.

##### 3. *Thermocouple*

*Thermocouple* digunakan untuk mengukur besarnya temperatur pada *gasifier*. Menggunakan tipe K agar dapat diubah ke dalam data digital.

*Thermocouple* tipe K ini mampu membaca temperatur sampai  $1000^{\circ}\text{C}$ , dengan geometri panjang sensor 10 cm dan diameter sensor 4 mm.

#### 4. Data logger

Data *logger* digunakan untuk mengetahui laju pemanasan pada saat melaksanakan proses gasifikasi.

Spesifikasi data logger:

- Channels 8 differential
- Input Type mV, V dan mA
- Input Range J, K, T, E, R, S dan B  
Uni-polar: 0-15mV, 0-50 mV  
0-100 mV, 0-500mV  
0-1V, 0-2.5V, 0-20mA, 4-20mA
- Sampling Rate 10 samples/s (total)
- Accuracy  $\pm 0.1\%$  or better (voltage dan current input)
- Zero Drift  $\pm 0.3 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- Span Drift  $\pm 25 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$
- CMR @ 50/60HZ 92 Db
- Input Impedance 1.8M



Gambar 3.2 Advantech USB-4718 data logger

#### 5. Heater

*Heater* adalah kumparan pemanas yang digunakan untuk pemanasan biomassa pada proses gasifikasi.

## 6. Tungku biomassa / *furnace*

Tungku biomassa / *furnace* berupa besi berbentuk silinder dengan ukuran diameter 20 cm.

## 7. Tabung Elemeyer

Tabung elemeyer digunakan untuk menampung kandungan tar pada proses gasifikasi. Tar dapat hilang akibat proses kondensasi, oleh karena itu dibutuhkan suhu yang lebih rendah saat proses kondensasi sehingga kandungan tar pada gas dapat terurai pada tabung elemeyer.

## 8. Tabung Ukur

Tabung ukur digunakan untuk mengukur volume total gas yang keluar dari *gasifier* dan setelah dikondensasi.

## 9. *Sampling Bag*

*Sampling bag* digunakan untuk menampung gas hasil gasifikasi yang telah dikondensasi.

## 2. *Moisture Analyzer*

Pada penelitian ini *moisture analyzer* digunakan untuk menguji kadar air yang terkandung pada cangkang kelapa sawit dan bentonit.

Spesifikasi :

- *Type* : MOC-120H
- *Measurement Format* : *Evaporation weight loss method*
- *Sample weight* : 0,5-120 g
- *Minimum display* : *Moisture content 0,01%; weight : 0.001 g*
- *Measurable quantities*: *Moisture content (wet and dry base), weight, solid.*
- *Heater temperature* : 30-200°C
- *Display* : *Backlit LCD (137 x 43mm)*
- *Heat source* : 625 Watt
- *Power Supply* : AC 100-120 / 220-240 V (50/60 Hz)
- *Power consumption* : *Max 640 Watt*



Gambar 3.3 Moisture analyzer

3. *Oven*

Digunakan sebagai tempat untuk mengeringkan cangkang kelapa sawit dan bentonit dengan temperatur 100°C.

4. *Stopwatch*

Pada penelitian ini *Stopwatch* berfungsi untuk mengukur waktu gasifikasi dan waktu pengovenan.

5. *Gas Chromatography (GC)*

GC merupakan alat yang digunakan untuk menganalisa kandungan komposisi kimia. Pada gas hasil gasifikasi pada penelitian ini.

Spesifikasi :

- Merk : SIMADZU 2010



Gambar 3.4 Gas chromatography

## 6. Mesh

Untuk penyeragaman ukuran biomassa dan katalis yang akan digunakan dalam proses gasifikasi.

## 7. Timbangan Elektrik

Timbangan elektrik digunakan untuk menimbang massa dari cangkang kelapa sawit dan bentonit sebelum proses gasifikasi berlangsung.

Spesifikasi :

- Merk : ACIS BC 500
- Kapasitas maksimal : 500 gram



Gambar 3.5 Timbangan elektrik

### 3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

#### 1. Cangkang kelapa sawit

Cangkang kelapa sawit merupakan specimen yang digunakan pada penelitian dan diukur hasil volume dan komposisi kimia gas setelah dilakukan proses gasifikasi.

#### 2. Serbuk bentonit

Serbuk bentonit digunakan sebagai katalisator yang digunakan untuk mempercepat proses dekomposisi cangkang kelapa sawit agar volume gas yang dihasilkan semakin banyak.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian pada penelitian ini meliputi :

#### 1. Persiapan biomassa

Proses persiapan biomassa adalah tahap awal sebelum melakukan proses gasifikasi. Biomassa tandan kosong kelapa sawit dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran-kotoran yang menempel agar tidak ikut terbawa saat proses gasifikasi. Setelah dibersihkan, tandan kosong kelapa sawit dipotong kecil-kecil untuk menyeragamkan ukuran.

Tandan kosong kelapa sawit dikeringkan dengan menggunakan oven pada temperatur 100°C selama 3 jam, hal ini bertujuan untuk membuat kadar air pada tandan kosong kelapa sawit  $< 2\%$ . Pengukuran kadar air tandan kosong kelapa sawit menggunakan alat *moisture analyzer*.

#### 2. Persiapan katalis

Katalis dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran. Setelah katalis bersih dari kotoran, dilakukan proses aktivasi katalis terlebih dahulu sebelum digunakan. Proses aktivasi bentonit dengan dipanaskan pada temperatur 300°C selama 1 jam.

#### 3. Pelaksanaan Gasifikasi

Biomassa ditimbang sebesar 200 gram dan dicampur dengan katalis bentonit sebesar persentase yang diinginkan dari berat biomassa. Setelah bentonit dan biomassa tercampur merata kemudian dimasukkan kedalam tungku *gasifier*. Lakukan pengecekan instalasi dari alat untuk mencegah terjadinya kebocoran.

Setelah instalasi terpasang semua dengan benar, memasang data logger yang dihubungkan dengan *thermocouple type K* dan laptop yang digunakan untuk menyimpan data hasil dari data logger. Langkah berikutnya adalah memulai proses gasifikasi dengan menyalakan heater dari alat dan memulai aplikasi data logger di laptop dan juga membuka katup instalasi agar gas dapat mengalir.

