

**PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS BENTONIT PADA
GASIFIKASI *UPDRAFT* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN
BATU BARA TERHADAP HASIL *SYNGAS* (*SYNTHETIC GAS*)**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ICHSAN BAGUS SETYONO

NIM. 145060201111089

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS BENTONIT PADA
GASIFIKASI *UPDRAFT* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN
BATU BARA TERHADAP HASIL *SYNGAS* (*SYNTHETIC GAS*)**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ICHSAN BAGUS SETYONO
NIM. 145060201111089

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

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

Redi Bintarto, ST., M.Eng.Pract.
NIK. 201607 811024 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

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

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS BENTONIT PADA GASIFIKASI *UPDRAFT*
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN BATU BARA TERHADAP HASIL
SYNGAS (SYNTHETIC GAS)

Nama Mahasiswa : Ichsan Bagus Setyono
NIM : 145060201111089
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Teknik Konversi Energi

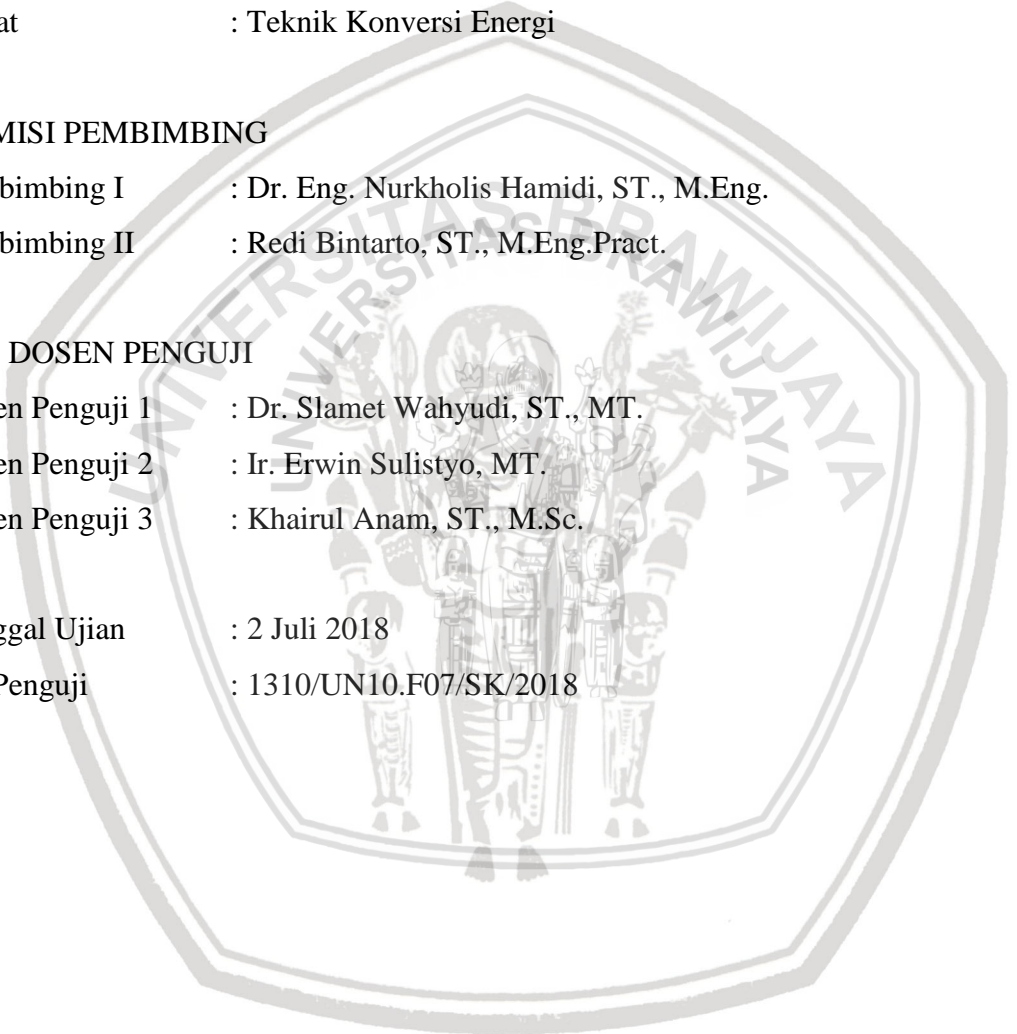
KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
Pembimbing II : Redi Bintarto, ST., M.Eng.Pract.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
Dosen Penguji 2 : Ir. Erwin Sulisty, MT.
Dosen Penguji 3 : Khairul Anam, ST., M.Sc.

