

**PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN KATALIS BENTONIT  
TERHADAP GASIFIKASI *UPDRAFT* TANDAN KOSONG KELAPA  
SAWIT – BATU BARA DENGAN SUHU 700°C**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**NOVIENDO TRIA ARIWIBOWO**

**NIM. 115060200111026**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2018**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN KATALIS BENTONIT  
TERHADAP GASIFIKASI *UPDRAFT* TANDAN KOSONG KELAPA  
SAWIT – BATU BARA DENGAN SUHU 700°C**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**Noviando Tria Ariwibowo**  
**NIM. 115060200111026**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 17 juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.  
NIP. 19740121 199903 1 001

Mengetahui  
Ketua Program Studi S1

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

JUDUL SKRIPSI :

PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN KATALIS BENTONIT TERHADAP  
GASIFIKASI UPDRAFT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT – BATU BARA  
DENGAN SUHU 700°C

Nama Mahasiswa : Noviendo Tria Ariwibowo

NIM : 115060200111026

Program Studi : Teknik Mesin

Konsentrasi : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING :

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

TIM PENGUJI :

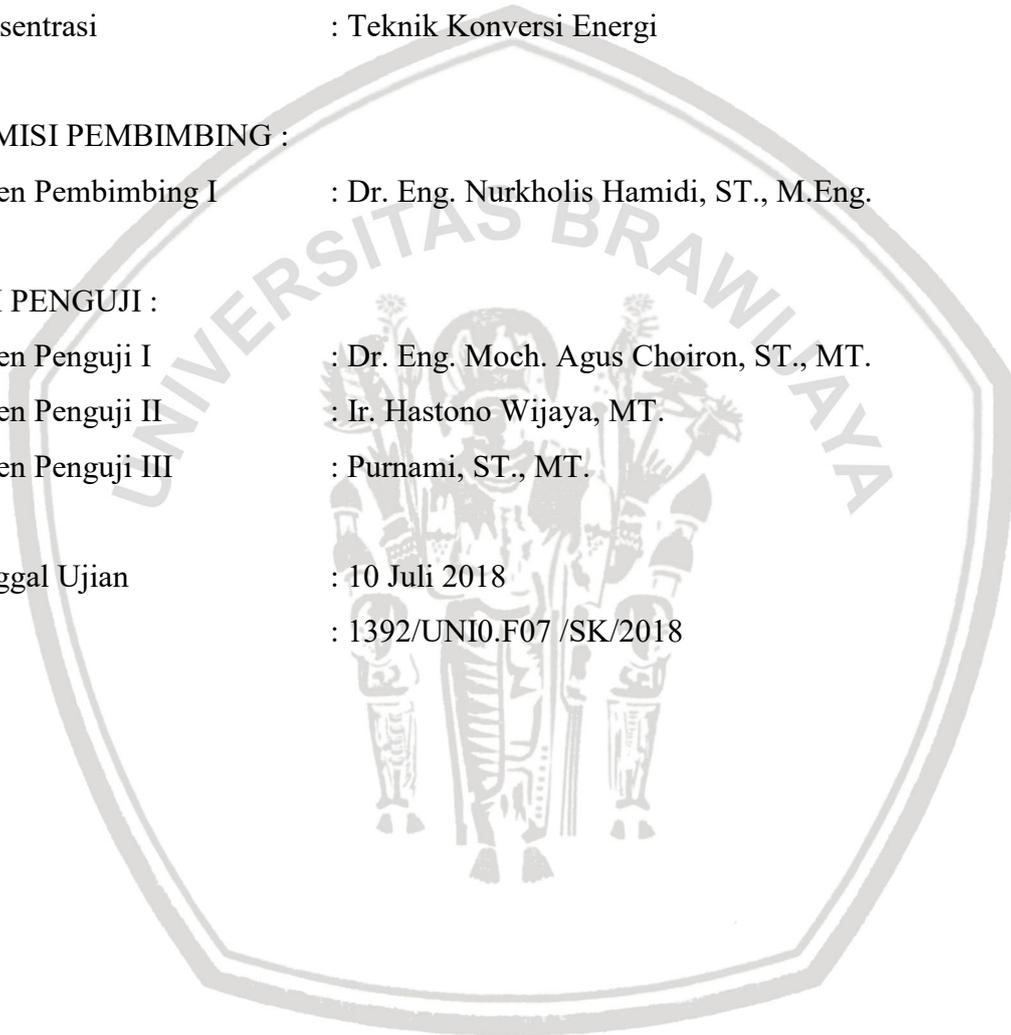
Dosen Penguji I : Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.

Dosen Penguji II : Ir. Hastono Wijaya, MT.

Dosen Penguji III : Purnami, ST., MT.

Tanggal Ujian : 10 Juli 2018

SK : 1392/UNI0.F07 /SK/2018



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelurusan berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak 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, 17 Juli 2018

Mahasiswa,

Noviando Tria Ariwibowo

NIM. 115060200111026

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





*Teriring Ucapan Trimakasih Untuk,  
Bapak, Ibu, Dan Kakak Terkasih.  
Allah SWT Selalu Menyertai.*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul, **“Pengaruh Variasi Penambahan Katalis Bentonit Terhadap Gasifikasi Updraft Tandan Kosong Kelapa Sawit – Batu Bara Dengan Suhu 700°C”** dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad Shalallaahu 'Alayhi Wasallam.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar sarjana.

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu, membimbing, memberi petunjuk, dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini :

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses administrasi.
2. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses administrasi.
3. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., MT. selaku dosen pembimbing I skripsi atas semua ilmu, saran dan waktu yang telah diberikan selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin
5. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Teknik Konversi Energi.
6. Bapak Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.. Selaku dosen pembimbing akademik.
7. Seluruh Dosen Pengajar, Staf Administrasi, dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuannya untuk mendukung penyusunan skripsi ini.
8. Kedua orang tua tercinta, Bapak Sukardoyo, dan Ibu Endang Apri Setyawati serta Kakak Endo Eko Satriyo, ST., dan dr. Febriendo Vanni Dwijayanti. Terimakasih tak terhingga atas seluruh doa, nasihat, inspirasi, dan dukungan yang telah diberikan.
9. Teman-teman seperjuangan skripsi, mas Ayan, Iman, dan Rofi. Yang sudah membantu menyelesaikan skripsi ini.

10. Teman-teman asisten Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawujaya
  11. Teman - teman Mesin UB angkatan 2011, terima kasih atas solidaritas, kebersamaan, dan semua memori yang tak akan pernah terlupakan.
  12. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
  13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi dan membantu di bangku perkuliahan.
- Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi penyusunan skripsi dengan baik. Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut untuk kemajuan kita bersama.

Malang, Juli 2018

Penulis



## 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>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.4 Gasifikasi .....	9
2.4.1 Proses Gasifikasi .....	10
2.4.2 Jenis – Jenis <i>Gasifier</i> .....	11
2.4.3 Faktor yang Mempengaruhi Hasil Gasifikasi .....	13
2.2 Katalis .....	16
2.3 Bentonit .....	17
2.5 Batu Bara .....	18
2.6 Biomassa .....	20
2.7 Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	21
2.8 Hipotesis .....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Metode Penelitian .....	25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	25
3.3 Variabel Penelitian .....	25



3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	26
3.4.1 Bahan Penelitian .....	26
3.4.2 Alat Penelitian.....	27
3.5 Prosedur Penelitian.....	34
3.6 Diagram Urutan Penelitian.....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>37</b>
4.1 Perhitungan Laju Pemanasan & Produksi Gas .....	38
4.2 Pembahasan dan Analisis Grafik .....	39
4.2.1 Analisa Grafik Suhu Terhadap Waktu Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Bentonit .....	39
4.2.2 Analisa Produksi Syngas dari Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan katalis Bentonit .....	40
4.2.3 Produk Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Katalis Bentonit.....	42
4.2.4 Analisa Grafik Komposisi Gas Hasil Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Katalis Bentonit.....	43
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>47</b>
5.1 Kesimpulan .....	47
5.2 Saran.....	47
 DAFTAR PUSTAKA	

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	ASTM <i>Spesification For Solid Fuel</i> .....	17
Tabel 2.2	Analisa Proksimat dan Ultimate Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Batubara Lignit .....	22



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit: (a) Hasil Produksi; (b) Komposisi <i>Syngas</i> .....	5
Gambar 2.2	Grafik Volume Gas Total Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit dengan Katalis dan Tanpa Katalis pada Temperatur 550°C, 650°C, dan 750°C .....	6
Gambar 2.3	Grafik Komposisi Char, Tar, dan Gas Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit dengan Katalis dan Tanpa Katalis (a) Temperatur 550°C; (b) Temperatur 650 °C; (c) Temperatur 750 °C .....	7
Gambar 2.4	Hasil Analisis Gasifikasi Limbah Kelapa Sawit (a) Analisis <i>Proximate</i> ; (b) Analisis <i>Ultimate</i> .....	8
Gambar 2.5	Konsentrasi Bahan Bakar Gas Hasil Gasifikasi Limbah Kelapa Sawit .....	8
Gambar 2.6	Hasil Analisis <i>Thermogravimetry</i> (a) Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit ; (b) Gasifikasi Serat Kelapa Sawit ; dan (c) Gasifikasi Tandan kosong kelapa Sawit.....	9
Gambar 2.7	Reaksi – Reaksi Kimia Proses Gasifikasi.....	11
Gambar 2.8	Rancangan Gasifikasi <i>Downdraft</i> .....	12
Gambar 2.9	Rancangan Gasifikasi <i>Updraft</i> .....	13
Gambar 2.10	C-H-O Diagram Ternary Gasifikasi Biomassa.....	14
Gambar 2.11	Klasifikasi Bahan Bakar Padat Berdasarkan Rasio H/C dan O/C .....	15
Gambar 2.12	Macam – Macam Katalis Untuk Proses Gasifikasi .....	17
Gambar 2.13	Proses Produksi Biomassa .....	21
Gambar 2.14	Macam – Macam Konversi Biomassa .....	21
Gambar 3.1	Tandan kosong kelapa sawit.....	26
Gambar 3.2	Batu Bara .....	27
Gambar 3.3	<i>Gasifier</i> .....	28
Gambar 3.4	<i>Advantech USB-4718 Data Logger</i> .....	28
Gambar 3.5	<i>Thermocontroller</i> .....	29

Gambar 3.6 Tabung Elemeyer.....	29
Gambar 3.7 Laptop.....	30
Gambar 3.8 <i>Sampling Bag</i> .....	30
Gambar 3.9 Gelas Ukur.....	31
Gambar 3.10 Oven.....	31
Gambar 3.11 <i>Moisture Analyzer</i> .....	31
Gambar 3.12 Timbangan Elektrik.....	32
Gambar 3.13 <i>stopwatch</i> .....	33
Gambar 3.14 <i>Gas Chromatography (GC)</i> .....	33
Gambar 3.15 Skema Alat Pengujian.....	34
Gambar 4.1 Hubungan Suhu Terhadap Waktu Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit – Batu Bara.....	39
Gambar 4.2 Laju Pemanasan Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit – Batu Bara.....	40
Gambar 4.3 Laju Produksi Volume <i>Syngas</i> Tandan Kosong Kelapa Sawit – Batu Bara.....	41
Gambar 4.4 Volume Total <i>Syngas</i> Gasifikasi <i>Updraft</i> Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Katalis Bentonit.....	42
Gambar 4.5 Persentase ( wt % ) Gas Total Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Katalis Bentonit.....	43
Gambar 4.6 Komposisi <i>Syngas</i> Hasil Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Katalis Bentonit.....	46

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Data Histori Temperatur Gasifikasi	
Lampiran 2	Data Gas Chromatography	
Lampiran 3	Perhitungan Laju Produksi <i>Syngas</i>	
Lampiran 4	Grafik Temperatur – Waktu Dengan (a) 0% Bentonit (b) 10% Bentonit      (c) 30% Bentonit (d) 50% Bentonit	



## RINGKASAN

**Noviando Tria Ariwibowo**, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2018, Pengaruh Variasi Penambahan Katalis Bentonit Terhadap Gasifikasi *Updraft* Tandan Kosong Kelapa Sawit – Batu Bara Dengan Suhu 700°C, Dosen Pembimbing : Nurkholis Hamidi

Sampai sekarang untuk memenuhi keperluan energi pada manusia dan industri masih bergantung dengan pemakaian bahan bakar fosil. Estimasi pemakaian bahan bakar fosil secara global pada tahun 2013 adalah lebih 33 milyar ton per tahun, sedangkan cadangan bahan bakar fosil memiliki jumlah yang terbatas menyebabkan perlunya peralihan menggunakan energi terbarukan. Salah satu energi terbarukan yang banyak dikembangkan saat ini adalah biomassa. Biomassa merupakan bahan organik berasal dari tumbuhan yang menyimpan energi dari hasil fotosintesis. Salah satu dari biomassa yang banyak terdapat di Indonesia adalah tandan kosong kelapa sawit. Limbah tandan kosong kelapa sawit merupakan biomassa yang menjadi sumber energi terbarukan. Biomassa jika dibiarkan akan memecah menjadi unsur H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, dan melepaskan energi yang disimpan secara perlahan. Untuk memanfaatkan energi dari biomassa secara cepat dibutuhkan proses konversi biomassa.

Gasifikasi merupakan salah satu teknologi untuk mengkonversikan biomassa menjadi bahan bakar gas dengan bantuan panas dan kondisi udara terbatas. Hasil dari proses gasifikasi adalah tar, char, dan gas mampu bakar dengan kandungan utama CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, dan CO. Biomassa yang digunakan pada penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan campuran batu bara yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kalor dari syngas tandan kosong kelapa sawit. Proses gasifikasi dilakukan menggunakan gasifier tipe updraft selama 2 jam pada temperatur 700 °C dengan menggunakan bahan baku tandan kosong kelapa sawit sebanyak 100 gram dan batu bara sebanyak 100 gram. Proses gasifikasi dilakukan dengan penambahan katalis bentonit sebanyak 10%, 30%, dan 50% dari berat biomassa. Tujuan dari penelitian ini mengetahui pengaruh penambahan katalis bentonit terhadap syngas hasil gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan katalis bentonit pada proses gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara dapat meningkatkan laju pemanasan, meningkatkan produk gas, dan volume total gas. Hasil analisis kandungan syngas menggunakan gas chromatography menunjukkan bahwa campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara mampu meningkatkan kandungan gas CH<sub>4</sub>. Pada proses gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara dengan penambahan katalis bentonit mampu menaikkan kandungan gas H<sub>2</sub>.

**Kata kunci** : Tandan Kosong Kelapa Sawit, Batubara, Katalis, Bentonit, Gasifikasi Updraft, Syngas.

## SUMMARY

**Noviando Tria Ariwibowo**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2018, *Effects On Variation Of Bentonite Catalyst Addition To Updraft Gasification Of Empty Oil Palm Bunches And Coal Mixture With Temperature Of 700°C*, Academic Supervisor : Nurkholis Hamidi,

Until now, to fulfil human energy need still depend on fossil fuel, with estimated global use more than 33 billion ton each year, while fossil fuel have a limited reserve bank. This matter requires us to looking for renewable energy solutions. One of the renewable energy that is widely developed today is biomass. Biomass is an organic material derived from plants that store energy from photosynthesis. One of the most common biomass in Indonesia is empty fruit bunch oil palm. The waste of empty fruit bunch oil palm is a biomass that is a source of renewable energy. The biomass will decompose into elements of  $H_2O$ ,  $CO_2$ , and release the stored energy slowly. To make use of the energy from biomass quickly requires a biomass conversion process.