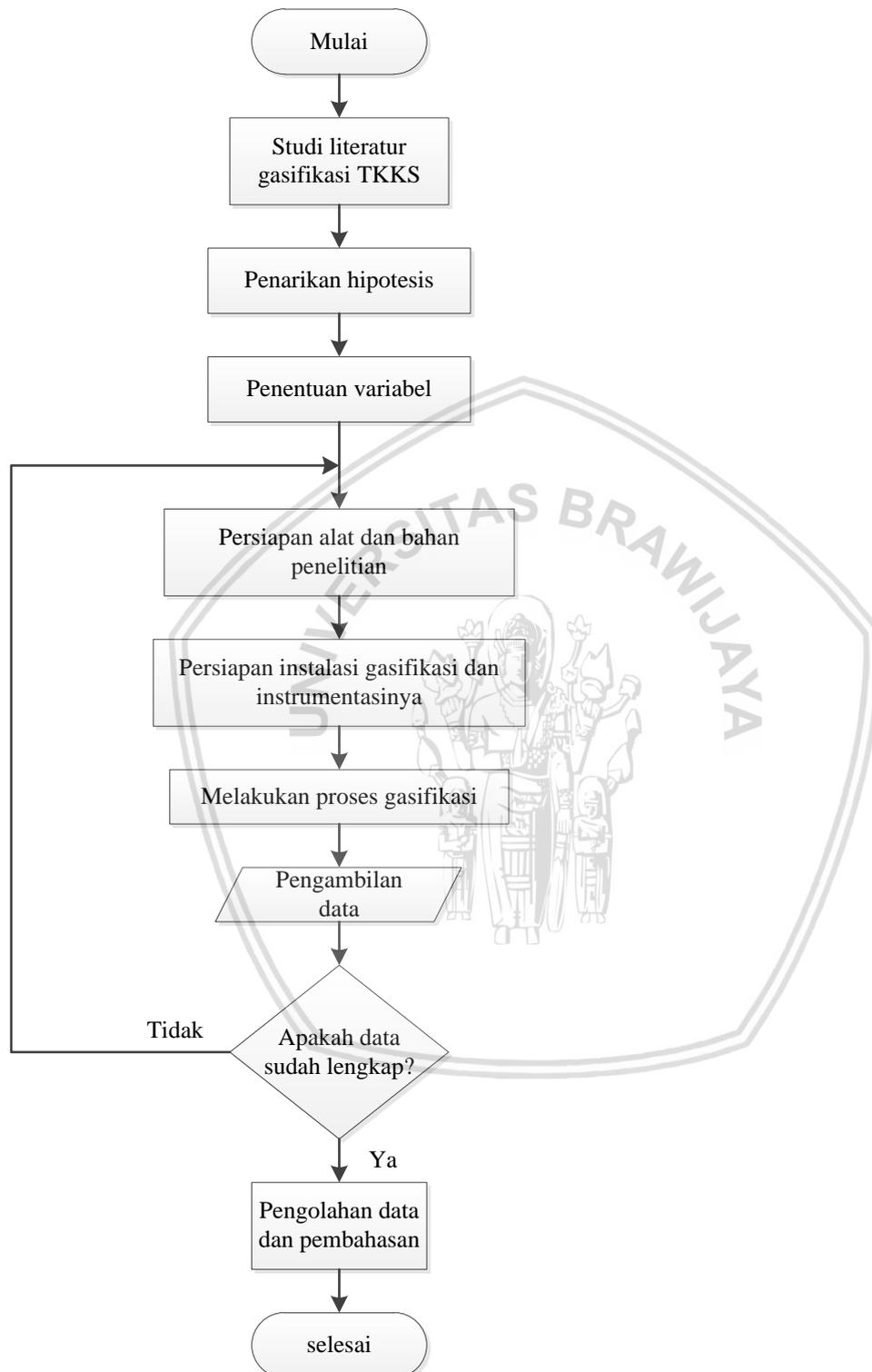
Gas hasil dari pemanasan pada tungku mengalir ke tabung elemeyer. Tabung elemeyer diberikan es pada sekelilingnya agar terjadi proses kondensasi. Setelah melalui proses kondensasi gas menuju ke tabung ukur untuk diukur volumenya dan dilanjutkan ke *urinebag* untuk menyimpan sampel gas yang nantinya akan di uji komposisi dengan alat *gas chromatography*.

Untuk menggunakan alat *gas chromatography*, langkah pertama yang dilakukan adalah menghidupkan alat dan membuka softwarena, kemudian memanaskan alat terlebih dahulu pada suhu tertentu kemudian sample gas diinjeksikan. Zat yang

terlarut pada alat tersebut akan merambat dengan laju perambatan yang berbeda beda tiap masing masing komponen. Kemudian detector pada alat akan mendeteksi dan mencatat sederetan sinyal yang timbul akibat perubahan konsentrasi dan perbedaan laju elusi yang disebabkan oleh komponen-komponen pada sampel gas tersebut. Kemudian software akan membaca hasil dari detector.



### 3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6 Diagram alir penelitian



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengolahan Data

Data pada penelitian ini diambil pada saat *heater* pada *gasifier* di nyalakan. Pada tahap pengoperasian alat suhu tandan kosong kelapa sawit di dalam tungku *gasifier* dipanaskan sehingga suhu 700°C sesuai dengan variable penelitian. Alat ukur volume yang digunakan tabung ukur khusus dan sarana penyimpanan data menggunakan laptop.

Pada tahap pengoperasian, langkah pertama yaitu tandan kosong kelapa sawit dan bentonit dicampurkan dan dimasukkan kedalam tungku *gasifier*. Kemudian *heater* dinyalakan bersama dengan *data logger*. *Heater* digunakan untuk memanaskan tungku *gasifier* sehingga campuran tandan kosong kelapa sawit dan bentonit di ubah menjadi gas dengan penambahan bentonit sebesar 10%, 30%, dan 50% kemudain gas di alirkan ke tabung ukur dan dilakukan pengambilan data selama 2 jam.

Pengambilan data laju pemanasan menggunakan sensor *thermocouple* type-K di letakkan di dalam tungku *gasifier* dimana *thermocouple* type-K khusus untuk membaca suhu. Data yang terbaca dihubungkan dengan *data logger* sehingga dapat disimpan di dalam laptop. Data yang diperoleh dari *data logger* berupa data digital dalam satuan °C (derajat celcius) dan dikonversi ke bentuk grafik sehingga dapat memudahkan dalam pengolahan data dan analisis data.

#### 4.2 Perhitungan Laju Pemanasan

Untuk mengetahui laju pemanasan di dalam *gasifier* di lakukan perhitungan dengan menjadikan waktu pengambilan data selama 2 jam dan suhu maksimum biomassa sebagai tolak ukur yang sesuai dengan variable kontrol penelitian.