Tanggal Ujian : 2 Juli 2018
SK Penguji : 1310/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran 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.

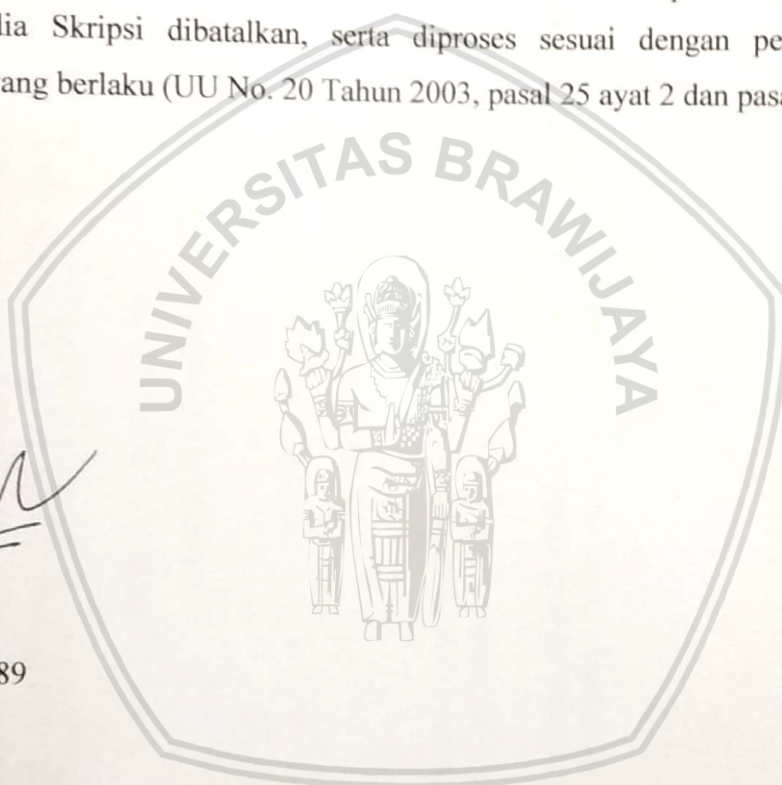
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 13 Juli 2018

Mahasiswa,



Ichsan Bagus Setyono
NIM. 145060201111089





*Teriring Doa Serta Sholawat,
Karya Ilmiah Ini Penulis Persembahkan Kepada :
Ayah dan Bunda Tercinta*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh penambahan katalis bentonit pada gasifikasi *updraft* tandan kosong kelapa sawit dan batu bara terhadap hasil *syngas* (*synthetic gas*)”** dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW yang membawa kita dari zaman kegelapan menuju jalan yang terang benderang seperti saat ini.

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

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Rahmad Solikul Hadi dan Ibu Dzikriyah serta Adik Sintya Atika, terima kasih yang tak terhingga atas seluruh doa, nasihat, motivasi, inspirasi, dan dukungan yang telah diberikan.
2. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses administrasi.
3. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses administrasi
4. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses administrasi
5. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, dan saran untuk penyusunan skripsi ini
6. Bapak Redi Bintarto, ST., M.Eng.Pract selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, dan saran untuk penyusunan skripsi ini
7. Bapak Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met. yang telah membantu penulis dalam merancang serta membuat alat gasifikasi untuk penelitian ini
8. Bapak Rudianto Raharjo, ST., MT. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberi motivasi, masukan, dan saran untuk penulis.