Gasification is one technology to convert biomass into fuel gas with the help of heat and limited air conditions. The products of the gasification process are tar, char, and flammable gas with the main content of  $CH_4$ ,  $H_2$ , and  $CO$ . The biomass used in this research is empty fruit bunch oil palm with coal mixture to increase the calorific value of syngas. The gasification process is using updraft gasifier type for 2 hour at 700 °C by using 100 grams of empty oil palm bunches and 100 grams of coal. The gasification process is carried out by adding bentonite catalysts of 10%, 30%, and 50% by weight of biomass. This purpose of this research is to know the effect of bentonite addition to syngas production from gasification of empty fruit bunch oil palm and coal mixtures.

The results of this study indicate that the addition of bentonite as catalyst on gasification process of empty fruit bunch oil palm and coal mixtures can increase the heating rate, increase the product syngas, and increase total gas volume. The analysis of syngas content using gas chromatography show that the mixture of empty fruit bunch oil palm and coal can increase  $CH_4$  gas content. In the process of gasification the mixture of empty bunches of oil palm and coal with the addition of bentonite catalyst can increase the gas content of  $H_2$ .

**Keywords** : empty oil palm bunches, coal, catalyst, bentonite, Updraft Gasification, syngas

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sampai sekarang untuk memenuhi keperluan energi pada manusia dan industri masih bergantung dengan pemakaian bahan bakar fosil. Estimasi pemakaian bahan bakar fosil secara global pada tahun 2013 adalah lebih 33 milyar ton per tahun, sedangkan cadangan bahan bakar fosil memiliki jumlah yang terbatas. Jika pemakaian ini terus berlangsung tanpa mencari sumber energi baru maka semua bahan bakar fosil akan habis dalam waktu yang sangat cepat. Sehingga dibutuhkan usaha untuk mencari sumber energi baru dan terbarukan untuk mengganti kebutuhan energi dari bahan bakar fosil.

Sumber energi terbarukan adalah yang sumber energi yang selalu terbentuk dalam jangka waktu yang pendek. Salah satu contohnya adalah angin, air, matahari, dan biomassa. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan organik yang umumnya berasal dari tumbuhan. Dan di Indonesia memiliki potensi penghasil sumber biomassa yang sangat besar, contoh sumber biomassa yang terdapat di Indonesia adalah dari padi (sekam dan jerami), tebu (ampas), dan limbah dari kelapa sawit (tandan kosong, sabut, cangkang, dan lumpur atau *sludge*).

Penggunaan biomassa adalah dengan cara secara langsung dibakar atau dengan mengkonversi biomassa menjadi biofuel. Tetapi banyak kelemahan jika cara penggunaan biomassa adalah dengan membakarnya secara langsung, salah satunya adalah nilai kalor yang lebih rendah dan jumlah polusi yang besar jika dilakukan pembakaran secara langsung karena partikulat yang tidak ikut terbakar.

Kebijakan energi nasional di Indonesia tidak bisa lepas dengan penggunaan batu bara, hal ini dikarenakan untuk menjamin adanya penyediaan dan kebutuhan energi untuk mendorong pembangunan agar meningkatkan kesejahteraan rakyat. Batubara juga diharapkan dapat menjadi energi alternatif yang relatif bersih dan terbarukan (Jauhary, 2007).

Batubara ada beberapa jenis dari yang terbaik dengan nilai kalor tinggi sampai dengan terendah, adapun untuk peringkat rendah memiliki nilai kalori yang rendah sehingga nilai panasnya menjadi kecil. Tetapi jika dilihat dari sisi lain, beberapa dari batubara tersebut

memiliki keuntungan, yaitu mempunyai sifat yang baik sebagai bahan bakar, seperti kadar sulfur rendah, kadar abu rendah, dan tingginya kandungan zat terbang. (Sule et al., 1997). Pada tahap selanjutnya batubara diharapkan dapat digunakan sebagai bahan bakar sintesis berupa bahan bakar cair dan gas sintesis hasil proses konversi batubara. Penggunaan batubara yang telah dikonversi menjadi bahan bakar cair dan gas sintesis tersebut akan menjadi lebih efisien dan relatif bersih (Artanto et al., 2000).

Salah satu mineral di alam yang memiliki jumlah ketersediaan yang besar di alam adalah bentonit. Indonesia sendiri, dari data EESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral) di tahun 2005, pada pulau Kalimantan, Sulawesi, Sumatra dan Jawa, diperkirakan memiliki lebih dari 380 juta ton ketersediaan bentonit.

Dengan konfigurasi struktur 2:1, bentonit terdapat dua lapisan oksigen – tetrahedral silikon dan satu lapisan oksigen – hidroksil – oktahedral aluminium. Bentonit alamiah memiliki kandungan montmorilonit terbesar dan mengalami substitusi secara natural, dengan  $Al^{3+}$  disubstitusi oleh  $Mg^{2+}/Fe^{2+}$  dan  $Si^{4+}$  digantikan  $Al^{3+}$ . Struktur bentonit memiliki konfigurasi 2:1 yang terdiri dari dua lapis tetrahedral silikon-oksigen dan satu lapis oktahedral aluminium-oksigen-hidroksil. Montmorilonit memiliki kandungan yang paling banyak dalam bentonit alam. Montmorilonit secara alami mengalami substitusi, dimana posisi  $Al^{3+}$  digantikan oleh  $Mg^{2+}/Fe^{2+}$  dan  $Si^{4+}$  digantikan  $Al^{3+}$  menjadi bermuatan negatif dan perlu disetarakan oleh kation contohnya  $Na^+$  dan  $Ca^{2+}$ .

Gasifikasi merupakan proses konversi energi yang mengubah biomassa padat menjadi biogas yang nantinya menjadi sumber energi bagi kehidupan manusia. Dalam berbagai sumber, dijelaskan biomassa merupakan *renewable energy* (energi terbarukan) serta lebih bersih daripada dengan energi fosil yang semakin tahun semakin menipis. Hal inilah dibutuhkan adanya penelitian untuk meningkatkan produksi *syngas* biomassa dengan gasifikasi. 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 object* akan tereduksi karena uap air (*steam*) dan  $CO_2$  membentuk hidrogen dan karbon monoksida. Meningkatkan jumlah atau kecepatan uap air (*steam*) akan menurunkan karbon monoksida di dalam *syngas*, akan tetapi terjadi peningkatan hidrogen dan karbon dioksida karena reaksi geser atau lebih dikenal dengan *shift reaction*.

Untuk meningkatkan hasil *syngas* gasifikasi, Berbagai macam cara telah dilakukan untuk meningkatkan hasil gasifikasi yang berupa gas. Contohnya menggunakan bentonite

yang teraktivasi pada saat proses gasifikasi. Katalis bentonit di dalam proses gasifikasi digunakan untuk menyerap H<sub>2</sub>O biomassa sehingga biomassa dapat terdekomposisi atau memecahkan rantai hidrokarbon panjang dan membentuk hidrokarbon pendek pada waktu yang lebih cepat.

*Tar* juga bisa diserap oleh bentonit yang akhirnya terjadi peningkatan kualitas *syngas* gasifikasi. Jumlah bentonite yang besar dan mudah diperoleh di alam juga sebagai pertimbangan untuk penggunaan bentonite dipilih sebagai katalis pada proses gasifikasi.

Berdasarkan latar belakang di atas maka dilakukan penelitian tentang “Pengaruh Penambahan Katalis Bentonite Terhadap Proses Gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit – Batu Bara” untuk memanfaatkan limbah kelapa sawit dan membuat batu bara menjadi lebih ramah lingkungan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dirumuskan dari latar belakang di atas adalah bagaimana pengaruh penambahan katalis bentonite terhadap proses gasifikasi *updraft* tandan kelapa sawit dengan batubara pada temperature 700°C ?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan – batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian mengambil data kecepatan pemanasan gasifikasi, total volume *syngas*, dan komposisi *syngas*
2. Menggunakan biomassa tandan kosong kelapa sawit
3. Batu bara yang digunakan adalah Batu bara Muda
4. Katalis yang digunakan adalah bentonite
5. Gasifikasi *updraft* digunakan sebagai metode gasifikasi

## 1.4 Tujuan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan pengaruh penambahan jumlah katalis bentonite terhadap gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit - batu bara pada temperature 700°C

## 1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk :

1. Menerapkan ilmu yang diketahui selama perkuliahan berlangsung.

2. Data penelitian yang dihasilkan dapat digunakan sebagai pembanding proses gasifikasi yang lain.
3. Sebagai referensi atau studi literatur untuk penelitian tentang gasifikasi berikutnya.
4. Menambahkan pemahaman masyarakat dengan pemanfaatan biomassa untuk sebagai energi terbarukan dari hasil penelitian ini



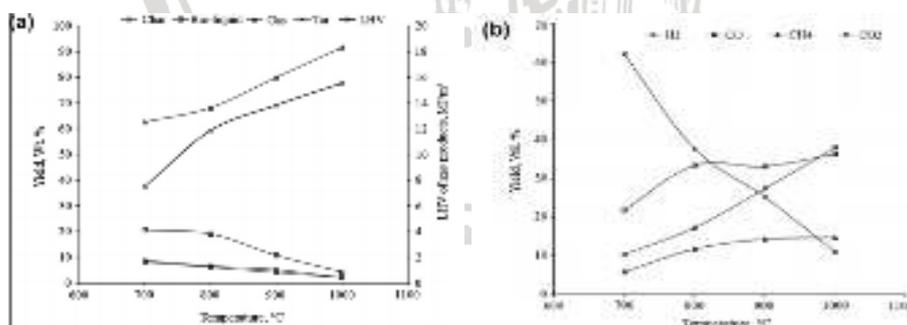
## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai proses gasifikasi untuk menghasilkan *syngas* telah banyak dilakukan oleh peneliti, masing-masing mempunyai karakteristik dan tujuan yang berbeda. Berikut beberapa penelitian proses gasifikasi yang telah dilakukan dan digunakan sebagai dasar untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini.

M.A.A. Mohammed, *et al.* (2011). melakukan penelitian gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan menggunakan udara sebagai agen *gasifying* di dalam *fluidized bed reactor*. Dengan tujuan untuk meningkatkan performa konversi tandan kosong kelapa sawit menjadi *syngas* dengan konsentrasi  $H_2$  yang tinggi. Gasifikasi dilakukan pada temperature  $1000^\circ C$  dengan melakukan kenaikan suhu hingga  $1000^\circ C$ , tandan kosong disuplai oleh *feeder* dari atas reaktor dengan kecepatan suplai  $10g/min$ .

Dari penelitian ini menemukan hasil produk akhir dari gasifikasi tandan kosong dengan kenaikan suhu dari  $700^\circ C$  menuju  $1000^\circ C$  adanya peningkatan produksi *syngas* dari 62.68 menjadi 91.7 wt.%, dengan penurunan secara bertahap pada produksi minyak, arang, dan tar yang bisa dilihat pada gambar 2.1(a). Komposisi *syngas* bisa dilihat pada gambar 2.1(b) dengan semakin meningkatnya temperatur gasifikasi meningkatkan kualitas *syngas*

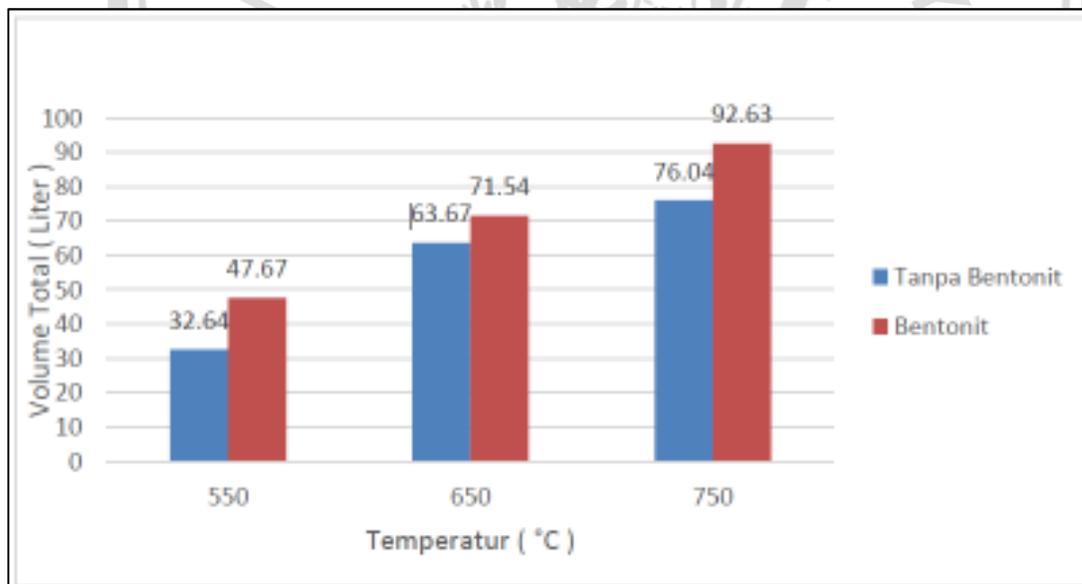


Gambar 2.1 Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit: (a) Hasil Produksi (b) Komposisi *Syngas*

Sumber : Mohammed, M.A.A., *et al.* (2011)

Adimas, (2017) melakukan penelitian mengenai gasifikasi biomassa cangkang kelapa sawit dengan variasi penambahan katalis bentonite untuk menaikkan produksi *syngas*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan katalis dan suhu atas hasil *syngas* yang diproduksi. Penelitian ini memvariasikan temperature gasifikasi sebesar 550°C, 650°C, dan 750°C dan melihat dampak dari penambahan 0% dan 50 wt% bentonite. Dengan massa biomassa cangkang kelapa sawit seberat 200gram dan lama gasifikasi 120 menit (2 jam).