Perhitungan laju pemanasan biomassa gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapasawit

- Gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit tanpa penambahan bentonite

$$\frac{dT}{dt} = \frac{633,6^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}}{71,5 \text{ menit} - 0 \text{ menit}} = \frac{606,6^{\circ}\text{C}}{71,5} = 8,48 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$$

- Gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan bentonite 10%

$$\frac{dT}{dt} = \frac{633^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}}{65,7 \text{ menit} - 0 \text{ menit}} = \frac{606^{\circ}\text{C}}{65,7} = 9,22 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$$

- Gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan bentonite 30%

$$\frac{dT}{dt} = \frac{633,68^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}}{65,6 \text{ menit} - 0 \text{ menit}} = \frac{606,68^{\circ}\text{C}}{65,6} = 9,248 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$$

- Gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan bentonite 50%

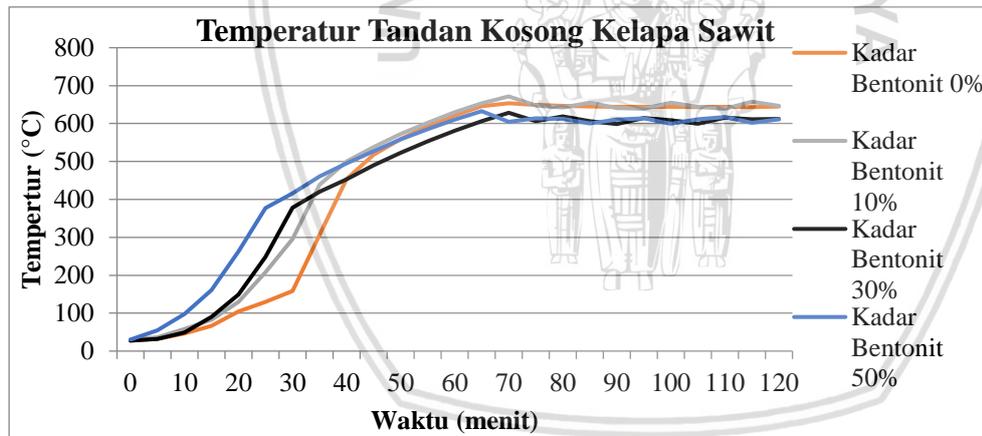
$$\frac{dT}{dt} = \frac{657^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}}{67,7 \text{ menit} - 0 \text{ menit}} = \frac{630^{\circ}\text{C}}{67,7} = 9,3 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$$

### 4.3 Data Hasil Penelitian

Hasil penelitian gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan katalis 10%, 30%, 50% dan tanpa katalis pada suhu 700°C. Penelitian ini memperoleh data berupa volume dalam satuan liter (L), Laju pemanasan dalam satuan derajat celcius (°C) dan komposisi gas yang terkandung dalam persentase di ditampilkan dalam bentuk grafik yang di bahas dalam pembahasan.