9. Seluruh dosen pengajar, staf, dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu dan bantuannya untuk penyelesaian skripsi ini
10. Teman-teman seperjuangan skripsi, Dhio Bagus dan Naro Hopman yang sudah menemani uji sampel ke ITS dan membantu menyelesaikan skripsi ini
11. Teman-teman asisten laboratorium Motor Bakar : Pradana, Eka, Fahrizal, Reza, William, Rama, dan juga Mas Eko selaku laboran yang sudah membantu penelitian selama di lab.
12. Mas A'yan Sabitah, ST. yang telah bersedia membantu menyelesaikan skripsi dan berbagi ilmu tentang gasifikasi
13. Teman-teman dari maba : Dhio, Bara, Farhan, Raka, Aries, Maulana, dan Pradifta yang telah meluangkan waktunya untuk berbagi ilmu dan pengalaman
14. Teman-teman kos sumbersari no. 260A : Bashory, Haris, Syaiful, Syamsul, Angga, dan Satria yang selalu menemani mengisi waktu di kosan dan berbagi pengalaman.
15. Teman-teman seperjuangan Mesin 2014, terima kasih atas ilmu, pengalaman, solidaritas, kebersamaan, dan semua momen yang tak akan terlupakan
16. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
17. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi

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

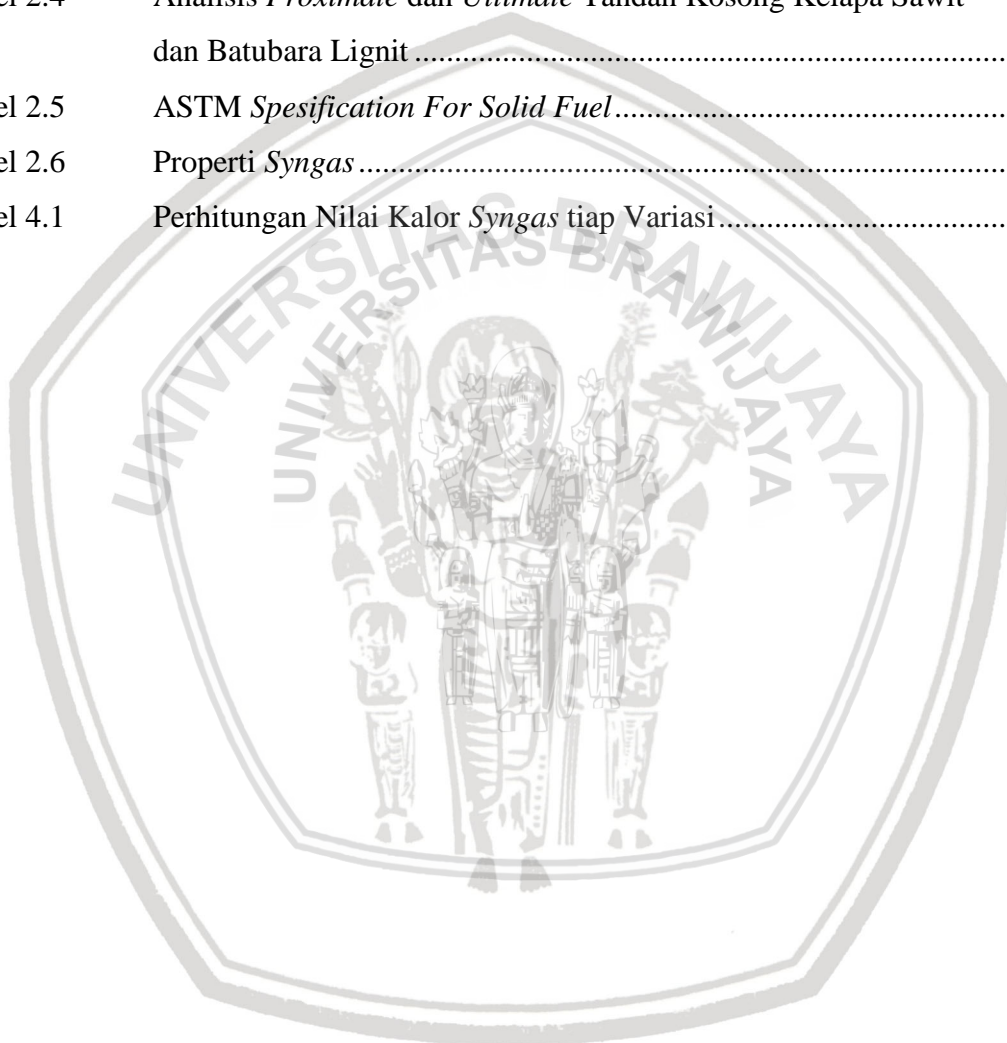
DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Katalis	10
2.3 Bentonit	11
2.4 Gasifikasi	12
2.4.1 Tahapan pada Reaktor Gasifikasi	12
2.4.2 Jenis Reaktor Gasifikasi	14