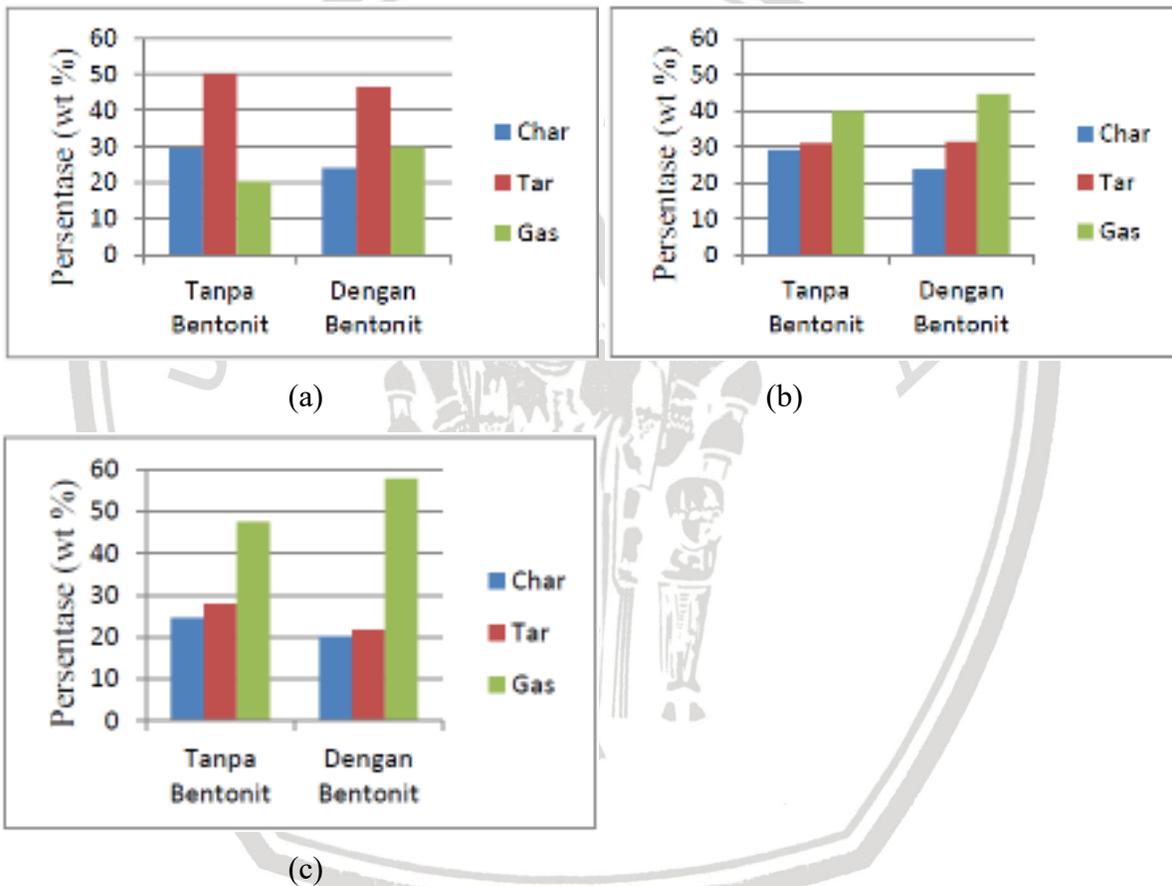
Penelitian ini mendapatkan hasil data total volume *syngas* yang terproduksi semakin meningkat dengan adanya kenaikan suhu gasifikasi. Peristiwa *thermal cracking* menjadi penyebab utama hal ini terjadi, dimana *thermal cracking* adalah peristiwa pemutusan rantai hidrokarbon panjang dengan memanfaatkan panas yang diterima menjadi hidrokarbon rantai pendek. Penambahan katalis bentonite juga berdampak dengan total volume *syngas* yang terproduksi. Dimana pada penambahan 50% katalis meningkatkan produksi *syngas*. Hal ini dikarenakan karena terjadi proses *catalytic cracking*. Total produksi *syngas* terlihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Grafik Total Volume *Syngas* Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit Tanpa dan Dengan Katalis Pada Temperatur 550°C, 650°C dan 750°C

Sumber : Adimas (2017)

Penelitian ini juga menganalisis presentase (%wt) gas total gasifikasi cangkang kelapa sawit dimana komposisi produksi gasifikasi dengan produk yang diproduksi adalah arang, *syngas*, dan *tar*. Didalam penelitian ini pembentukan arang dan *tar* tertinggi berada pada variasi gasifikasi dengan suhu 550°C. Hal ini dikarenakan untuk memutuskan ikatan hidrokarbon yang ada didalam biomassa membutuhkan energi yang cukup besar untuk dapat menguraikan arang dan *tar* untuk dapat menjadi *syngas*. Yang bisa dilihat dalam penelitian dengan meningkatkan suhu di dalam *gasifier* memperbanyak penguraian arang dan *tar* yang pada proses gasifikasi dimana pembentukan *syngas* terbesar berada pada suhu variasi 750°C. Dengan grafik total produksi gasifikasi terlihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2.3 Grafik Komposisi Char, Tar, dan Gas Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit dengan Katalis dan Tanpa Katalis (a) Temperatur 550 °C; (b) Temperatur 650 °C; dan (c) Temperatur 750 °C

Sumber : Adimas (2017)

Raharjo, S (2012) mengadakan sebuah penelitian mengenai analisis *thermogravimetry syngas* dari gasifikasi limbah kelapa sawit berupa tandan kosong, serat, dan cangkang. Dimana penelitian ini diadakan untuk melihat potensi syngas dari konversi limbah kelapa sawit melalui metode gasifikasi. Temperatur gasifikasi yang digunakan adalah 900°C dengan menggunakan tandan kosong, serat, dan cangkang dari limbah kelapa sawit. Adanya penambahan katalis dengan menggunakan komposisi katalis berupa  $K_2CO_3$  sebanyak 57 mol% dan  $Na_2CO_3$  43 mol%. Penelitian ini mendapatkan produk *syngas* yang terlihat pada gambar 2.4 sampai 2.6

Sampel		Limbah padat kelapa sawit			Sampel		Limbah padat kelapa sawit		
		Cangkang	Serat	TKS			Cangkang	Serat	TKS
Moisture	wt %	4,52	6,69	6,00	C	wt %	49,37	45,08	44,10
VM	Air dry	82,86	84,00	84,92	H	% d.a.f	5,65	6,10	6,41
FC		11,02	2,71	1,48	N		0,44	1,61	1,21
Ash		1,61	8,40	7,59	S		0,02	0,15	0,11
Fuel ratio		0,13	0,03	0,02	O		44,52	47,06	48,17
					H/C		1,37	1,62	1,67

(a)

(b)

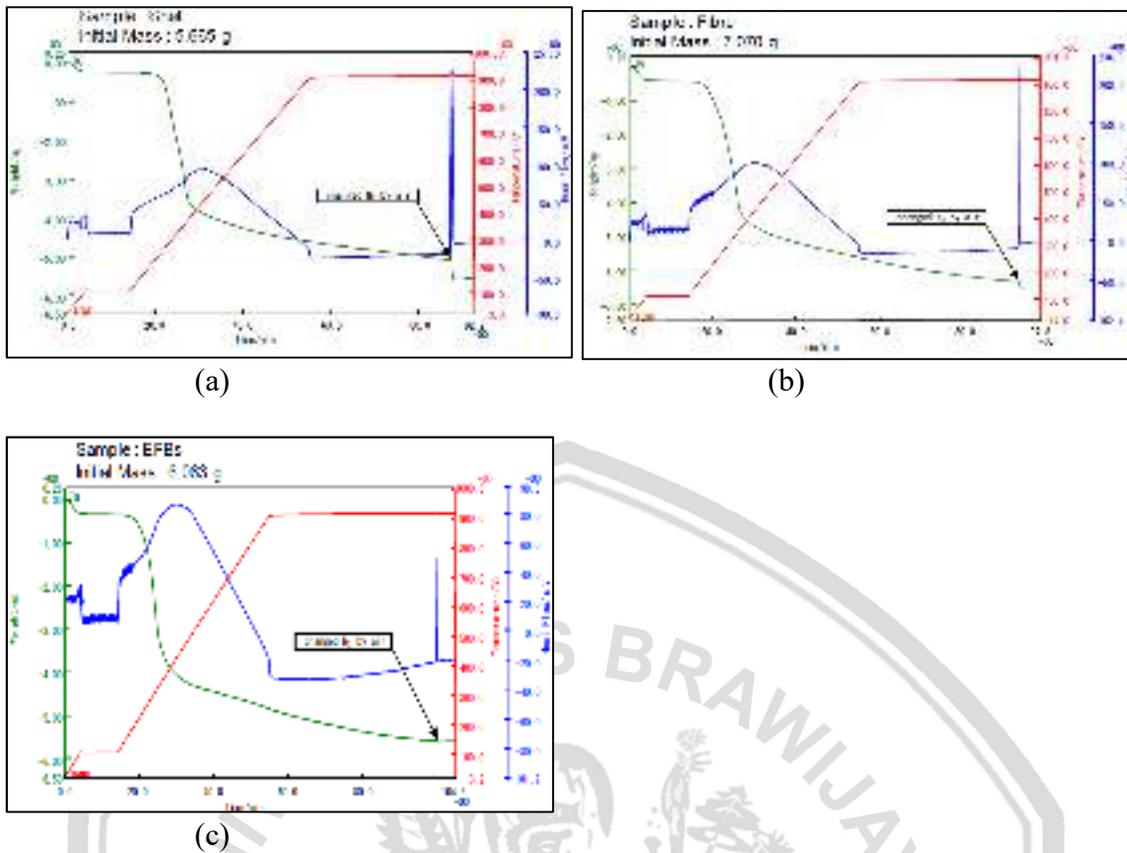
Gambar 2.4 Hasil Analisis Gasifikasi Limbah Kelapa Sawit (a) Analisis *Proximate*; (b) Analisis *Ultimate*

Sumber : Raharjo, S (2012)

Gas	Konsentrasi (Vol.%) pada 900 °C		
	Cangkang	Serat	TKS
H <sub>2</sub>	7,6	7,4	8,2
CO	62,4	60,7	60,2

Gambar 2.5 Konsentrasi Bahan Bakar Gas Hasil Gasifikasi Limbah Kelapa Sawit

Sumber : Raharjo, S (2012)



Gambar 2.6 Hasil Analisis *Thermogravimetry* (a) Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit ; (b) Gasifikasi Serat Kelapa Sawit ; dan (c) Gasifikasi Tandan kosong kelapa Sawit  
 Sumber : Raharjo, S (2012)

Zhang Fan, *et. al.* (2017). mempelajari gasifikasi katalitik dari batubara sub-bituminous dari *Powder River Basin* (PRB) menggunakan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O campuran sebagai agen *gasifying* dengan menggunakan Natrium dan besi untuk mengkatalisis gasifikasi batubara. Dimana pada suhu 700 dan 900 ° C dalam gasifier laboratorium fixed-bed di bawah tekanan atmosfer. Dengan adanya penambahan katalis sebesar 3% berat Na atau 3% berat besi menyebabkan 28,0% atau penurunan 19,5% pada energi aktivasi reaksi gasifikasi dan hasil menunjukkan bahwa natrium lebih merata dari besi selama gasifikasi.

Setelah mengamati dan mempelajari dengan seksama penelitian-penelitian terdahulu tentang proses gasifikasi, maka peneliti menemukan hal baru untuk diteliti dan belum ada yang melakukannya, yaitu penggunaan bentonit sebagai katalis dan batu bara sebagai bahan tambahan dalam proses gasifikasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui “Karakterisasi

*Syngas* Pada Proses Gasifikasi Batubara - Limbah Kelapa Sawit Dengan Katalis Bentonit”, dengan menggunakan bahan baku khususnya batubara dan limbah tandan kosong kelapa sawit.

## 2.2 Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses konversi termokimia dari bahan bakar padat menjadi campuran *syngas* mampu bakar karena oksidasi parsial dan temperature. Menurut Saxena (2008) Gasifikasi menghasilkan *syngas* karena adanya oksidasi parsial karena adanya udara atau oksigen sebagai agen *gasifying* dan temperature tinggi. Pada teori, biomassa dengan kadar air sebesar 5 – 30% dapat dikonversi menjadi *syngas* melalui gasifikasi. Namun, tidak semua biomassa dapat dikonversi menjadi gas sintesis dengan gasifikasi secara maksimal. *Syngas* dipengaruhi oleh sifat mekanik seperti ukuran partikel, bentuk, kandungan karbon, dan *volatile matter* dari biomassa (Tutare, 1997)

. Komposisi *syngas* yang diproduksi dari gasifikasi adalah *syngas* dengan komponen utama CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, dengan gas – gas inert lain (Turare,1997), Komposisi dari *syngas* inilah sehingga dapat dipakai sebagai sumber energy alternative untuk memenuhi sumber energy.

### 2.2.1 Proses Gasifikasi

Peran dari Gasifikasi adalah mengkonversi hidrokarbon rantai panjang menjadi pendek dengan cara memutuskan rantai ikatan karbonnya menjadi gas. Selain *syngas*, gasifikasi juga menghasilkan beberapa produk lain dalam bentuk arang dan *tar*. *Tar* adalah material yang terbentuk karena adanya kondensasi gas ketika udara keluar dari *gasifier* dalam bentuk *liquid*. Arang terbentuk dari sisa biomassa yang telah terkonversi menjadi *syngas* di dalam *gasifier*. Proses - proses yang terjadi pada saat gasifikasi berlangsung adalah sebagai berikut

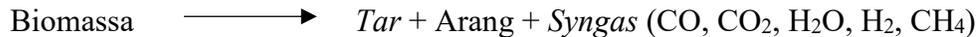
#### I. Pengeringan

Berfungsi untuk mengurangi kandungan air (*moisture*) dari biomassa. Proses ini berlangsung pada sekitar suhu 100 – 300°C, kadar air (*moisture*) hilang ke lingkungan (*gasifier*) karena proses pemanasan oleh *heater* (pemanas). Laju difusi air akan semakin meningkat dengan penambahan temperature.

#### II. *Pyrolysis* (Pirolisis)

Bahan bakar organic mulai terdekomposisi dan berubah wujud menjadi gas karena pengaruh panas tanpa adanya suplai udara / oksigen yang diterima. Proses ini memecahkan

biomassa menjadi arang, *tar*, dan *syngas*. Terjadi pada suhu 300°C, Persamaan Reaksi ini umumnya tertulis:



### III. Reduction (Reduksi)

Reduksi adalah proses terjadinya produksi *syngas* seperti H<sub>2</sub> dan gas inert CO dari *pyrolysis*, dimana arang bereaksi dengan karbon dioksida dan memutuskan ikatannya menghasilkan hidrogen, metana, dan karbon monoksida. Proses ini terjadi pada sekitar suhu 400 – 900°C.

### IV. Oxidation (Oksidasi / pembakaran)

pembakaran adalah proses mulainya pembentukan gas hidrogen dan metana. Terjadi pada suhu diatas 900 °C, penyebaran distribusi O<sub>2</sub> mempengaruhi proses pembakaran. Pembakaran terjadi dengan syarat adanya *fuel*, energi aktivasi dan oksigen.