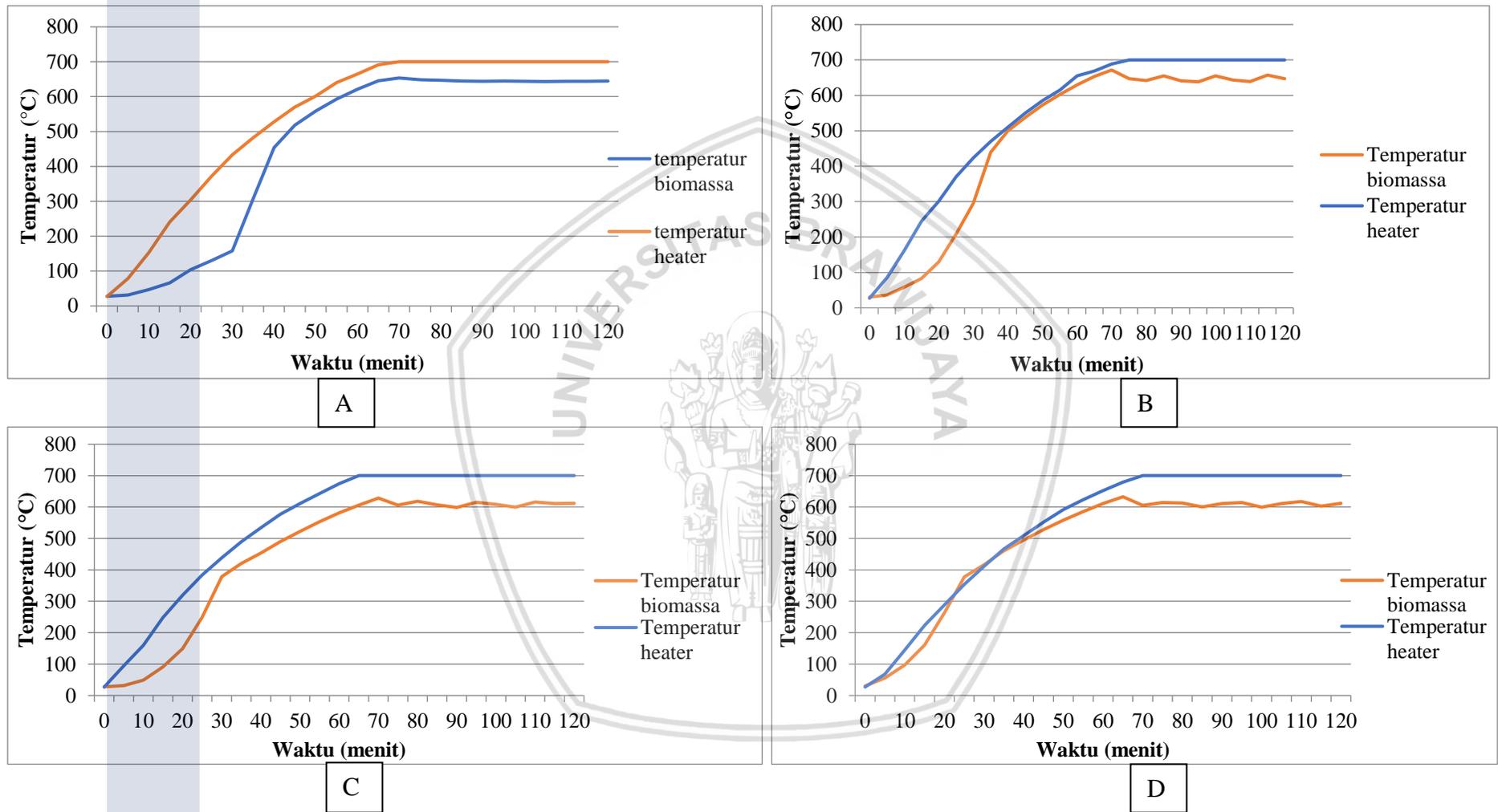
### 4.4 Pembahasan dan Analisa Grafik

#### 4.4.1 Analisa Grafik Suhu Terhadap Waktu Temperatur Gasifikasi Pada Suhu 700 °C



Gambar 4.1 Hubungan suhu terhadap waktu gasifikasi tandan kosong kelapa sawit

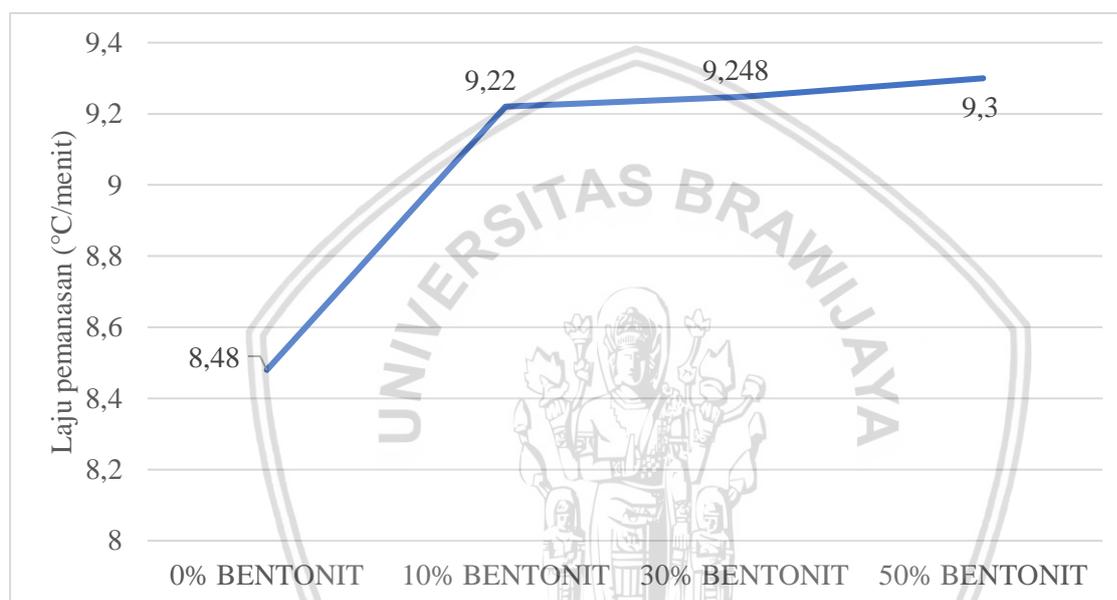
Pada gambar 4.1 menunjukkan seiring bertambahnya waktu maka suhu juga akan ikut bertambah. Pada kurva dengan seiring bertambahnya persentase bentonit pada awal waktu proses gasifikasi suhu akan semakin tinggi, ini sesuai dengan fungsi bentonit mempercepat reaksi dikarenakan bentonit memiliki unsur ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) alumina yang mempercepat perpindahan panas, sehingga membuat energi aktivasi semakin kecil. Akan tetapi pada akhir waktu proses gasifikasi semakin bertambahnya persentase bentonit suhu akan semakin rendah, ini dikarenakan reaksi pada biomassa semakin sedikit atau sudah terdekomposisi semua, sehingga energi yang dibutuhkan biomassa juga semakin kecil.



Gambar 4.2 A. Temperatur gasifikasi tanpa penambahan bentonit, B. temperatur gasifikasi dengan bentonit 10%, C. temperatur gasifikasi dengan bentonit 30%, D. temperatur gasifikasi dengan bentonit 50%

Pada proses gasifikasi pemanasan didapatkan dari *heater* yang nantinya akan tersalurkan pada tungku yang didalamnya terdapat biomassa yang akan di proses. Hal ini membuat adanya 2 temperatur berbeda yang muncul, yaitu temperatur dari *heater* dan juga tempertur dari biomassa.

Perbedaan temperatur ini terjadi akibat adanya resisten dari tungku yang membuat temperatur dari biomassa akan lebih kecil daripada temperatur dari *heater*, hal ini dibuktikan pada *gambar 4.2* diatas. *Gambar 4.2* menunjukkan seiring bertambahnya waktu maka suhu ikut bertambah



*Gambar 4.3* Laju pemanasan gasifikasi tandan kosong kelapa sawit

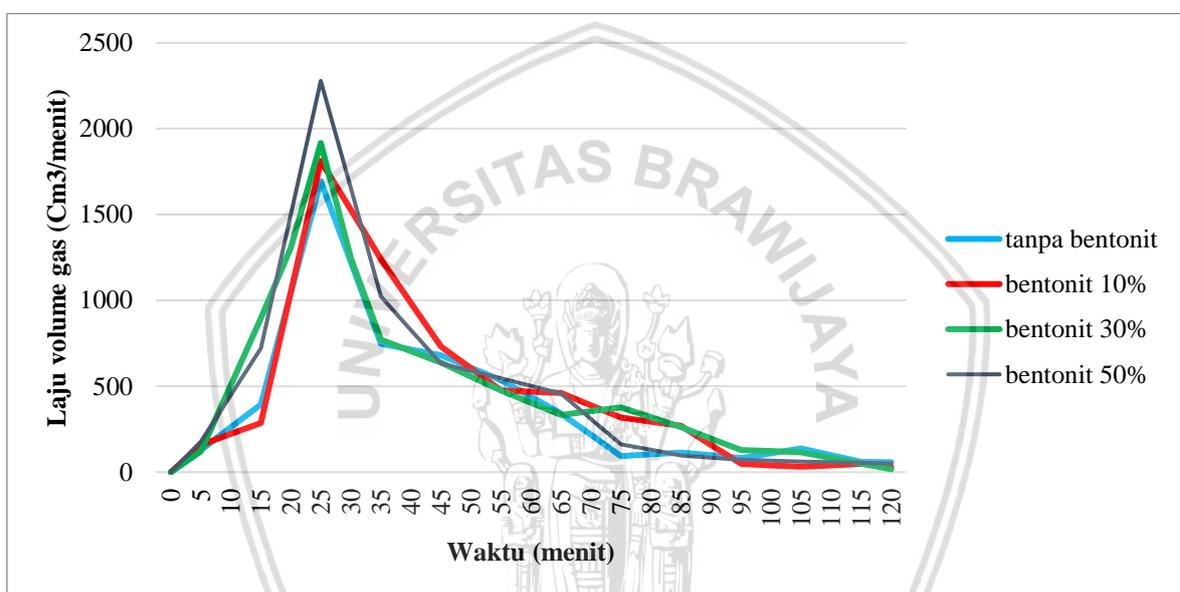
*Gambar 4.3* menunjukkan semakin tinggi persentase penambahan bentonit maka laju pemanasan juga akan meningkat. Hal ini sesuai dengan *gambar 4.2* dan juga perhitungan laju pemanasan. Pada *gambar 4.2* kurva grafik A biomassa tanpa penambahan bentonit waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu tertinggi adalah  $633^{\circ}\text{C}$  dengan hasil perhitungan laju pemanasan dimana hasil laju pemanasan sebesar  $8,48 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$ .

Pada kurva grafik B laju pemanasan biomassa dengan penambahan bentonit 10% waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu tertinggi adalah  $633^{\circ}\text{C}$  dengan hasil perhitungan laju pemanasan sebesar  $9,22 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$ . Laju pemanasan biomassa dengan penambahan bentonit 30% waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu tertinggi adalah  $633,68^{\circ}\text{C}$  seperti pada *gambar 4.2* kurva grafik C dengan hasil perhitungan laju pemanasan sebesar  $9,248 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$ .

Biomassa dengan penambahan bentonit 50% waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu tertinggi 633,68°C adalah 67,7 menit seperti yang terlihat pada *gambar 4.2* kurva grafik D laju pemanasannya adalah sebesar  $9,3 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$ .