2.4.3 Faktor yang Mempengaruhi Hasil Gasifikasi	15
2.5 Biomassa	18
2.6 Tandan Kosong Kelapa Sawit	20
2.7 Batu Bara	21
2.8 Syngas	23
2.9 Hipotesis	23
BAB III METODE PENELITIAN	25
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 Alat Penelitian	26
3.4.2 Bahan Penelitian	28
3.5 Prosedur Penelitian	28
3.6 Diagram Alur Penelitian	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Pengolahan Data	33
4.2 Pembahasan dan Analisis Grafik	34
4.2.1 Analisis Temperatur Pemanasan Biomassa dan Waktu	34
4.2.2 Analisis Laju Pemanasan Biomassa	35
4.2.3 Analisis Temperatur Pemanasan dan Laju Volume Produksi <i>Syngas</i>	36
4.2.4 Analisis Volume Total Produk <i>Syngas</i>	37
4.2.5 Analisis Produk Hasil Gasifikasi	38
4.2.6 Analisis Kandungan dan Nilai Kalor <i>Syngas</i> Hasil Gasifikasi	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	44
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Analisis <i>Proximate</i> dan <i>Ultimate</i> Limbah Padat Kelapa Sawit.....	5
Tabel 2.2	Konsentrasi Bahan Bakar Gas Hasil Gasifikasi Limbah Padat Kelapa Sawit.....	5
Tabel 2.3	Komposisi kimia bentonit.....	12
Tabel 2.4	Analisis <i>Proximate</i> dan <i>Ultimate</i> Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Batubara Lignit	21
Tabel 2.5	ASTM <i>Spesification For Solid Fuel</i>	22
Tabel 2.6	Properti <i>Syngas</i>	23
Tabel 4.1	Perhitungan Nilai Kalor <i>Syngas</i> tiap Variasi.....	41