Selain empat macam proses ini ada beberapa macam proses termodinamika yang mempengaruhi komposisi *syngas* pada hasil gasifikasi dimana bisa dilihat pada table berikut ini

Stoichiometry	Reaction heat ΔH° (kJ/mol)	Name	#
Biomass → char + tar + H <sub>2</sub> O + light gas (CO + CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> + C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + ...)	Endothermic	Biomass devolatilization	1
Char combustion reactions:			
C + 1/2O <sub>2</sub> → CO	-111	Partial Combustion	2
C + O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	-394	Complete Combustion	3
Char Gasification reactions:			
C + CO <sub>2</sub> → 2CO	+175	Redox reaction	4
C + H <sub>2</sub> O → CO + H <sub>2</sub>	+131	Steam gasification	5
C + 3H <sub>2</sub> → CH <sub>4</sub>	-75	Hydrogasification reaction	6
Homogeneous stable reactions:			
CO + 1/2O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	-281	CO Oxidation	7
H <sub>2</sub> + 1/2O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	-242	H <sub>2</sub> Oxidation	8
CH <sub>4</sub> + 2O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	-802	CH <sub>4</sub> Oxidation	9
CO + H <sub>2</sub> O → CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub>	-41	WGS reaction	10
CO + 3H <sub>2</sub> → CH <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O	-206	Methanation	11
Tar reactions:			
C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> + (m/2)O <sub>2</sub> → nCO + (m/2)H <sub>2</sub>	Between -715 and + = 2,538	Partial oxidation	12
C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> + nO <sub>2</sub> → (m/24n)H <sub>2</sub> + nCO	Between -740 and + = 2,362	Steam reforming	13
C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> + nCO <sub>2</sub> → 2nCO + (m/2)H <sub>2</sub>	Between +900 and + = 3,112	Dry reforming	14
C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> + (2n - m/2)H <sub>2</sub> → nCH <sub>4</sub>	Between -498 and + = 1,815	Hydrogenation	15
C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> → (m/4)CH <sub>4</sub> + (n - m/4)C	Between -161 and + = 505	Thermal cracking	16

Gambar 2.7 Reaksi – Reaksi Kimia Proses Gasifikasi

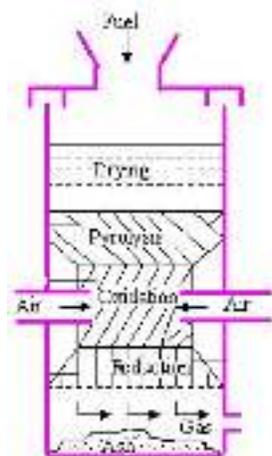
Sumber : Valderrama Rios, et, al. (2018)

## 2.2.2 Jenis – Jenis Gasifier

Menurut arah fluida gas *gasifier*, Gasifikasi dibagi menjadi dua macam :

### I. Gasifikasi *Downdraft*

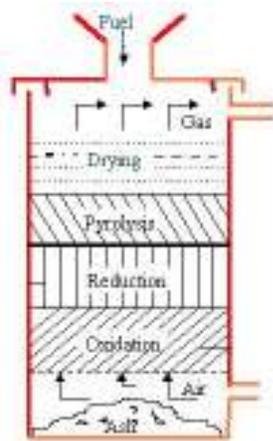
Gasifikasi *Downdraft*, aliran udara masuk ke dalam *gasifier* dari bagian atas. Pada gasifikasi ini uap air masuk melalui bagian atas *gasifier* untuk mendorong oksigen keluar sehingga tidak akan terjadi pembakaran. Sementara produksi gas mampu bakar dikeluarkan melalui bagian bawah *gasifier*. Pada gasifikasi tipe ini gas yang dihasilkan cenderung lebih kotor dari tipe *updraft* karena kandungan char ikut terbawa keluar oleh gas karena pengaruh gaya gravitasi. Oleh karena itu Kekurangan dari tipe ini adalah sulit mengendalikan abu yang keluar



Gambar 2.8 Rancangan Gasifikasi *Downdraft*  
Sumber : Turare (1997)

## II. Gasifikasi *Updraft*

Pada tipe ini cirinya adalah arah aliran udara dari blower masuk melalui bagian bawah *gasifier*. Pada tipe ini gas  $N_2$  masuk melalui bagian bawah *gasifier* untuk mendorong oksigen keluar sehingga tidak akan terjadi pembakaran. Sementara produksi gas mampu bakar dikeluarkan melalui bagian atas *gasifier*. Kelebihan dari tipe ini adalah dapat digunakan dalam skala kecil dan *char* yang dihasilkan hampir tidak ada karbon karena terbawa oleh gas keatas. Kekurangannya adalah memiliki hasil tar yang tinggi. Skema gasifikasi *updraft* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.9 Rancangan Gasifikasi *Updraft*  
Sumber : Turare (1997)

### 2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Hasil Gasifikasi

Laju pembentukan *syngas* pada proses gasifikasi dapat dipengaruhi oleh factor – factor penting yang dijelaskan dibawah ini :

#### 1. Laju Pemanasan

Memiliki peran penting untuk mempengaruhi komposisi dan hasil *syngas*. Hasil yang diinginkan didapat dengan parameter kecepatan pemanasan yang disesuaikan. *Syngas* dapat dimaksimalkan dengan cara menyesuaikan kecepatan pemanasan yang kecil dan diikuti dengan temperature maksimum sekitar 700 – 900oC untuk gasifikasi tidak menggunakan katalis, waktu penahanan gas dijaga lama di dalam *gasifier*.

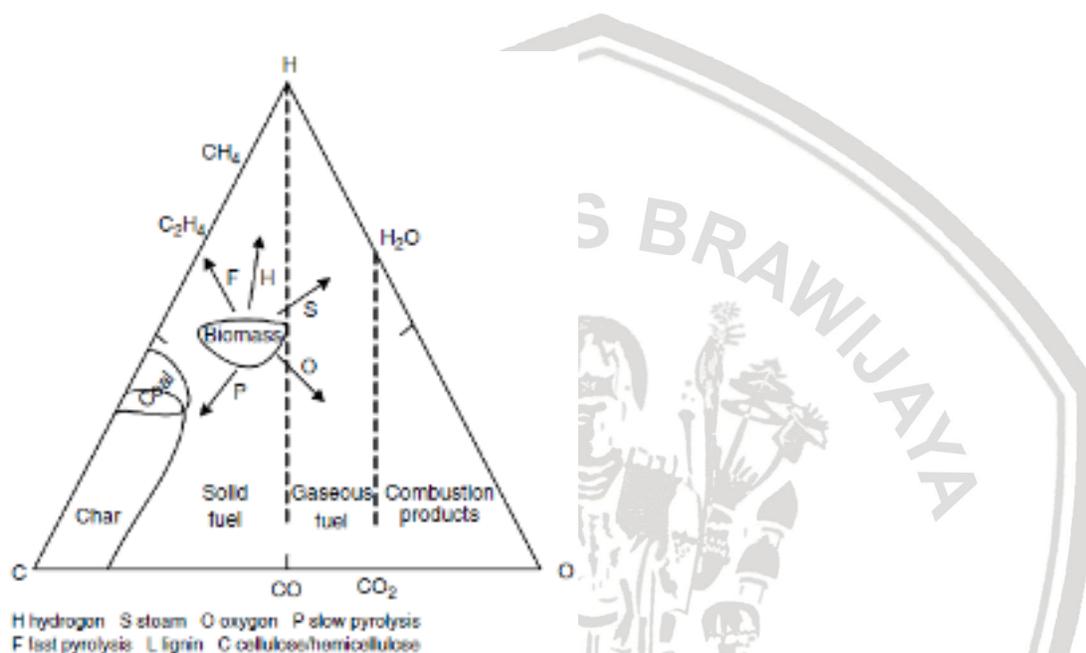
#### 2. Jenis Biomassa

Bahan bakar berbasis karbon yang terbentuk dari tumbuhan dan atau hewan. Dan pada saat gasifikasi akan menjadi bahan bakar dalam bentuk gas setelah dikonversi. Biomassa setiap jenisnya memiliki karakteristik yang berbeda. Dengan 3 pengklasifikasian Biomassa yaitu dengan *ternery diagram*, *atomic ratio*, dan *lingo-selullose ratio*..

##### a) Diagram ternary

*Ternery diagram* digunakan untuk mempermudah peristiwa konversi biomassa dipresentasikan. Dengan segitiga yang memiliki tiga sudut dengan masing – masing sudut dipresentasikan oleh oksigen, karbon, dan hidrogen yang konsentrasinya adalah 100%. Jika suatu biomassa berada mendekati sudut oksigen dan hidrogen dan

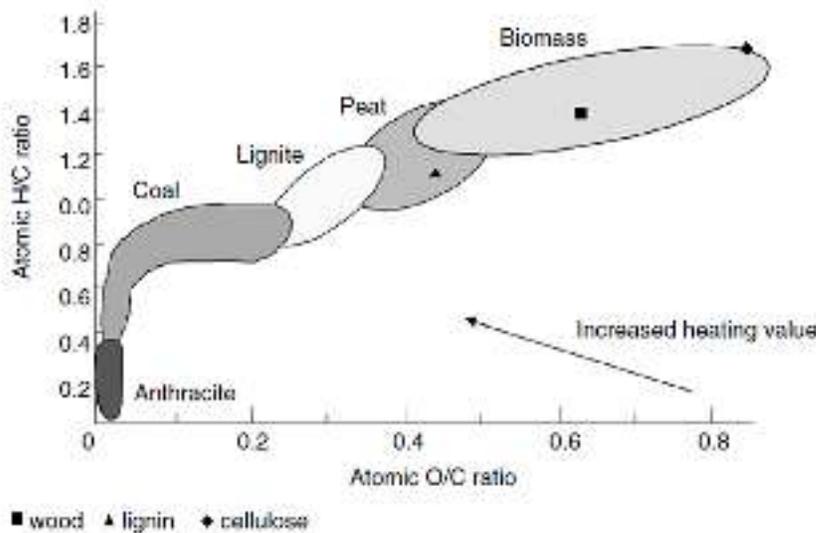
menjauhi batu bara. Ini berarti spesimen biomassa memiliki konsentrasi oksigen dan hidrogen yang lebih besar dari batu bara. Dan dengan dilakukannya gasifikasi hasil *syngas* yang dihasilkan akan berbeda. Inilah mengapa *ternery diagram* dapat mempresentasikan biomassa yang dikonversi. Dengan contoh *pyrolysis* dengan waktu yang lama, mengakibatkan biomassa dikonversi menuju karbon dengan dibentuknya *char*. Penggunaan *steam* dalam proses gasifikasi akan menjauhi suhu C dan dihasilkan  $H_2$  dengan wujud gas. Demikian juga dengan mengintroduksi  $O_2$  pada proses gasifikasi akan membentuk *fuel* dengan wujud gas.



Gambar 2.10 C-H-O Diagram Ternary Gasifikasi Biomassa  
Sumber : Basu (2010, p.41)

b) *Atomic Ratio*

Hasil *syngas* dari suatu biomassa sangat dipengaruhi oleh *atomic ratio*. Dengan contoh *ratio* oksigen-karbon ( $O/C$ ) dari suatu biomassa berhubungan *HHV* atau *High Heating Value*. Dengan semakin besar  $O/C$  *ratio* akan menurunkan *HHV* dari spesimen biomassa. Nilai kalor spesimen biomassa. Biomassa memiliki tinggi  $H/C$  dan  $O/C$  *ratio* yang besar mengakibatkan rendahnya nilai kalor yang ada di biomassa dengan dasar tumbuhan. Proses termal digunakan untuk mengurangi atom O didalam biomassa yang mengakibatkan mengurangi  $O/C$  *ratio* disebut *coalification* (pembatubaraan). Pengelompokkan biomassa yang didasarkan oleh *atomic ratio* terlihat pada gambar 2.7



Gambar 2.11 Klasifikasi Bahan Bakar Padat Berdasarkan Rasio H/C dan O/C  
 Sumber : Basu (2010, p.39)

c) *Ligno-Cellulose Ratio*

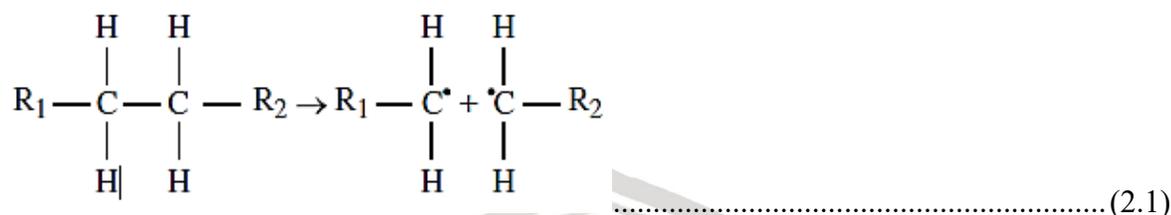
Kadar kesetimbangan selulosa, lignin, dan hemiselulosa dari biomassa mempengaruhi *syngas* gasifikasi di suatu biomassa, sebagai contoh produk gasifikasi *syngas*, *char*, dan *tar*. Dimana lignin akan membentuk *char* karena sulit untuk terdekomposisi, *condenseable* gas akan diproduksi oleh selulosa dan hemiselulosa akan membentuk *tar* yang kecil dari selulosa dan sebagian besar *non condenseable gas*.

3. Temperatur Kerja

Temperatur kerja pada proses gasifikasi sangatlah berpengaruh terhadap produk gas hasil gasifikasi seperti kandungan gas hasil gasifikasi dan volume total gas hasil. Semakin tinggi temperatur gasifikasi akan meningkatkan kandungan gas hidrogen pada *syngas* hasil gasifikasi, hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur akan meningkatkan reaksi *water gas* yang menghasilkan gas hidrogen (Basu, 2010). Semakin tinggi temperatur juga volume total gas yang dihasilkan akan semakin banyak. Hal ini dikarenakan pengaruh dari *thermal cracking* sehingga yang membuat semakin banyak biomassa yang akan terdekomposisi menjadi bahan bakar gas.

Menurut (Sadeghbeigi, 2012) langkah awal pada proses *thermal cracking* adalah membentuk radikal bebas dengan memutus ikatan C-C dengan pemberian kalor.

Radikal bebas merupakan molekul tak bermuatan dengan elektron tidak berpasangan. Pecahnya menghasilkan dua molekul tak bermuatan yang berbagi sepasang elektron. Persamaan 2.1 menampilkan pembentukan dari radikal bebas ketika molekul paraffin terkena efek *thermal cracking*.



Radikal bebas sangatlah reaktif dan masanya sebentar, mereka bisa mengalami proses *alpha-scission* yang akan menghasilkan *methyl radical* yang mampu mengekstrak atom hidrogen dari molekul hidrokarbon netral sehingga membentuk metana (CH<sub>4</sub>) dan proses *beta-scission* yang akan menghasilkan olefin (ethylene) yang memiliki atom karbon lebih sedikit.

#### 4. Penambahan Katalis

Penambahan katalis pada proses gasifikasi sangatlah berpengaruh terhadap gas hasil gasifikasi baik itu kandungan gas maupun volume total gas produksinya. Katalis mampu berperan membantu pemecahan rantai hidrokarbon biomassa atau yang biasa disebut proses *catalytic cracking*. Mekanismenya terjadi ketika biomassa kontak dengan katalis teraktivasi dan menjadi uap. Kemudian atom bermuatan positif yang dinamakan *carbonations* terbentuk. *Carbonation* merupakan istilah umum untuk carbon ion bermuatan positif, *carbonation* bisa juga dinamakan *carbenium ions*. *Carbenium ion* (CH<sub>5</sub><sup>+</sup>) terbentuk dari penambahan ion hidrogen (H<sup>+</sup>) ke molekul parafin. Hal ini terjadi melalui proton attack dari katalis *Bronsted site*. *Carbenium ion* sangatlah tidak stabil dan mampu membantu pemecahan ikatan rantai hidrokarbon biomassa dikarenakan energi yang dibutuhkan untuk memecah lebih kecil dari pada tanpa penggunaan katalis.