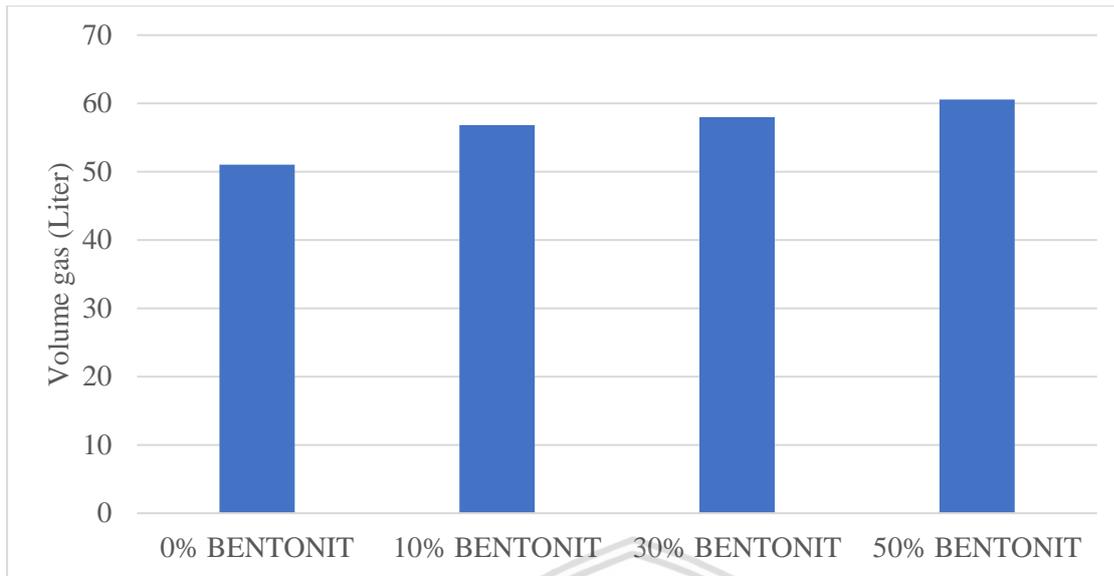
Semakin banyak persentase penambahan bentonit, maka laju pemanasan juga meningkat, hal ini disebabkan karena bentonit mengandung unsur  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina) menjadi pengantar panas yang baik, sehingga panas lebih cepat merambat ke biomassa.

#### 4.4.2 Volume dan Laju Produksi Syngas Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit



*Gambar 4.4* Laju produksi volume syngas gasifikasi tandan kosong kelapa sawit

Pada *gambar 4.4* menunjukkan seiring bertambahnya bentonit, maka laju produksi gas hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit akan meningkat, pada kurva laju volume syngas biomassa tandan kosong kelapa sawit kurva tertinggi pada penambahan bentonit 50% yaitu mencapai  $2278,46356 \frac{\text{cm}^3}{\text{menit}}$  dan kurva terendah pada tandan kosong kelapa sawit tanpa penambahan bentonit yaitu mencapai  $1694,54 \frac{\text{cm}^3}{\text{menit}}$ . Hal ini sesuai dengan adanya fungsi penambahan bentonit, akan mempercepat reaksi dekomposisi dan mempercepat laju pemanasan, sehingga membuat laju produksi akan meningkat.

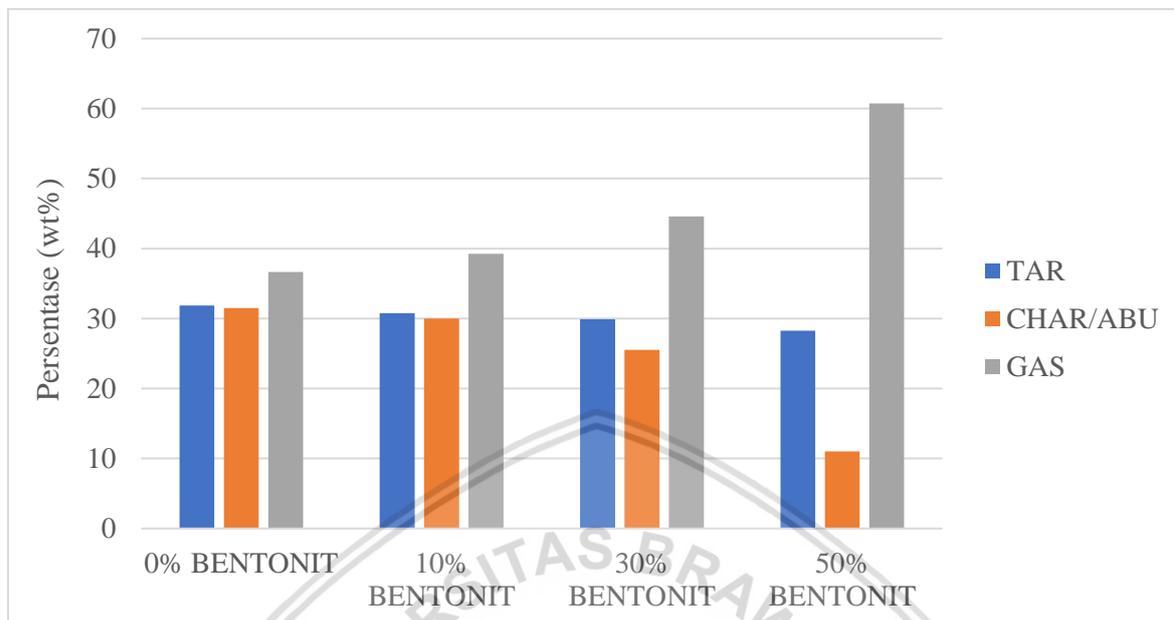


Gambar 4.5 Volume *syngas* gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan katalis dan tanpa penambahan katalis.

Pada gambar 4.5 membandingkan 4 percobaan berbeda pada proses gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit. Percobaan ini membandingkan penambahan persentase katalis bentonit dan tanpa penambahan katalis bentonit. Pada hasil percobaan menunjukkan volume gas yang dihasilkan dimana dengan penambahan bentonit, volume gas yang dihasilkan akan semakin besar, volume gas optimum dihasilkan pada penambahan persentase bentonit 50% sebesar 60,548 L. Pada persentase 0% atau tanpa penambahan bentonit volume gas yang dihasilkan sebesar 51,042 L merupakan hasil minimum volume gas.

Hal ini sesuai dengan fungsi dari bentonit menurunkan energi aktivasi, energi aktivasi yang berkurang menyebabkan pembentukan senyawa terjadi lebih cepat. Pembentukan senyawa yang lebih cepat berdampak pada meningkatnya jumlah *syngas* yang dihasilkan.