DAFTAR GAMBAR

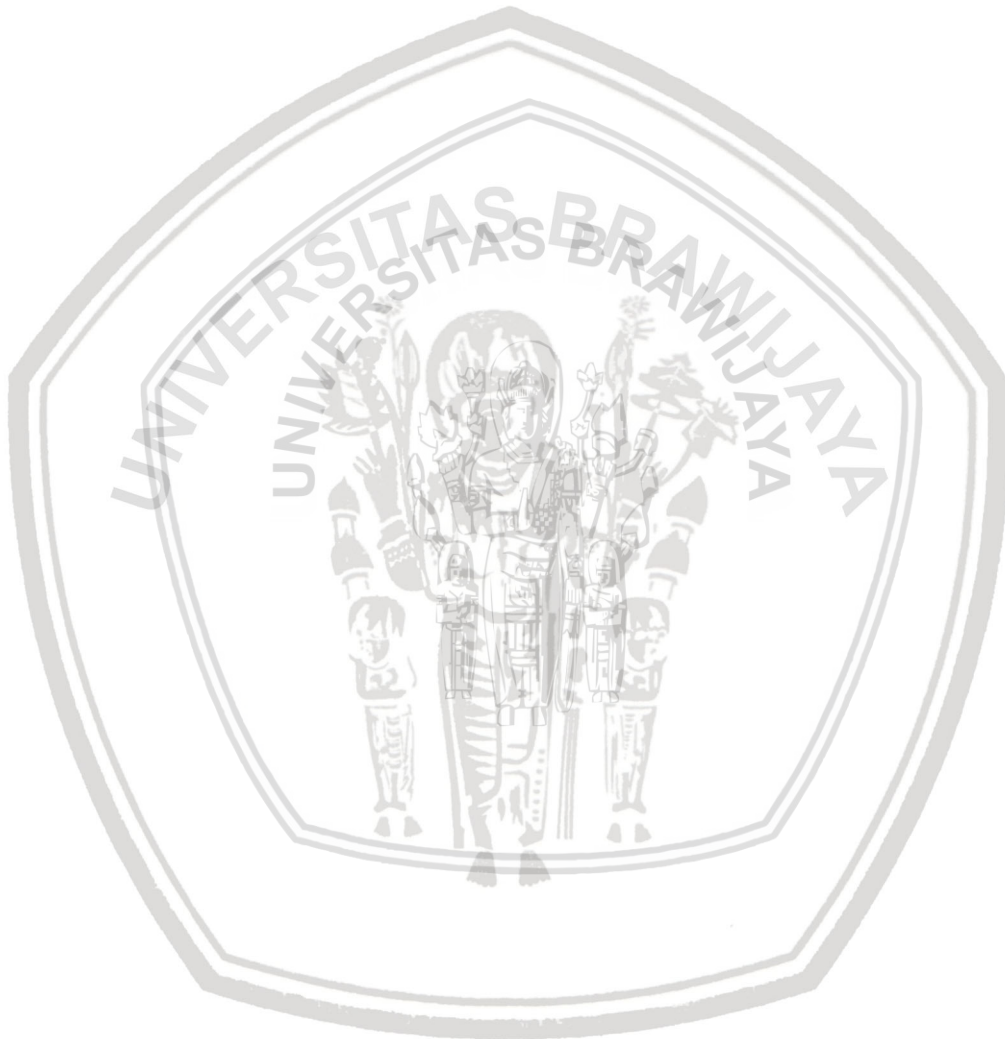
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Hasil Analisis <i>Thermogravimetry</i> (a) Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit ; (b) Gasifikasi Serat Kelapa Sawit ; dan (c) Gasifikasi Tandan kosong kelapa Sawit	6
Gambar 2.2	Grafik Volume Gas Total Gasifikasi Cangkang Kelapa Sawit dengan Katalis dan Tanpa Katalis pada Temperatur 550°C, 650°C, dan 750°C	7
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	8
Gambar 2.4	Grafik Tar Hasil Individual dan <i>Co Processed</i> Gasifikasi	9
Gambar 2.5	Grafik Produksi CO Hasil Gasifikasi Batu bara dengan (a) <i>Chinese Redwood</i> ; dan (b) <i>Soybean Stalk</i>	9
Gambar 2.6	Grafik Produksi H ₂ Hasil Gasifikasi Batu bara dengan (a) <i>Chinese Redwood</i> ; dan (b) <i>Soybean Stalk</i>	10
Gambar 2.7	Jenis Katalis yang Digunakan dalam Proses Gasifikasi	11
Gambar 2.8	Skema Gasifikasi <i>Updraft</i>	14
Gambar 2.9	Skema Gasifikasi <i>Downdraft</i>	15
Gambar 2.10	Klasifikasi Bahan Bakar Padat Berdasarkan Rasio H/C dan O/C	16
Gambar 2.11	C-H-O Diagram Ternary dari Gasifikasi Biomassa	17
Gambar 2.12	Skema Pembentukan Biomassa	19
Gambar 2.13	Metode Konversi Biomassa.....	20
Gambar 3.1	Skema Instalasi <i>Gasifier</i>	26
Gambar 4.1	Grafik Histori Temperatur Gasifikasi tiap Variasi	34
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Laju Pemanasan terhadap Persentase Penambahan Katalis	35
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Debit <i>Syngas</i> dan Temperatur Pemanasan Biomassa terhadap Waktu (a)Tanpa Katalis; (b)10% Katalis; (c)30% Katalis; (d)50% Katalis.....	36
Gambar 4.4	Grafik Volume Total Produksi Gas Hasil Gasifikasi	37
Gambar 4.5	Grafik Produk Hasil Gasifikasi untuk berbagai Variasi	39