### 2.3 Katalis

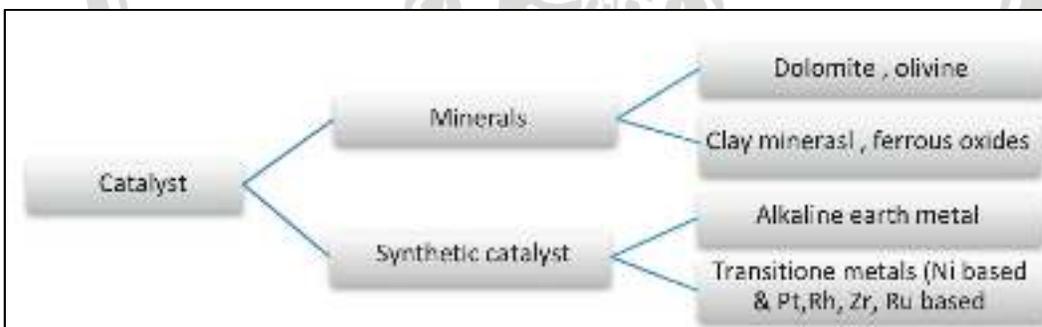
Katalis adalah material yang digunakan untuk meningkatkan kecepatan reaksi kimia tetapi tidak bereaksi didalam reaksi kimia. Didalam proses gasifikasi katalis mempercepat reaksi

dengan memutuskan rantai hidrokarbon bahan bakar organik dengan menurunkan energi yang dibutuhkan untuk mulai bereaksi. Dengan adanya katalis menyebabkan reaksi terjadi pada suhu yang lebih rendah dan cepat. Reaksi kimia umum dari penambahan katalis, dengan C adalah katalis :



Meskipun katalis bereaksi pada reaksi pertama , tetapi pada persamaan kedua katalis terproduksi kembali yang akan bereaksi kembali menjadi menjadi persamaan pertama

Katalis mempunyai peranan penting dalam rangkaian gasifikasi karena terdapat pengaruh dengan hasil *syngas*. Kenaikan produksi *syngas* sebagai contoh adalah peningkatan hidrogen dari 33.3 mol% berubah menjadi 52.5 mol% dengan rasiogas sintesis yang pada awalnya 1.15:2.15 menjadi 1.87:4.45 (Balat, 2008). Gasifikasi tidak hanya menghasilkan *syngas* tetapi juga *tar* yang tidak diinginkan sebagai produk gasifikasi, karena *tar* menurunkan LHV *syngas* dan penyumbatan sehingga dibutuhkan biaya tambahan untuk menanggulangnya. Pada tahun 1980 katalis mendapatkan perhatian masyarakat karena dengan penambahan katalis ke dalam proses gasifikasi mampu menurunkan konsentrasi *tar* yang menyebabkan meningkatnya *syngas* dan keuntungan yang didapat dari metode gasifikasi (Sutton et al, 2001). Secara umum macam – macam katalis untuk proses gasifikasi dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.12 Macam – Macam Katalis Untuk Proses Gasifikasi  
Sumber : Sahbaz et al (2017)

## 2.4 Bentonit

Katalis yang diselidiki pengaruhnya didalam penelitian ini adalah bentonite yang termasuk dalam kategori katalis mineral. Lempung bernama dagang bentonite karena lempung ini mengandung mineral monmorillonit. Komposisi utama dari bentonite merupakan mineral

monmorilonit (80%) dengan rumus kimia  $(\text{Na,Ca})_{0.33}(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Masyarakat umum mengenal Bentonit dengan berbagai macam nama seperti sabun mineral, sabun tanah liat, *staylite*, *vol-clay*, *aquagel*, *wilkinite*, *refinite* dan *ardmorite* (Johnston, 1961). Bentonite sebagai katalis meningkatkan konversi bahan bakar organik menjadi gas pada saat *pyrolysis*, meningkatkan kandungan  $\text{CH}_4$  dan  $\text{H}_2$  walaupun pada suhu rendah (Dou, 2016). Bentonite menyebabkan rantai hidrokarbon panjang untuk terdekomposisi menjadi hidrokarbon pendek terjadi lebih cepat, ini dikarenakan pada bentonite terdapat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina) dengan konduktivitas thermalnya yang tinggi menjadikan bentonite sebagai bahan konduktor yang baik. membuat bentonit berfungsi sebagai konduktor yang baik, dan mengoptimalkan penyerapan panas dan meningkatkan kecepatan bahan bakar organik untuk terdekomposisi.

Proses bentonit berfungsi sebagai katalis dengan terjadi perpindahan atom (-) atau atom (+) dari bentonit menuju biomassa. Di dalam biomassa terdapat ikatan  $-\text{OH}$  dengan unsur O merekat dengan unsur H dan dapat bergerak bebas dan mudah terlepas sehingga kekosongan tersebut digantikan oleh bentonite. Mekanisme perpindahan atom bentonite ini terjadi pada permukaan di mana atom bermuatan ini menyerap energi panas saat proses gasifikasi berlangsung.

Bentonite bersifat asam ( $\text{H}^+$ ) hal ini dikarenakan adanya kandungan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{SiO}_4$  sehingga bentonite melakukan *proton attack* untuk menghasilkan ion karbenium ke biomassa. Dengan reaksi seperti berikut.



Rantai Hidrokarbon

Panjang pada Biomassa

Proton Attack

Carbenium Ion



Carbenium Ion



Carbenium Ion Baru



Olefin

Bentonite juga berfungsi untuk menghilangkan racun yang terproduksi ketika gasifikasi berlangsung seperti  $\text{NH}_3$  (amonia). Amonia adalah senyawa beracun dan merupakan gas *inert* (sulit terbakar) yang menyebabkan adanya amonia didalam *syngas* sangat merugikan dan perlu

direduksi. Penambahan bentonit dengan kandungan  $\text{Ca}^+$  dan  $\text{Na}^+$  dapat membantu mengurangi kandungan amonia.

## 2.5 Batu Bara

Definisi batu bara adalah batu sedimen yang lahir dari adanya dekomposisi tumbuhan dan hewan yang sudah tidak hidup lagi di dalam bumi sekitar 300 juta tahun. Karena dipengaruhi oleh tekanan dan panas bumi yang lama memiliki sifat mekanik yang padat dan keras. Tekanan, suhu, dan waktu pengedempan mempengaruhi kualitas dair batu bara. Memiliki komposisi C, O, N, S, dan H, batu bara terdapat beberapa mineral lain seperti besi, kalsium, magnesium, silica dan aluminium yang menjadi abu dalam akhir proses gasifikasi (Mutasim, 2007). Yunita (2000) menyatakan tingkatan batu bara dapat ditentukan dengan jumlah konsentrasi karbon yang ada. Antrasit merupakan nama untuk tingkatan karbon yang paling tinggi, dengan penurunan tingkatan batu bara karena adanya peningkatan kandungan  $\text{H}_2\text{O}$ . ASTM mengklasifikasikan batu bara didasari oleh tingkatan *volatile matter*, *heating value*, dan *fixed carbon* di tabel 2.2

Tabel 2.2  
ASTM Spesification For Solid Fuel

Class	Group		Fixed Carbon	Volatile matter	Heating values
	Name	Symbol	Dry (%)	Dry (%)	Drybasis (kcal/kg)
Anthracite	Meta-anthracite	Ma	>98	>2	7740
	Anthracite	An	92-98	2.0-8.0	8000
	semianthracite	Sa	86-92	8.0-15	8300
Bituminous	Low-volatile	Lvb	78-86	14-22	8741
	Medium volatile	Mvb	89-78	22-31	8640
	High-volatile A	hvAb	<69	>31	8160
	High volatile B	hvBb	57	57	6750-8160
	High volatile C	hvCb	54	54	7410-8375
					6765-7410
Subbituminous	Subbituminous A	subA	55	55	6880-7540
	Subbituminous B	subB	56	56	6540-7230
	Subbituminous C	subC	53	53	5990-6860
Lignite	Lignite A	ligA	52	52	4830-6360
	Lignite B	ligB	52	52	<5250

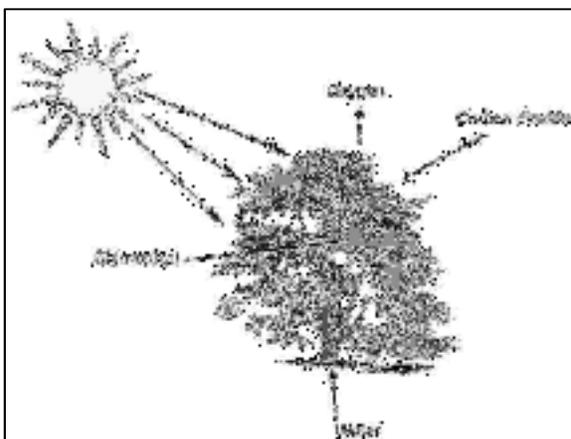
Sumber : Mutasim (2007)

Batu bara yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu bara lignit yang ditambang dari pulau Kalimantan. Lignit memiliki tingkat yang paling rendah dari pengelompokkan batu bara yang berwarna coklat kehitaman atau coklat, *volatile matter* dan *moisture* (kandungan air) yang tinggi jika dibandingkan dengan tipe batu bara lain. Untuk klasifikasi di dunia, definisi lignit memiliki konsentrasi karbon berkisar 25 – 55%, kadar air yang bisa mencapai 66%, kadar abu 6 – 19% dan memiliki kurang dari 5700 kkal/kg sebagai nilai kalornya.

Zhang, et, al (2015) menyatakan dibandingkan dengan batu bara lain, lignit mudah dikonversi menjadi bentuk gas karena kandungan zat terbangnya yang tinggi dan mampu terurai pada suhu yang relative lebih rendah Lignit memiliki kandungan zat terbang yang cukup tinggi sehingga membuatnya lebih mudah untuk diubah menjadi gas dibanding jenis batu bara tingkat yang lebih tinggi. Di masyarakat umum penggunaan lignit digunakan sebagai bahan bakar di pembangkit listrik. Tetapi karena *moisture* yang besar, dibutuhkan rangkaian tindakan dewatering. Dan dibutuhkan penanganan khusus, karena ketika lignit dalam keadaan kering bisa menyebabkan terjadinya *spontaneous combustion* atau menyala seketika.

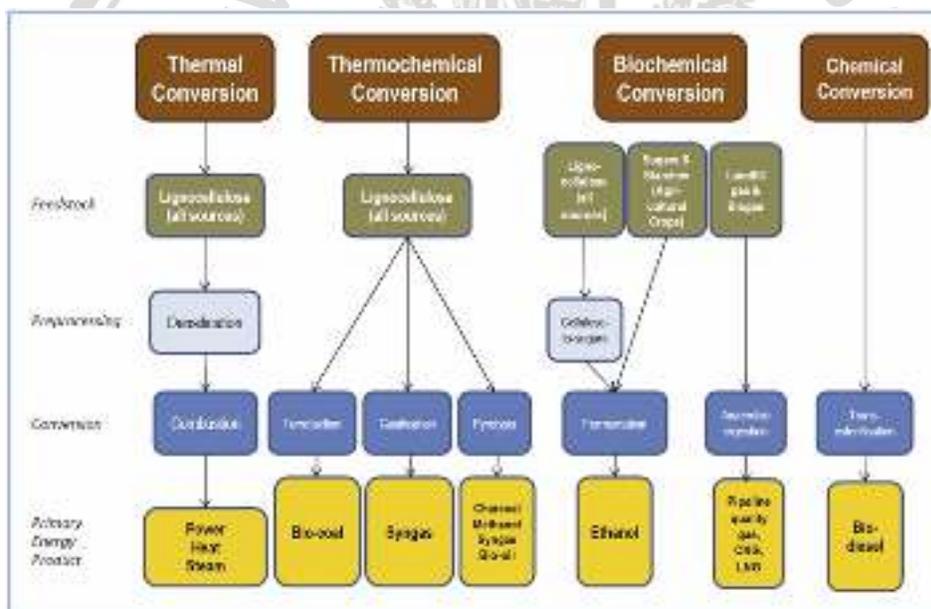
## 2.6 Biomassa

Didefinisikan sebagai material berkarbon yang asalnya dari tumbuhan atau hewan. Merupakan salah satu contoh sumber energi terbarukan, biomassa diproduksi karena interaksi karbon dioksida, air, udara, sinar matahari, dan tanah dari tumbuhan di bumi (Basu, 2010). Setelah tumbuhan atau hewan mati, jika dibiarkan begitu saja akan terdekomposisi menjadi CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan menyebarkan energi ke lingkungan yang telah disimpah secara perlahan. Unsur CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke lingkungan mempunyai besar yang sama dengan besar karbon dioksida yang diserap oleh tumbuhan untuk melakukan fotosinetsis yang menyebabkan tidak menmbahkan efek rumah kaca ke lingkungan atmosfer.



Gambar 2.13 Proses Produksi Biomassa  
 Sumber : Basu (2010, p.28)

Untuk memanfaatkan energi yang ada didalam biomassa dengan waktu yang relative cepat dibutuhkan proses rekayasa, yang dibagi menjadi empat macam konversi termokimia, konversi biokimia, konversi kimia, dan konversi termal. Yang menghasilkan berbagai macam bahan bakar sesuai dengan kebutuhan energi manusia.



Gambar 2.14 Macam – Macam Konversi Biomassa  
 Sumber : CL. Williams (2010)

Biomassa digunakan dalam penelitian ini, dengan metode konversi yang dipilih merupakan metode konversi termal yang khususnya adalah gasifikasi. Gasifikasi digunakan untuk mendapatkan bahan bakar berbentuk *syngas* dengan sifat *combustable*.

## 2.7 Tandan Kosong Kelapa Sawit

Dalam pengolahannya, kelapa sawit yang diolah untuk menjadi CPO (*Crude Palm Oil*) menghasilkan limbah yang berupa cangkang, limbah cair POME (*Palm Oil Mill Effluent*), dan tandan kosong kelapa sawit. Limbah tandan kosong kelapa sawit ini dapat digunakan sebagai biomassa yang berpotensi sebagai energi alternative menggantikan energi dari fosil. Dimana di Indonesia menghasilkan 8.2 juta ton limbah kelapa sawit padat yang bisa disetrakan sebesar 67 GJ per tahunnya. (Vidian, 2011) *Tandan* kosong kelapa sawit merupakan limbah sisa dari pengolahan kelapa sawit menjadi *Crude Palm Oil* (CPO) yang bisa dijadikan salah satu biomasa dan berpotensi menjadi energi alternatif. Di Indonesia sendiri limbah kelapa sawit yang dihasilkan 8,2 juta ton limbah padat pertahun yang berupa serabut, batok, dan tandan kosong atau setara dengan energi sebesar 67 GJ/tahun (Vidian, 2011).

Limbah tandan kosong kelapa sawit memiliki potensi yang besar untuk didayagunakan sebagai bahan bakar hal ini dikarenakan tandan kosong kelapa sawit memiliki nilai kalor baik menyetarai dengan nilai kalor dari batu bara lignit. Dengan analisis *ultimate* dan *proximate* dengan membandingkan lignit dengan tandan kosong kelapa sawit.

Tabel 2.2

Analisis Proksimat dan Ultimate Tandan kosong kelapa Sawit dan Batu bara Lignit

Kandungan	Tandan kosong kelapa Sawit	Batu bara Lignit
<b>Analisis Proksimat</b>		
Kadar air (%)	8,75	17,5
<i>Volatile matter</i> (%)	79,67	37,2
<i>Fix Carbon</i> (%)	8,68	40,3
Abu (%)	3,02	6,3
Nilai Kalor (kcal/kg)	4550	5324
<b>Analisis Ultimate</b>		
C (%)	48,78	57
H (%)	7,33	6,5
N (%)	0,00	1,1
S (%)	0,08	0,5
O (%)	40,18	28,3

Sumber : Ma dan Yousuf (2005) dan Bahrin D. (2009)

## 2.8 Hipotesa

Hipotesa untuk saat ini berdasarkan hasil penelitian sebelumnya dan kajian pustaka ditarik suatu kesimpulan berkaitan dengan rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu dengan

penambahan katalis bentonite pada proses gasifikasi tandan kosong kelapa sawit – batu bara akan memberikan pengaruh pada kecepatan produksi, komposisi unsur gas, dan meningkatkan kecepatan produksi *syngas* yang dihasilkan



## BAB III

### METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini penulis meneliti tentang pengaruh gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara terhadap penambahan katalis bentonit. Jadi konsentrasi penambahan katalis bentonit di buat bervariasi dengan tujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil syngas dari proses gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara.

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan eksperimen nyata dengan penulis melakukan proses gasifikasi tandan kelapa sawit dan hasil syngas di periksa di lab untuk mengetahui unsur – unsur dari *syngas* yang hasil gasifikasi.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Awal penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2017 – Mei 2018 di Laboratorium Motor Bakar, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Malang. dengan melakukan pengujian proses gasifikasi dari tandan kosong kelapa sawit dan batu bara dengan variasi penambahan konsentrasi katalis bentonit dari berat total biomassa.