#### 4.4.3 Komposisi Syngas, dan Hasil Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Penambahan Katalis dan Tanpa Katalis



Gambar 4.6 Komposisi hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan bentonit dan tanpa penambahan bentonit pada suhu 700°C

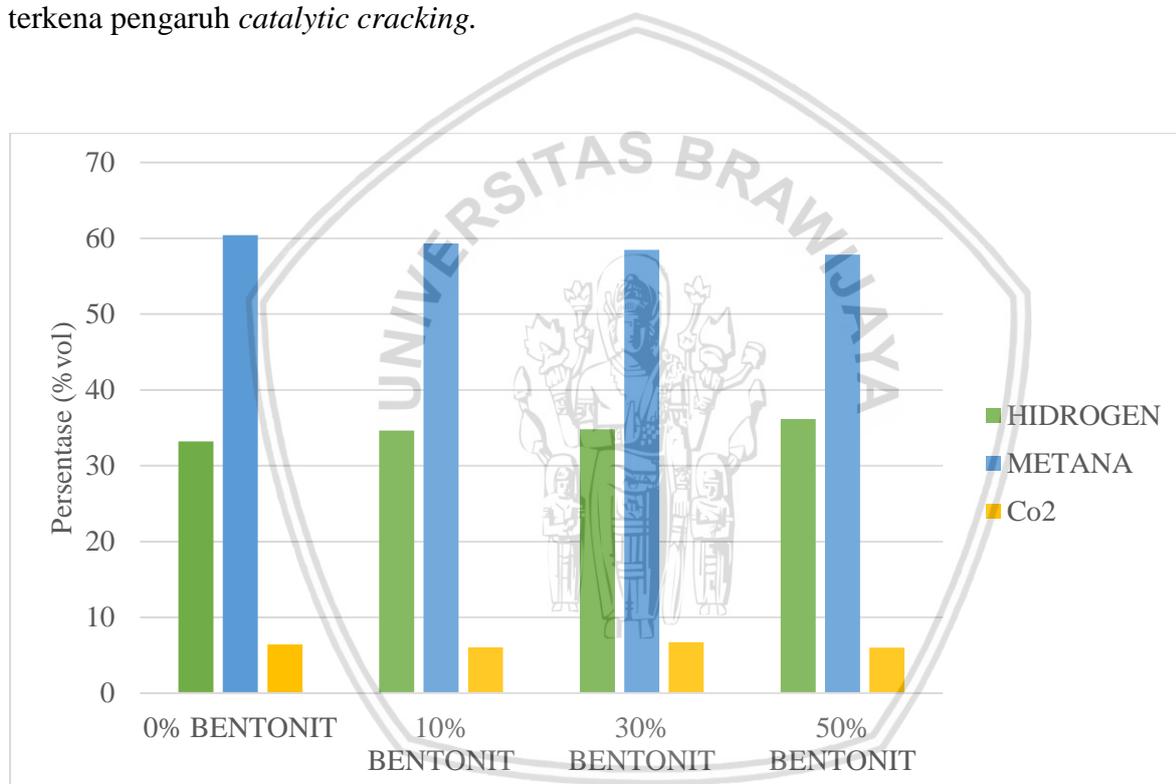
Pada gambar 4.6 dapat diketahui produk yang dihasilkan selama gasifikasi tidak hanya berupa gas. Beberapa produk sampingan yang di hasilkan adalah char/abu dan tar. Persentase massa char/abu dan tar semakin menurun sedangkan gas yang dihasilkan cenderung meningkat seiring bertambahnya persentase bentonit. Hal ini membuktikan bahwa penambahan bentonit mampu memaksimalkan penguraian char dan tar pada proses gasifikasi menjadi produk gas mampu bakar.

Char/abu paling besar di hasilkan pada tanpa penambahan bentonit. hal ini di sebabkan tanpa adanya bentonit perekahan yang terjadi memerlukan waktu yang lama dan belum sempurna sehingga char yang di hasilkan banyak, dan juga pada saat proses gasifikasi terjadi proses pembakaran sebagian yang menghasilkan abu juga, akan tetapi hasil char dan abu ini sulit dipisahkan sehingga pada penghitungannya char dan abu dijadikan satu.

Produk sampingan yang dihasilkan selain char adalah tar. Tar di hasilkan paling besar pada tandan kosong kelapa sawit tanpa penambahan bentonit dan seiring bertambahnya bentonit tar yang dihasilkan menjadi lebih sedikit. Hal ini disebabkan karena dengan ditambahkan bentonit terjadi proses perekahan katalis, dimana proses tersebut memecah lebih banyak rantai hidrocarbon dalam tar dan menghasilkan gas mampu bakar dengan rantai hidrocarbon pendek yang membuat volume tar akan menurun.

Penambahan katalis bentonit mampu meningkatkan persentase massa gas dikarenakan pengaruh dari *catalytic cacking*. *Catalytic cracking* terjadi saat katalis bentonit yang sudah teraktivasi mendonorkan proton (ion  $H^+$ ) ke biomassa yang sudah mengalami *thermal cracking* (dekomposisi) dan membentuk ion karbenium. Ion karbenium adalah ion yang tidak stabil dan sangat reaktif, sehingga membantu dan mempercepat pemecahan rantai panjang hidrokarbon menjadi gas dengan ikatan rantai pendek yang bersifat *flamable*.

Persentase massa gas paling tinggi pada penambahan katalis bentonit 50%. Hal ini terjadi karena semakin banyak penambahan katalis maka semakin banyak luas bidang kontak antara katalis dengan biomassa yang membuat semakin banyak biomassa yang terkena pengaruh *catalytic cracking*.



Gambar 4.7 Komposisi *syngas* hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit tanpa bentonit dan dengan penambahan bentonit

Pada gambar 4.7 adalah grafik perbandingan antara komposisi *syngas* hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit pada suhu  $700^{\circ}C$  terhadap persentase penambahan katalis bentonit. Grafik diatas menunjukkan semakin bertambahnya bentonit, membuat hidrogen semakin tinggi, dan metana akan semakin turun, hal ini dikarenakan bentonit yang memecahkan rantai hidrocarbon panjang dari metana menjadi rantai hidrocarbon rantai pendek sehingga membuat hidrogen menjadi semakin banyak dan metana menjadi semakin turun.

Komposisi *syngas* hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit bukan hanya hidrogen, metana, dan  $\text{CO}_2$ , tetapi juga ada beberapa unsur lain yang disebabkan oleh faktor-faktor tertentu dan juga memiliki konsentrasi yang sangat kecil sehingga tidak terbaca pada alat *gas chromatography* yang kita gunakan untuk mengetahui komposisi *syngas* seperti  $\text{CO}$  (carbon monoksida) yang dihasilkan akibat proses pembakaran.