Gambar 4.6 Grafik Kandungan *Syngas* pada Temperatur 500°C.....40
Gambar 4.7 Grafik Nilai Kalor *Syngas* tiap Variasi.....42



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data Histori Temperatur Gasifikasi
Lampiran 2	Data Gas Chromatography
Lampiran 3	Perhitungan Volume Total Gas dan Laju Produksi Gas
Lampiran 4	Hasil Perhitungan Laju Produksi <i>Syngas</i> dan Temperatur
Lampiran 5	Dokumentasi Alat, Bahan, dan Hasil Gasifikasi



RINGKASAN

Ichsan Bagus Setyono, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2018, Pengaruh Penambahan Katalis Bentonit pada Gasifikasi *Updraft* Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Batubara terhadap Hasil *Syngas*(*Synthetic Gas*). Dosen Pembimbing : Nurkholis Hamidi dan Redi Bintarto

Menipisnya ketersediaan energi fosil yang disebabkan oleh kebutuhan energi yang selalu meningkat setiap tahunnya. Hal ini mengharuskan kita untuk mencari solusi 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_2O , CO_2 , 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_4 , H_2 , 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 $500\text{ }^\circ C$ 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_4 . Pada proses gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara dengan penambahan katalis bentonit mampu menaikkan kandungan gas H_2 .

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

SUMMARY

Ichsan Bagus Setyono, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2018, *The Effects of Bentonite Addition on Syngas(Synthetic Gas) Production from The Updraft Gasification of Mixture of Empty Fruit Bunch Oil Palm and Coal*, Academic Supervisor : Nurkholis Hamidi, Redi Bintarto

The depletion of fossil energy caused by the demand for energy which is increasing every year. 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 of 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 $500\text{ }^\circ\text{C}$ by using 100 grams of empty fruit bunch oil palm 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 indicated 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 fruit bunch oil palm, coal, catalyst, bentonite, Updraft Gasification, syngas

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan ini merupakan penelitian eksperimental (*experimental research*). Dalam penelitian ini penulis menggunakan biomassa tandan kosong kelapa sawit dan batu bara untuk dijadikan bahan bakar alternatif dengan bantuan katalis bentonit dengan variasi komposisi bentonit. Proses gasifikasi menggunakan jenis gasifikasi *updraft*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang. Dilaksanakan pada April – Mei 2018.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Variabel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah persentase penambahan katalis bentonit 10%, 30%, dan 50% dari massa total biomassa.

Cara menentukan massa katalis bentonit :

$$J \quad 200 \text{ g} \times \frac{1}{1} = 20 \text{ g}$$

$$J \quad 200 \text{ g} \times \frac{3}{1} = 60 \text{ g}$$

$$J \quad 200 \text{ g} \times \frac{5}{1} = 100 \text{ g}$$

b. Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah laju pemanasan, total volume gas produk, dan komposisi gas pada temperatur 500 °C.

c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah berat total biomassa campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara sebanyak 200 gram, temperatur 500 °C, dan waktu gasifikasi 2 jam.