#### 3.3 Variabel Penelitian

Macam – macam variabel di dalam penelitian ini adalah variabel bebas dimana variabel yang dipilih oleh penulis dan sebagai acuan dalam berlangsungnya penelitian ini. Variabel terikat merupakan variabel yang hasilnya dipengaruhi variabel bebas, serta variabel terkontrol yang merupakan kondisi yang harus dijaga agar penelitian ini dapat dianggap valid dengan nilai perbandingan yang dihasilkan dari penelitian ini.

##### I. Variabel bebas

Variabel bebas penelitian ini yaitu penambahan katalis bentonit terhadap tandan kosong kelapa sawit - batu bara adalah : 0%, 10%. 30%, 50% dari berat biomassa.

## II. Variabel Terikat

Variabel terikat dari penelitian ini adalah Laju pemanasan, Volume total *syngas*, Presentase berat (wt%) gas total gasifikasi, dan komposisi *syngas*.

## III. Variabel Terikat

Variabel terkontrol penelitian ini adalah massa biomassa yang dimasukkan ke dalam tungku pembakaran adalah seberat 200 gram, dan konsentrasi komposisi tandan kelapa sawit dan batu bara yang masing – masing adalah sebanyak 50%, dan temperature maksimal 700°C, dan waktu pengujian selama 2 jam (120 menit).

### 3.4 Alat dan bahan penelitian

#### 3.4.1 Bahan

##### 1. Tandan kosong kelapa sawit

adalah bahan pokok di dalam penelitian ini hal ini dikarenakan tandan kosong kelapa sawit memiliki densitas yang cukup tinggi dan mempunyai kandungan selulosa yang cukup tinggi. Tandan kosong kelapa sawit dipotong terlebih dahulu supaya ukuran partikelnya menjadi lebih kecil yang menyebabkan muatan bahan bakar menjadi lebih optimal.



Gambar 3.1 Tandan kosong kelapa sawit

Pengeringan Tandan Kosong Kelapa Sawit dilakukan dengan oven pada temperatur kurang lebih 100°C selama 1 jam. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kandungan air yang ada di dalam tandan kosong kelapa sawit.

## 2. Batu bara

Batu bara juga digunakan sebagai campuran bahan bakar. Dengan penambahan atau pencampuran batu bara ini diharapkan terjadi penambahan hasil *syngas* yang diperoleh. Batu bara sebelum digunakan dihaluskan terlebih dahulu supaya bisa lebih merata pada saat proses gasifikasi.



Gambar 3.2 Batu bara

Batu bara juga di proses sama seperti tandan kosong kelapa sawit yaitu dengan menghilangkan kadar air batu bara didalam oven dan memanaskan selama 60 menit pada suhu 100°C

## 3. Katalis bentonit

Penambahan katalis bentonit pada penelitian ini dengan harapan penambahan bentonit dapat mempercepat reaksi terjadinya *syngas*, mengurangi energi aktivitas jika dibandingkan dengan proses gasifikasi tanpa katalis bentonit. Bentonit harus di saring terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran yang ada dan menyeragamkan ukuran butiran bentonit. Dan diaktivasi dengan cara memanaskan bentonit ke dalam oven pada suhu 300°C selama 3 – 4 jam, ketika semua proses ini telah selesai bentonit di timbang pada timbangan elektrik sampai beratnya sesuai dengan yang ditentukan.

### 3.4.2 Alat & Skema Penelitian

#### 1. *Thermocouple*

Instalasi pengujian ini memerlukan dua unit *thermocouple*. Keduanya merupakan *thermocouple* tipe K untuk mengubah temperature menjadi data digital. *Thermocouple* yang pertama berfungsi menakar besarnya panas yang dikirimkan oleh heater yang akan terbaca

oleh *thermocontroller*. Sementara *thermocouple* yang kedua berfungsi untuk menakar temperatur biomassa yang ada didalam *gasifier* yang akan terbaca oleh data logger.

## 2. Gasifier

*gasifier* berbahan dasar besi dengan bentuk silinder yang berdiameter 20 cm.



Gambar 3.3 Gasifier

## 3. Data Logger

*Data logger* digunakan untuk mengukur temperatur pada biomassa sekaligus dapat mengukur laju pemanasan yang terjadi pada biomassa selama proses gasifikasi berlangsung.



Gambar 3.4 Advantech USB-4718 Data Logger

## 4. Thermocontroller

*Thermocontroller* berfungsi mengatur arus yang masuk ke dalam heater untuk mengatur suhu *gasifier*, *thermocontroller* ini juga berfungsi sebagai saklar *gasifier*.



Gambar 3.5 Thermocontroller

#### 5. Tabung Elemeyer

Tabung elemeyer berfungsi untuk memisahkan dan menampung *tar* yang terproduksi selama proses gasifikasi. *Tar* dapat terpisah karena proses kondensasi, proses ini membutuhkan suhu rendah untuk dapat terjadi sehingga *tar* dalam *syngas* dapat terpisah dalam tabung elemeyer



Gambar 3.6 Tabung Elemyer

#### 6. Laptop

Laptop berfungsi untuk melihat dan menyimpan data dari *data logger* yang telah *disetting* menjadi fungsi temperatur dan waktu selama pengujian berlangsung (2 jam).



Gambar 3.7 Laptop

#### 7. Heater

*Heater* berfungsi untuk memanaskan *gasifier* karena kumparan pemanas.

#### 8. Sampling Bag

*Sampling Bag* dibutuhkan untuk menampung *syngas* yang terproduksi setelah terjadi kondensasi.



Gambar 3.8 Sampling Bag

#### 9. Gelas Ukur

Gelas ukur berfungsi untuk mengukur volume *syngas* yang terproduksi selama penelitian berlangsung. *Syngas* yang terukur merupakan *syngas* yang telah terkondensasi.



Gambar 3.9 Gelas Ukur

#### 10. Oven

Penggunaan alat ini adalah untuk mengeringkan tandan kosong kelapa sawit, batu bara, dan mengaktivasi bentonit.



Gambar 3.10 Oven

#### 11. Moisture Analyzer

Penggunaan *Moisture Analyzer* adalah untuk mengetahui konsentrasi kadar air pada tandan kosong kelapa sawit, batu bara, dan bentonit.



Gambar 3.11 Moisture analyzer

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*

## 12. Timbangan Elektrik

Penggunaan timbangan elektrik untuk mengetahui massa tandan kosong kelapa sawit, batu bara, dan bentonite yang diperlukan sebelum pengujian gasifikasi berlangsung.



Gambar 3.12 Timbangan elektrik

## 13. Stopwatch

Alat ini digunakan untuk menghitung durasi waktu dalam proses produksi syngas dalam penelitian.



Gambar 3.13 Stopwatch

#### 14. *Gas Chromatography ( GC )*

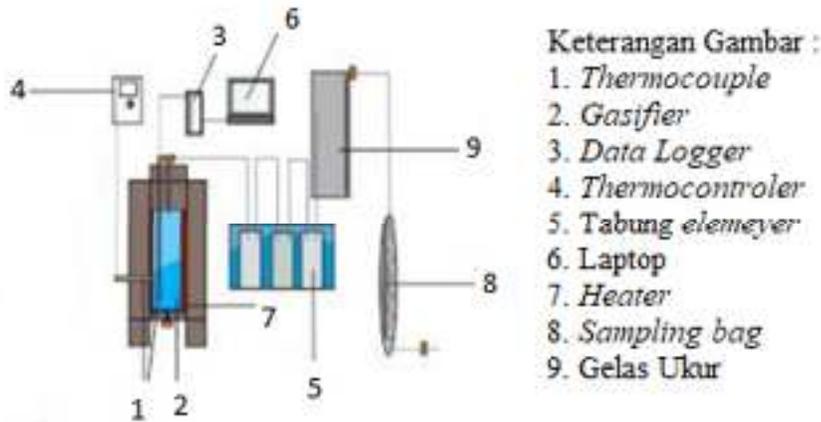
*Gas Chromatography ( GC )* adalah alat untuk menganalisis komposisi kimia pada gas dan mengidentifikasi zat-zat berbeda dalam suatu sampel. Fungsi *Gas chromatography* untuk penelitian ini adalah untuk menguji konsentrasi komposisi kimia pada *syngas* hasil gasifikasi.



Gambar 3.14 *Gas Chromatography ( GC )*

Spesifikasi :

- Merk : *Agilent teknologi 5973 inert MSD*



Gambar 3.15 Skema alat pengujian

### 3.5 Prosedur Penelitian

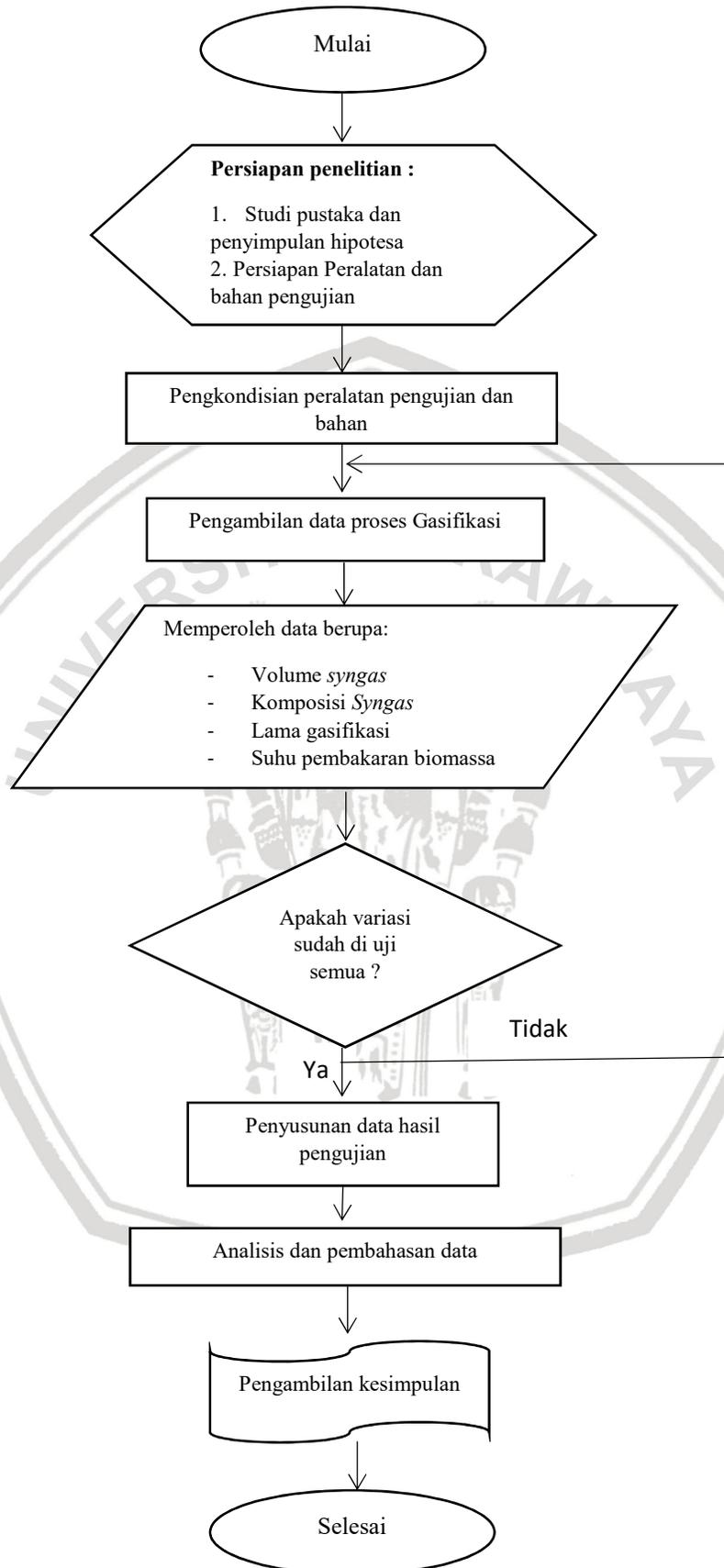
Dalam penelitian ini ada dua prosedur utama yang pertama adalah membuat spesimen uji dan pengambilan data. Prosedur pertama adalah membuat spesimen dimulai dengan mengeringkan tandan kelapa sawit dan batu bara yang didapat selama 24 jam untuk mengurangi kadar airnya dan dhaluskan sesuai dengan variabel yang digunakan untuk memudahkan masuk ke dalam tungku. Kemudian melakukan proses penimbangan batu bara, tandan kelapa sawit, dan bentonit sesuai dengan variabel yang telah di tentukan dan mencampurkan spesimen sampai merata dan memberikan kode pada *sampling bag* untuk tidak terjadinya kesalahan pada saat analisa komposisi kimia pada *syngas* yang ada di dalam *sampling bag*. W0 untuk campuran tandan kelapa sawit dan batu bara tanpa penambahan bentonit, W10 penambahan 10% bentonit, W30 untuk penambahan 30% sampai dengan W50% untuk penambahan 50% bentonit.

Setelah sampel telah siap langkah selanjutnya adalah proses gasifikasi dari sampel tersebut. hal ini dilakukan dengan cara memasukkan sampel ke dalam tungku setelah itu, menutup tutup *gasifier* sampai rapat dan memastikan tidak ada kebocoran udara agar volume *syngas* yang terhitung sesuai. Setelah dipastikan tidak ada kebocoran pada *gasifier*, nyalakan saklar pada *thermocontroler* dan mengatur suhu ke 700°C dan secara bersamaan tekan tombol *start* pada aplikasi *data logger*. Selama proses gasifikasi berjalan catat temperature heater dan waktu pada *data logger* setiap volume *syngas* yang terproduksi mencapai 50cm di tabung ukur. Ketika temperature mencapai 700°C, temperatur dijaga konstan dan melakukan

pengambilan sampel *syngas* pada temperatur tersebut dengan *sampling bag*. Pada saat *sampling bag* terisi penuh, *sampling bag* disegel untuk memastikan tidak terjadi kebocoran dan disimpan untuk diuji ke *Gas Chromatography* untuk mengetahui komposisi *syngas*. Setelah waktu pengujian mencapai 120 menit, matikan semua peralatan yang hidup dan simpan total *syngas*, *char* + abu, dan *tar* yang terproduksi dan mengulangi proses ini sampai semua variabel yang telah di tentukan telah diuji.



### 3.6 Diagram Urutan Penelitian



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Di bab ini pengumpulan data pengujian dan analisis dari hasil gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit – batu bara dengan penambahan bentonit sebesar 0%, 10%, 30%, dan 50% dilakukan. Dimana penelitian dilakukan dengan memanaskan tandan kosong kelapa sawit – batu bara di dalam *gasifier* hingga mencapai suhu 700°C yang ditetapkan dalam variable penelitian.

Tahapan penelitian ini dengan mencampurkan tandan kosong kelapa sawit – batu bara dengan bentonit ke dalam tungku *gasifier* kemudian menyalakan *heater* bersamaan dengan *data logger*. Dimana tungku *gasifier* dipanaskan oleh *heater* yang menyebabkan biomassa berubah menjadi gas dengan perbedaaan penambahan bentonit sebanyak 0%, 10%, 30%, dan 50% dari total berat spesimen dan gas yang terbentuk dialirkan ke dalam tabung ukur dan mencatat data yang tersebut selama 2 jam.