#### 4.4.4 Perhitungan Kalor *Syngas* Hasil Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tabel 4.1

Perhitungan nilai kalor *syngas* pada setiap variasi bentonit

VARIASI	% mol $\text{H}_2$	% mol $\text{CH}_4$	% mol $\text{CO}_2$	HHV $\text{H}_2$ ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ )	HHV $\text{CH}_4$ ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ )
0% BENTONIT	33,195	60,394	6,411	12,761	39,747
10% BENTONIT	34,618	59,335	6,047	12,761	39,747
30% BENTONIT	34,794	58,485	6,711	12,761	39,747
50% BENTONIT	36,152	57,836	6,011	12,761	39,747

- Perhitungan HHV *syngas* pada variasi penambahan bentonit 0%  

$$\text{HHV syngas} = (\% \text{ mol } \text{H}_2 \times \text{HHV } \text{H}_2) + (\% \text{ mol } \text{CH}_4 \times \text{HHV } \text{CH}_4)$$

$$\text{HHV syngas} = (33,195 \times 12,76) + (60,394 \times 39,747)$$

$$= 2824,048 \text{ MJ}/\text{m}^3$$
- Perhitungan HHV *syngas* pada variasi penambahan bentonit 10%  

$$\text{HHV syngas} = (\% \text{ mol } \text{H}_2 \times \text{HHV } \text{H}_2) + (\% \text{ mol } \text{CH}_4 \times \text{HHV } \text{CH}_4)$$

$$\text{HHV syngas} = (34,618 \times 12,76) + (59,335 \times 39,747)$$

$$= 2800,114 \text{ MJ}/\text{m}^3$$
- Perhitungan HHV *syngas* pada variasi penambahan bentonit 30%  

$$\text{HHV syngas} = (\% \text{ mol } \text{H}_2 \times \text{HHV } \text{H}_2) + (\% \text{ mol } \text{CH}_4 \times \text{HHV } \text{CH}_4)$$

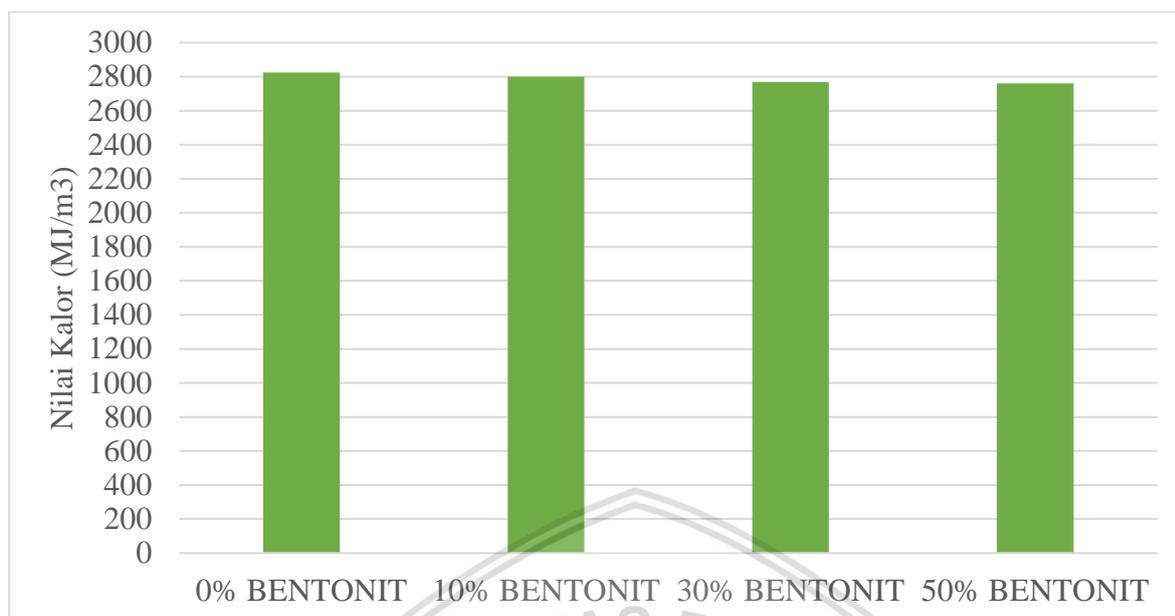
$$\text{HHV syngas} = (34,794 \times 12,76) + (58,485 \times 39,747)$$

$$= 2768,574 \text{ MJ}/\text{m}^3$$
- Perhitungan HHV *syngas* pada variasi penambahan bentonit 50%  

$$\text{HHV syngas} = (\% \text{ mol } \text{H}_2 \times \text{HHV } \text{H}_2) + (\% \text{ mol } \text{CH}_4 \times \text{HHV } \text{CH}_4)$$

$$\text{HHV syngas} = (36,152 \times 12,76) + (57,836 \times 39,747)$$

$$= 2760,1 \text{ MJ}/\text{m}^3$$



Gambar 4.8 Nilai kalor syngas gasifikasi tandan kosong kelapa sawit

Perbandingan nilai kalor syngas hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan bentonit 0%, 10%, 30%, dan 50% dapat dilihat pada gambar 4.8. Perbandingan nilai kalor ini sesuai dengan perhitungan kalor syngas yang mengacu pada tabel 4.1 diatas. Kalor syngas tertinggi pada penambahan bentonit 0% dengan nilai kalor 2824,048 MJ/m<sup>3</sup>. Sedangkan nilai kalor terendah pada penambahan bentonit 50% dengan nilai kalor 2760,1 MJ/m<sup>3</sup>.

Perbedaan nilai kalor ini disebabkan karena jumlah/konsentrasi pada gas metana. Komposisi utama pada syngas adalah gas metana dan hidrogen. Hasil dari gasifikasi tandan kosong kelapa sawit memiliki komposisi gas metana yang lebih tinggi daripada gas hidrogen. Sehingga semakin tinggi konsentrasi metana pada syngas akan membuat nilai kalor syngas semakin tinggi.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari analisa pembahasan pengaruh bentonit terhadap hasil gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit , dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Laju pemanasan dengan penambahan bentonit lebih besar dibandingkan tanpa bentonit. Semakin besar persentase penambahan bentonit maka laju pemanasan juga semakin besar dimana tanpa penambahan bentonit laju pemanasan sebesar  $8,48 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$ , dengan menambahkan bentonit 10% laju pemanasan sebesar  $9,22 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$ , penambahan bentonit 30% laju pemanasan sebesar  $9,248 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$ , dan penambahan bentonit 50% laju pemanasan sebesar  $9,3 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$ .
2. Laju produksi *syngas* yang dihasilkan pada gasifikasi *updraft* dengan penambahan bentonit lebih besar dibandingkan tanpa bentonit. Semakin besar presentase penambahan bentonit maka laju produksi *syngas* juga semakin besar dimana tanpa penambahan bentonit laju produksi *syngas* tertinggi sebesar  $1694,54 \text{ cm}^3/\text{menit}$ , dengan penambahan bentonit 10% laju produksi *syngas* tertinggi sebesar  $1812,17 \text{ cm}^3/\text{menit}$ , dengan penambahan bentonit 30% laju produksi *syngas* tertinggi sebesar  $1916,79 \text{ cm}^3/\text{menit}$ , dengan penambahan bentonit 50% laju produksi *syngas* tertinggi sebesar  $2278,463 \text{ cm}^3/\text{menit}$ .
3. Gas yang dihasilkan pada gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan bentonit 10% sebesar 56,844 L, penambahan bentonit 30% sebesar 58,021 L, dan penambahan bentonit 50% sebesar 60,548 L. Sedangkan untuk tanpa penambahan bentonit sebesar 51,042 L. Dengan penambahan bentonit volume gas yang dihasilkan menjadi lebih banyak, semakin banyak persentase penambahan bentonit maka semakin banyak juga volume gas yang dihasilkan.
4. Penggunaan bentonit dapat mempercepat reaksi dikarekan bentonit memiliki kandungan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang memiliki konduktivitas panas yang baik