Data laju pemanasan diambil menggunakan sensor *thermocouple* type-K dimana sensor ini di letakkan ke dalam *gasifier*, dimana sensor ini khusus untuk membaca suhu di dalam *gasifier*. Data dari sensor ini dihubungkan ke dalam *data logger* sehingga data dapat terbaca dan disimpan ke dalam laptop. *Data logger* membaca data dari sensor ke dalam data digital dengan satuan derajat celcius (°C) yang kemudian dikonversikan ke bentuk grafik sehingga dapat memudahkan data untuk diolah dan dianalisis.

Data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah berupa temperatur terhadap waktu pada setiap temperatur pengujian, volume total gas yang dihasilkan proses gasifikasi, perbandingan prosentase berat (wt%) dari hasil gasifikasi pada perbedaan konsentrasi bentonite serta kandungan gas hasil gasifikasi pada setiap konsentrasi bentonite spesimen. Data ini bisa dipakai untuk menjawab masalah – masalah yang ada pada bab sebelumnya dan memperoleh gambaran dan analisa terstruktur, tentang pengaruh bentonit terhadap gasifikasi *updraft* tandan kelapa sawit dan batu bara dengan perbedaan konsentrasi katalis bentonite

#### 4.1 Perhitungan Laju Pemanasan & Produksi Gas

Untuk mengetahui Laju pemanasan dan laju produksi *syngas* di dalam *gasifier* dilakukan dengan melalui perhitungan menggunakan data yang diambil selama 2 jam pada pengujian dan dengan suhu maksimum yang dicapai oleh biomassa sebagai pacuan yang sesuai dengan variable terkontrol penelitian.

Perhitungan laju pemanasan biomassa gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit – batu bara

- Gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit – batu bara tanpa bentonite

$$\frac{dT}{dt} = \frac{717.44^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}}{77.3 \text{ menit} - 0} = \frac{690.44}{77.3} = 8.93 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$$

- Gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit – batu bara dengan 10% bentonite

$$\frac{dT}{dt} = \frac{712.44^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}}{78.67 \text{ menit} - 0} = \frac{685.44}{78.33} = 8.71 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$$

- Gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit – batu bara dengan 30% bentonite

$$\frac{dT}{dt} = \frac{663.55^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}}{74.50 \text{ menit} - 0} = \frac{635.5}{74.5} = 8.53 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$$

- Gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit – batu bara dengan 50% bentonite

$$\frac{dT}{dt} = \frac{643.31^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}}{72.83 \text{ menit} - 0} = \frac{616.31}{72.83} = 8.46 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$$

Perhitungan laju produksi biomassa gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit – batu bara

- Perhitungan volume total gas tanpa bentonit

Total tinggi tabung ukur : t = 2296 cm

$$\text{Volume total: } V = \pi r^2 t = 3.14 \times 2.25^2 \times 2296 = 36497.79 \text{ cm}^3 = 36.50 \text{ liter}$$

- Perhitungan volume total gas dengan penambahan bentonit 10%

Total tinggi tabung ukur: t = 2566 cm

$$\text{Volume total: } V = \pi r^2 t = 3.14 \times 2.25^2 \times 2566 = 40789.78 \text{ cm}^3 = 40.78 \text{ liter}$$

- Perhitungan volume total gas dengan penambahan bentonit 30%

Total tinggi tabung ukur: t = 3037 cm

$$\text{Volume total: } V = \pi r^2 t = 3.14 \times 2.25^2 \times 3037 = 48276.91 \text{ cm}^3 = 48.28 \text{ liter}$$

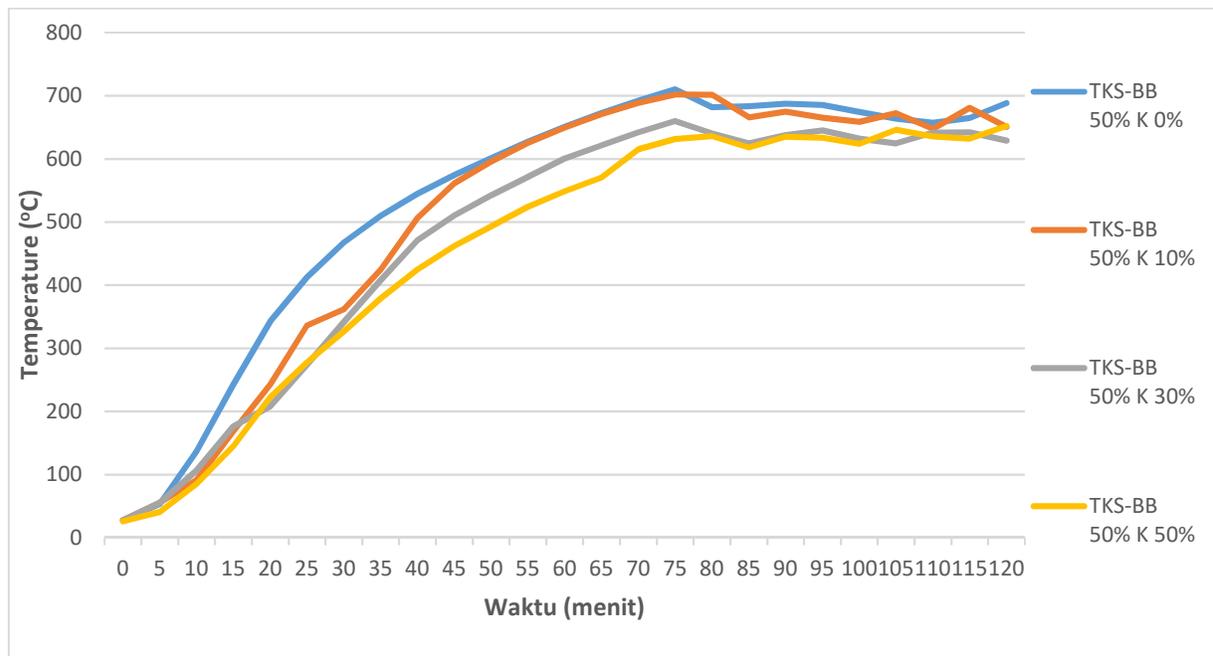
- Perhitungan volume total gas dengan penambahan bentonit 50%

Total tinggi tabung ukur:  $t = 3135 \text{ cm}$

Volume total:  $V = \pi r^2 t = 3.14 \times 2.25^2 \times 3135 = 49834.74 \text{ cm}^3 = 49.83 \text{ liter}$

## 4.2 Pembahasan dan Analisis Grafik

### 4.2.1 Analisa Grafik Suhu Terhadap Waktu Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Bentonit

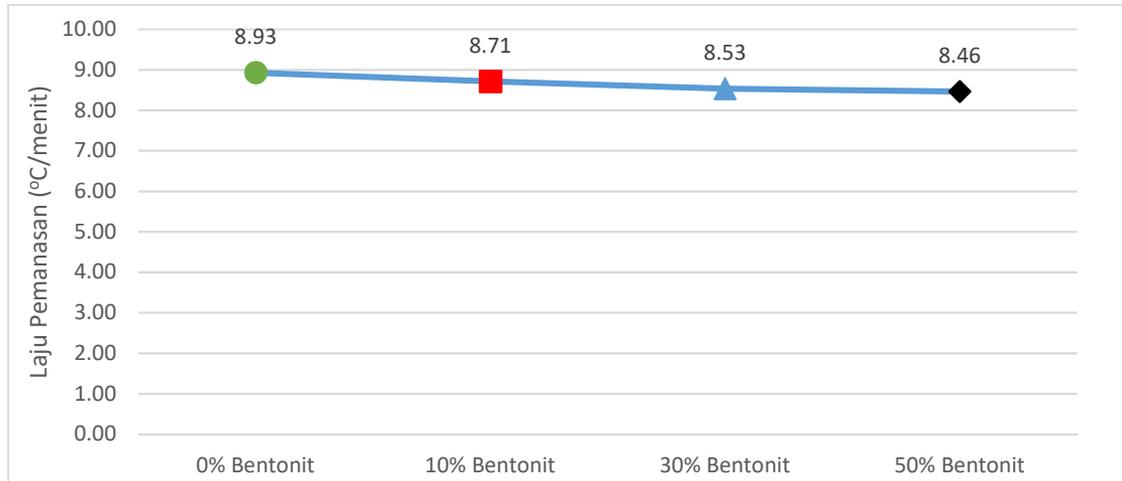


Gambar 4.1 Hubungan Suhu Terhadap Waktu Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Katalis Bentonit

Gambar 4.1 menjelaskan tentang grafik hubungan temperatur biomassa terhadap waktu dengan variasi penambahan katalis. Dimana dengan bertambahnya waktu suhu biomassa semakin meningkat sampai mencapai suhu kontrol yaitu  $700^\circ\text{C}$  dan diholding selama 2 jam (120 menit).

Dari gambar bisa dilihat dengan semakin meningkatnya penambahan katalis bentonite ke dalam *gasifier* berakibat menurunkan kecepatan kenaikan temperature biomassa di dalam *gasifier*. Hal ini dikarenakan dengan semakin bertambahnya katalis bentonite di dalam *gasifier*, menyebabkan bertambahnya massa di dalam *gasifier* dan membuat batu bara yang

ada mulai terdekomposisi dan meningkatkan produksi *syngas* di dalam *gasifier* yang akhirnya akan meningkatkan beban pemanasan untuk meningkatkan 1°C di dalam *gasifier*.



Gambar 4.2 Laju Pemanasan Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit – Batu Bara

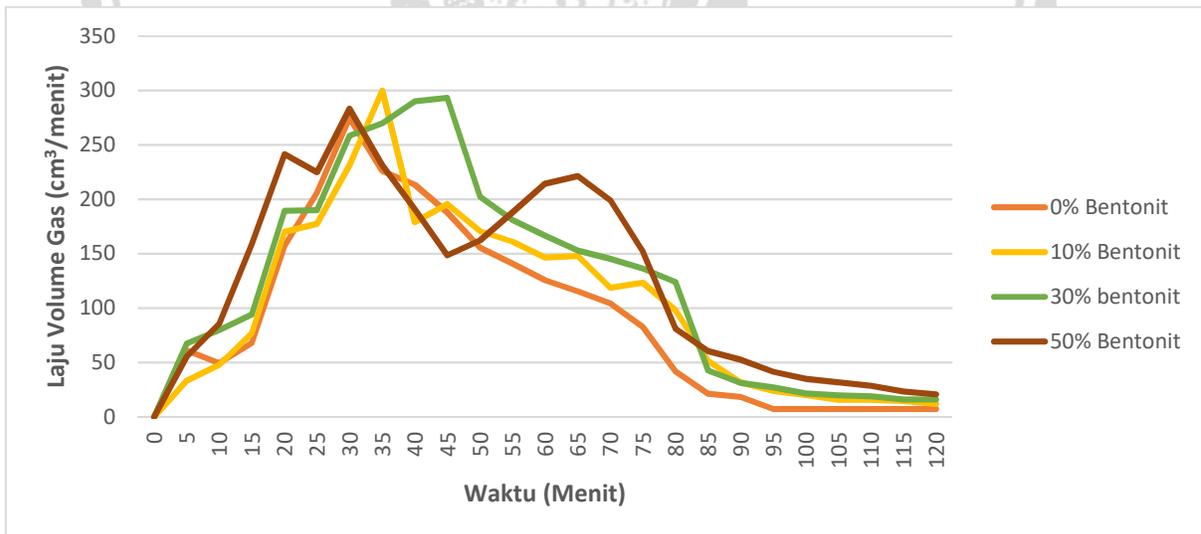
Pada gambar 4.2 menjelaskan tentang laju pemanasan gasifikasi dengan variasi penambahan katalis bentonite. Disini bisa dilihat pada setiap spesimen terdapat perbedaan laju kenaikan suhu, dengan bertambahnya katalis bentonit yang diberikan ke biomassa menyebabkan terjadinya penurunan laju pemanasan biomassa. Dimana besarnya adalah 8.93 °C/menit pada tanpa katalis, 8.71 °C/menit pada 10% bentonite, 8.53 °C/menit pada 30% bentonite, dan 8.46 °C/menit pada 50% bentonite. Hal ini dikarenakan dengan semakin banyak penambahan katalis bentonite menyebabkan total massa pada *gasifier* yang semakin bertambah dan juga dikarenakan kandungan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan silica ( $\text{SiO}_2$ ) yang ada pada bentonite meningkatkan penyerapan panas biomassa. Hal ini menyebabkan batu bara yang mulai terdekomposisi pada suhu yang lebih rendah, dan melepaskan kandungan air dan *volatile matter* di *gasifier* yang menyebabkan bertambahnya beban pemanasan dan penurunan laju pemanasan gasifikasi tandan kosong kelapa sawit – batu bara. Hal ini sesuai dengan fungsi katalis bentonit, dimana dengan penambahan katalis dapat menurunkan energi aktivasi biomassa untuk mulai terdekomposisi pada suhu yang lebih rendah.

#### 4.2.2 Analisa Produksi *Syngas* dari Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan katalis Bentonit

## 1. Laju Produksi Syngas

Gambar 4.4 menjelaskan tentang grafik laju produksi volume *syngas* proses gasifikasi tandan kosong kelapa sawit – batu bara. Dimana dengan penambahan katalis dapat meningkatkan laju produksi *syngas*, yang bisa dilihat pada katalis 10% bentonite memiliki laju produksi volume tertinggi yaitu sebesar 4768.88 cm<sup>3</sup>/menit. Dan kurva terendah pada proses gasifikasi tanpa penambahan katalis dimana sebesar 4371.47 cm<sup>3</sup>/menit, tetapi pada penambahan katalis bentonite 50% terjadi kenaikan laju produksi. *Syngas* dimana titik tertinggi pertama laju produksi biomassa dengan katalis 50% terjadi pada menit 30 dimana laju produksinya adalah 4503.94 cm<sup>3</sup>/menit sebelum terjadi penurunan dan kenaikan laju produksi kedua terjadi pada menit 55 sebesar 2990.01 cm<sup>3</sup>/menit yang berlangsung selama 10 menit dimana pada menit ke 65 laju produksi mencapai 3519.88 cm<sup>3</sup>/menit sebelum terjadi penurunan kembali.

Hal ini dikarenakan dengan penambahan katalis membuat kontak langsung antar katalis dan biomassa menjadi bertambah yang menyebabkan yang menyebabkan proses *catalytic cracking* semakin banyak terjadi pada biomassa dan memperbesar produksi *syngas*. Hal yang menyebabkan terjadinya kenaikan laju produksi volume pada penambahan katalis bentonite 50% adalah pada menit 55 dikarenakan terjadi pemecahan hydrocarbon CH<sub>4</sub> menjadi H<sub>2</sub>

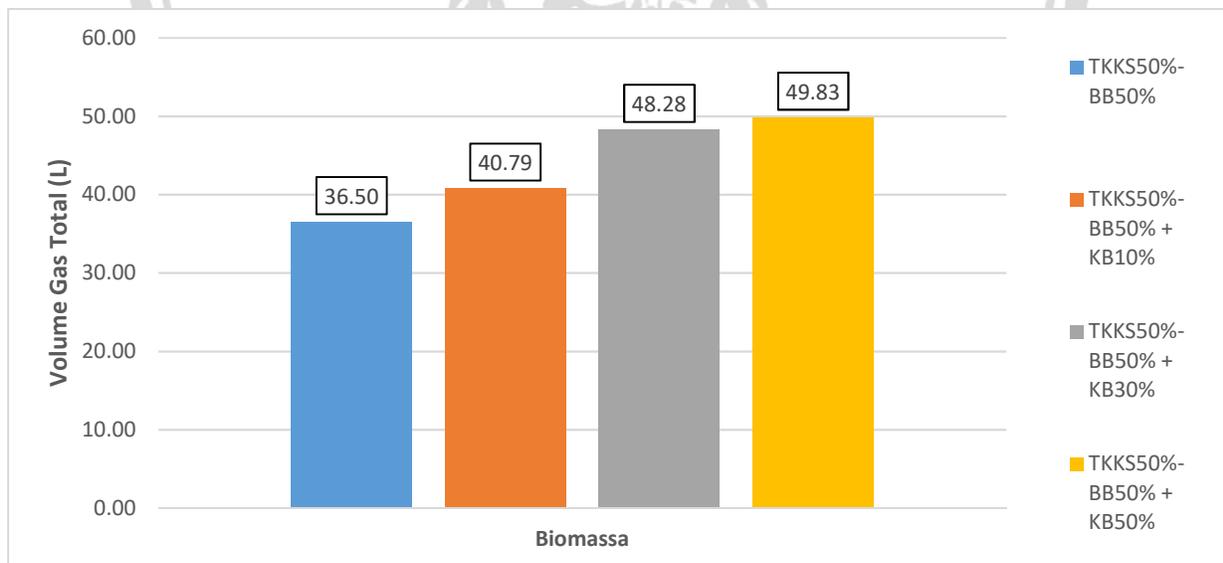


Gambar 4.3 Laju Produksi Volume Syngas Tandan Kosong Kelapa Sawit – Batu Bara

## 2. Total produksi syngas

Pada gambar 4.4 melihat tentang grafik volume total produksi *syngas* hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit – batu bara pada temperature 700 °C dimana dengan semakin besarnya penambahan katalis bentonite dapat meningkatkan produksi volume *syngas* pada proses gasifikasi biomassa tandan kosong kelapa sawit – batu bara. Dimana urutan jumlah volume *syngas* terendah ke tertinggi adalah 0% , 10%, 30%, dan 50%. Dimana besarnya adalah pada tanpa penambahan katalis total volume gas yang terproduksi adalah 36.50 liter, 10% bentonite 40.79 liter, 30% bentonite 48.28 liter dan 50% bentonite adalah 49.83 liter.

Penambahan katalis bentonit mampu meningkatkan volume total produksi gas dikarenakan pengaruh dari *catalytic cracking*. Mekanisme yang terjadi adalah bentonite yang telah diaktivasi melepaskan proton ( ion  $H^+$  ) karena terjadi penambahan panas pada *gasifier*. Ion  $H^+$  ini bereaksi dengan biomassa dan membentuk ion karbenium yang merupakan ion yang sangat reaktif sehingga mengoptimalkan proses *thermal cracking* (pemecahan hydrocarbon karena panas) pada biomassa yang mengakibatkan semakin seringnya pemecahan hydrocarbon panjang menjadi hydrocarbon pendek berupa olefin yang bersifat mampu bakar, mengakibatkan meningkatnya volume *syngas* yang terproduksi pada proses gasifikasi tandan kosong kelapa sawit – batu bara.

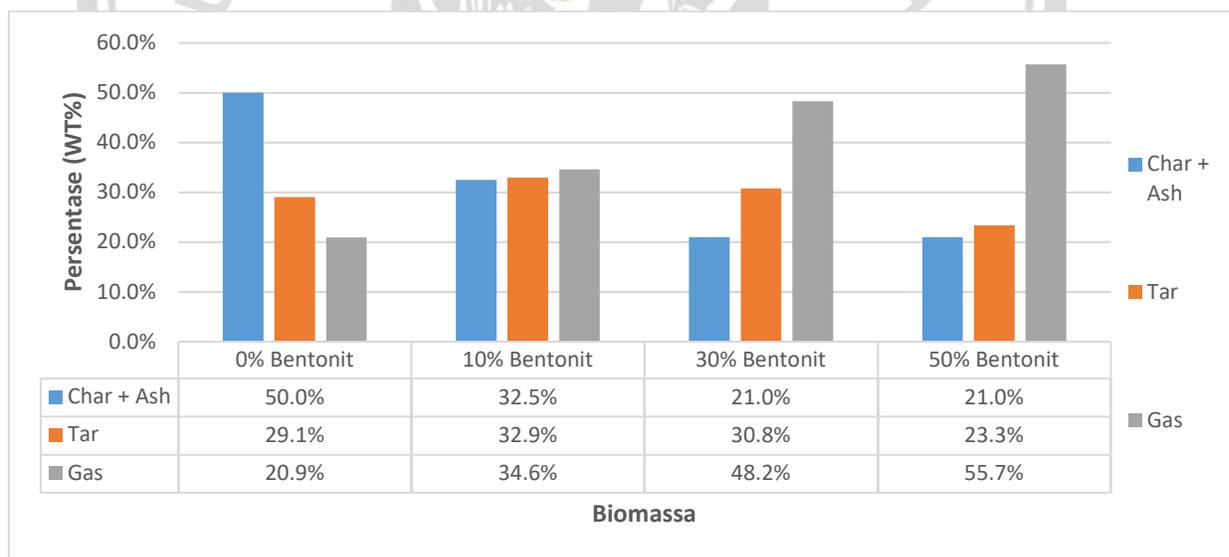


Gambar 4.4 Volume Total Syngas Gasifikasi *Updraft* Tandan Kosong Kelapa Sawit – Batu Bara Dengan Penambahan Katalis 0%, 10%, 30%, dan 50%

### 4.2.3 Produk Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Katalis Bentonit

Bisa dilihat pada gambar 4.5 merupakan presentase berat (wt%) dari hasil proses gasifikasi tandan kosong kelapa sawit – batu bara dimana semakin banyak penambahan katalis pada biomassa meningkatkan *syngas* yang terproduksi dan menurunkan sisa dari hasil gasifikasi berupa *char* (arang), *ash* (abu) dan *Tar*. Dimana penghasil *char* paling banyak ada pada biomassa tanpa bentonite sebesar 50% dari berat total biomassa. Dan terendah adalah pada penambahan katalis bentonite sebesar 50% dari berat total biomassa. Dan terendah adalah pada penambahan katalis bentonite 30% dan 50% dimana *char* + *ash* yang terproduksi hanya sebesar 21%.

Pada gambar grafik 4.6 ini bisa dilihat semakin banyaknya penambahan katalis bentonite, menghasilkan bertambahnya presentase berat (wt%) *syngas* yang terproduksi. Hal ini dikarenakan dengan penambahan katalis bentonite menyebabkan terjadinya *catalytic cracking* (pemecahan karena katalis) yang mengoptimalkan proses *thermal cracking* dan menurunkan energy aktivasi dari biomassa untuk mulai terdekomposisi di suhu rendah pada proses gasifikasi tandan kosong kelapa sawit – batu bara. Dimana katalis melepaskan  $H^+$  yang bereaksi dengan biomassa dan membentuk ion karbenium, memicu terjadinya *beta-scission* pada proses *thermal cracking* dan memperbanyak *syngas* hasil proses gasifikasi.



Gambar 4.5 Persentase ( wt % ) Gas Total Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit – Batu Bara Pada Penambahan Katalis 0%, 10%, 30%, dan 50%

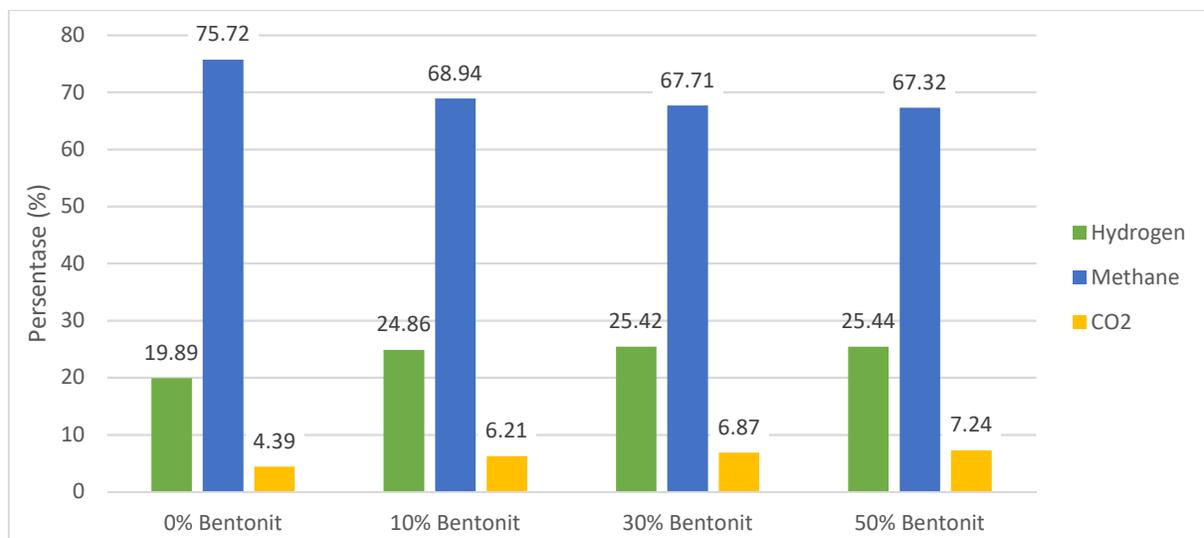
#### 4.2.4 Analisa Grafik Komposisi Gas Hasil Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Katalis Bentonit

Pada gambar 4.6 menjelaskan tentang komposisi *syngas* hasil gasifikasi pada temperature 700°C dengan variasi penambahan katalis bentonite. Dapat dilihat dengan adanya pencampuran biomassa tandan kosong kelapa sawit – batu bara menghasilkan banyak methane dikarenakan pada analisis ultimate dari kedua bahan tersebut. Dimana tandan kosong kelapa sawit memiliki banyak kandungan H dibandingkan kandungan batu bara yang memiliki lebih banyak kandungan C dibandingkan dengan tandan kosong kelapa sawit. Dimana pencampuran dua macam biomassa ini meningkatkan hasil methane dari proses gasifikasi

Dari gambar 4.6 bisa dilihat komposisi *syngas* hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit – batu bara dimana dengan penambahan katalis bentonite meningkatkan kandungan H<sub>2</sub> dan menurunkan CH<sub>4</sub> pada komposisi *syngas* hasil gasifikasi tandan kosong kelapa sawit – batu bara.

Hal ini dikarenakan seiring dengan penambahan katalis bentonite mempercepat reaksi yang terjadi di dalam *gasifier* sehingga unsur – unsur yang ada didalam di dalam *gasifier* tidak memiliki waktu yang cukup untuk selalu membentuk CH<sub>4</sub> dan membentuk unsur lain karena bentonit semakin banyak melepaskan ion H<sup>+</sup>. Yang mengakibatkan terjadinya reaksi *steam – methane reforming* dan *water – gas shift* dan meningkatkan unsur H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> sedangkan terjadi penurunan konsentrasi CH<sub>4</sub> pada *syngas*. Persamaan reaksi *steam-methane reforming* dan *water-gas shift* bisa dilihat sebagai berikut:





Gambar 4.6 Komposisi Syngas Hasil Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit – Batu Bara Dengan Penambahan Katalis Bentonit 0%, 10%, 30%, dan 50%







## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data maupun dengan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Dapat diambil kesimpulan dan saran terhadap penelitian pengaruh penambahan katalis bentonite terhadap gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit – batu bara pada suhu 700°C.

#### 5.1 Kesimpulan

1. Penambahan Katalis menurunkan temperature pemanasan biomassa dibandingkan dengan tanpa bentonite, dengan kenaikan suhu terendah terjadi pada penambahan katalis bentonite 50%.
2. Laju Pemanasan dari Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit – Batu Bara dengan temperature 700°C dengan adanya penambahan katalis bentonite mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan penambahan berat total biomassa dan batu bara lignit yang mulai terdekomposisi sehingga menambahkan beban pemanasan proses gasifikasi.
3. Semakin Besar penambahan bentonite menyebabkan adanya peningkatan laju produksi *syngas* yang mengakibatkan bertambahnya total volume gas yang dihasilkan hal ini membuktikan katalis bentonite menurunkan energy aktivasi biomassa untuk melakukan pemecahan hidrokarbon pada suhu yang lebih rendah.
4. Penambahan katalis bentonite mengoptimalkan pemecahan rantai hidrokarbon dari *char + ash* dan *tar* untuk menghasilkan *syngas*, hal ini terjadi karena proses *catalytic cracking* yang menyebabkan *thermal cracking* yang lebih optimal.
5. Katalis Bentonit mempengaruhi komposisi *syngas*, semakin banyak penambahan bentonite menyebabkan semakin besarnya pemecahan rantai hidrokarbon CH<sub>4</sub> yang menghasilkan H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>

#### 5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian tentang karakteristik *syngas* gasifikasi diatas temperature 700°C.

2. Penelitian berikutnya lebih menjelaskan tentang reaksi yang terjadi pada saat proses gasifikasi terjadi.
3. Dilakukan penelitian dengan variasi penambahan udara seperti nitrogen ( $N_2$ ), *steam* ( $H_2O$ ), dan oksigen ( $O_2$ )



## DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M. dan A. Sudrajat, 1997. Bahan Galian Industri: Bentonit. Departemen Pertambangan dan Energi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral, Bandung.
- Artanto, Y., Jackson W.R., Redlich A.J., and Marshall M., 2000, Liquefaction Studies of Some Indonesia Low rank Coals, Fuel, Vol. 79, pp.1333-1340.
- Basu, Prabir. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory*. Elsevier
- Dou. et al. 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.
- Jauhary, M. 2007. Potensi Industri Pengolahan Batubara Cair, Economic review. 208. Jakarta.
- Mohammed, M.A.A., et al, 2011. *Air gasification of empty fruit bunch for hydrogen-rich gas production in a fluidized-bed reactor, Energy Conversion and Management*, vol. 52, no. 2, pp. 1555-1561
- Mutasim, B. (2010). Peningkatan Nilai Kalor Batu Bara Peringkat Rendah dengan Menggunakan Minyak Tanah dan Minyak Residu. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Surabaya : Universitas Pembangunan Nasional
- Rangga, Adimas. (2017). Pengaruh Katalis Bentonit Terhadap Hasil Gasifikasi Updraft Cangkang Kelapa Sawit pada Temperatur 550 °C, 650 °C, dan 750 °C. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya
- Slamet Raharjo (2012). Analisis Thermogravimetry Limbah Padat Kelapa Sawit Dan Potensi Konversinya Menjadi Gas Bakar. Laboratorium Buangan Padat Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas. 115-120.
- Sule, D., Sanwani, E., dan Sudarsono, A., 1997, Course of Coal Utilization, Teknik Pertambangan-ITB, 84 p.
- Turare, C. (1997). *Biomass Gasification –Technology and Utilisation*. Glucksburg : ARTES Institute
- Valderrama Rios, M., González, A., Lora, E. and Almazán del Olmo, O. (2018). *Reduction of tar generated during biomass gasification: A review. Biomass and Bioenergy*, 108, pp.345-370.

Zhang, D., Liu, P., Lu X., Wang L., Pan T. (2015). Upgrading of low rank coal by hydrothermal treatment. *Fuel Processing Technology*. 4610

ZhangFan, FanMaohong, HuangXinc, et al., *Catalytic gasification of a Powder River Basin coal with CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> Omixtures.*, Science Direct journal, *Fuel Processing Technology* 161 (2017) 145–154