## 5.2 Saran

Adapun saran yang penulis harapkan dari penelitian tentang pembuatan *syngas* dari campuran tendan kosong kelapa sawit dan bentonit dengan mode *gasifikasi updraft* ini adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya untuk menyimpan *syngas* menggunakan *tedlar bag*.
2. Sebaiknya semua saluran instalasi menggunakan pipa besi.
3. Sebaiknya menggunakan sensor yang dapat mendeteksi gas secara langsung agar tidak di perlukan pengujian GC



## DAFTAR PUSTAKA

- Alvin. 2012. Karakteristik Bentonit Teknis Sebagai Adsorben Indigo Biru, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Arifin, M. dan A. Sudrajat, 1997. Bahan Galian Industri: Bentonit. Departemen Pertambangan dan Energi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral, Bandung.
- Basu, Prabir. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory*. Elsevier.
- Bentra. 2015. Konsep Keberlangsungan Pada Bisnis Minyak Kelapa Sawit.
- Capitra. 2000. Struktur Penyusun Selulosa.
- Diebold, Bridgewater. 2010 *The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation*. Aston University, Birmingham B4 7ET, UK.
- Dou. 2016. *In situ upgrading of pyrolysis biofuels by bentonite clay with simultaneous production of heterogeneous adsorbents for water treatment*. Department of Mechanical Engineering, Boston University, 110 Cummington Mall, Boston, MA 02215, United States.
- Eni. 2015. Potensi berbagai bahan organik rawa sebagai sumber biochar. Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP), Kampus Penelitian Pertanian Cimanggu, Jawa Barat.
- H, Chen. 2014. *Biotechnology of Lignocellulose Theory and Practice*. Springer.
- Holtzapple, M.T. 2003. Hemicelluloses. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. pp. 3060-3071. Academic Press.
- Hrabovsky Milan, 2011. *Thermal Plasma Gasification of Biomass*. Czech Republic. Institute of Plasma Physics ASCR
- Hussein et al.2017. *Temperature and gasifying media effects on chicken manure pyrolysis and gasification*.Department of Mechanical Engineering, University of Maryland. USA.
- Ibrahim, M.W. 1998. Paleozoic Hydrocarbon Potential of Western Iraq. 3rd Middle East Geosciences Conference.
- Jalal et al, 2012. *Production of Hydrogen from Biomass by Catalytic Steam Reforming of Fast Pyrolysis Oils*. Dingneng Wang, Stefan Czernik, and Esteban Chornet.National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, Colorado 80401

- Kamal, N. 2012. Karakterisasi dan Potensi Pemanfaatan Limbah Sawit. Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Ke Liu. 2010. *Hydrogen and Syngas Production and Purification Technologies*. American Institute of Chemical Engineering. America.
- Melgar et al. 2007. *Calcium starvation increases salt susceptibility in olive plants but has no effect on susceptibility to water stress*. Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba, Edificio Celestino Mutis, Campus Universitario de Rabanales, Ctra. Madrid-Cádiz km. 396, 14071, Córdoba, Spain.
- Mussatto, S. I., & Teixeira, J. A. (2010). Lignocellulose as raw material in fermentation processes. In Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology (pp. 897-907). FORMATEX.
- Nainggolan, Andre Gunawan. 2017. Pengaruh Perbandingan karbon Aktif dan CuZn Terhadap Produktivitas Gas Hidrogen Dari Minyak Biji Randu. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ninduangdee et al. 2015 . *Thermogravimetric Studies of Oil Palm Empty Fruit Bunch and Palm Kernel Shell: TG/DTG Analysis and Modeling*. School of Manufacturing Systems and Mechanical Engineering, Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University.
- Ningrum, Alien Olifitria. 2011. Proses Pembuatan *Biooil* Limbah Kelapa Sawit (Tandan, Cangkang, dan Serat) Untuk Bahan Bakar Alternatif Dengan Metode *Fast Pyrolysis*. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia.
- Outlook Energy Indonesia. 2016. Dewan energi indonesia. Sekertariat jendral. Jakarta.
- Palonen H. 2004. *Role of Lignin in the Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulose*. Helsinki University of Technology (Espoo, Finland)
- Pason et al. 2003. *Bacillus Subtilis SJ01 produces hemicellulose degrading multi-enzyme complexes*. Department of Biochemistry, Microbiology and Biotechnology, Rhodes University, PO Box 94, Grahamstown, South Africa
- Pedil et al. 2011. Pengaruh Katalis Sebagai Pembersih Bahan Bakar Cair. Makasaar. Universitas Hassanudin
- Shinya dan Matsumura. 2008. Buku Panduan Biomassa Asia. *The Japan Institute of Energy*. Japan.
- Shabaz et al. 2017. *The influence of catalysts in biomass steam gasification and catalytic potential of coal bottom ash in biomass steam gasification: A review*. Universiti Teknologi Petronas, Malaysia.

- Sun et al. 2003. *Hemicellulose and Their Derivatives*. State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou.
- Suwardono. 2015. Gasifikasi Sekam Padi. Semarang. Universitas Negeri Semarang.
- Tank, K.H., 1993. *Principles of Soil Chemistry, 2<sup>nd</sup> Edition*. Marcel Dekker, New York.
- Tasliman. 2008. Tungku Biomassa dan Gasifikasi.
- Utomo, B.N., E. Widjaja, S. Mokhtar, S.E. Prabowo, dan H. Winarno. 1999. Laporan Akhir Pengkajian Pengembangan Ternak Potong pada Sistem Usaha Tani Kelapa Sawit. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Palangkaraya,
- Vidian., F dan Fikri. 2009. Pemanfaatan Tempurung Kelapa Sawit Menjadi Bahan Bakar Gas Melalui Teknologi Gasifikasi. Prosiding Seminar Nasional AVoER. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Vidian,fajri. Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran Mesin Sinkron, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang Vol. 10, No. 2, Oktober 2008.
- Walheim, Lars. 2001. *Heating Value of Gasses from Biomass Gasification*. Nykoping: TPS Termiska Processer AB.
- Yang et al .2006. *Pvrolysis of Palm Oil Wastes for Biofuel Production* ,Institute of Environmental Science and Engineering, Nanyang Technological University, Innovation Center, Singapore 637723.