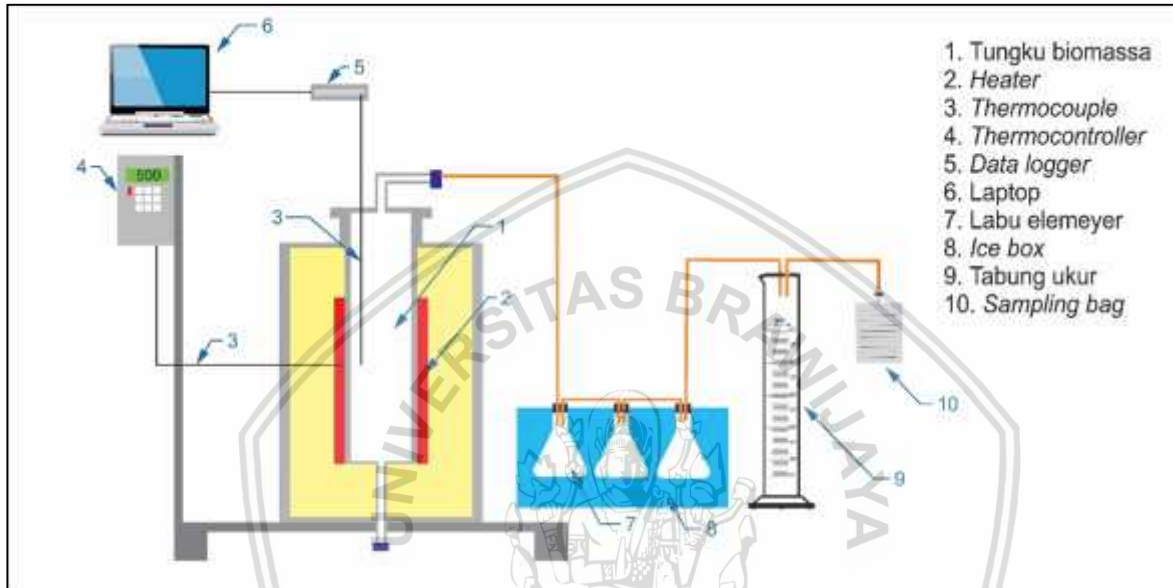
3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Instalasi Alat

Instalasi alat gasifikasi yang digunakan dalam proses gasifikasi batu bara dan tandan kosong kelapa sawit ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Skema Instalasi Gasifier

Keterangan gambar :

1. Tungku biomassa, tempat berbentuk silinder yang digunakan untuk menampung biomassa yang nantinya akan diproses gasifikasi
2. *Heater*, kumparan pemanas yang digunakan untuk memanaskan tungku biomassa
3. *Thermocouple*, digunakan untuk mengukur besar temperatur pada *gasifier*. *Thermocouple* yang digunakan adalah tipe K.
4. *Thermocontroller*, digunakan untuk mengatur arus listrik yang dialirkan ke *heater* sehingga dapat mengatur temperatur di dalam *gasifier*.
5. *Data logger*, digunakan untuk membaca laju pemanasan selama proses gasifikasi
6. Laptop, digunakan untuk menyimpan data dan menganalisa data yang didapat dari *data logger*
7. Labu Elemeyer, digunakan untuk menampung kandungan tar hasil kondensasi dari *syngas* hasil gasifikasi.

8. *Ice box*, digunakan untuk mengondensasi kandungan tar yang terbawa *syngas* hasil gasifikasi agar kandungan tar dapat tertinggal di labu elemeyer.
 9. Tabung ukur, digunakan untuk mengukur volume total dari *syngas* hasil gasifikasi
 10. *Sampling bag*, digunakan untuk menampung sampel *syngas* hasil gasifikasi untuk selanjutnya dianalisa kandungannya.
2. Tungku pemanas
Tungku pemanas digunakan untuk mengeringkan biomassa tandan kosong kelapa sawit dan batu bara pada temperatur 100 °C dan untuk mengaktivasi katalis bentonit pada temperatur 300 °C.
 3. *Moisture Analyzer*
Moisture Analyzer digunakan untuk mengukur kadar kandungan air pada tandan kosong kelapa sawit, batu bara, 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
 -) *Voltage* : 220-240 V (50/60 Hz)
 -) *Power consumption* : *Max 640 Watt*
 4. Timbangan Elektrik
Timbangan Elektrik digunakan untuk mengukur massa tandan kosong kelapa sawit, batu bara, dan bentonit yang akan dilakukan proses gasifikasi.
 5. *Stopwatch*
Stopwatch digunakan untuk mengukur durasi pengeringan dan proses gasifikasi biomassa.
 6. *Gas Chromatography (GC)*
Gas Chromatography (GC) digunakan untuk menganalisa kandungan kimia produk gas hasil gasifikasi.

3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Tandan kosong kelapa Sawit

Tandan kosong kelapa Sawit merupakan spesimen biomassa yang digunakan dalam penelitian yang nanti akan diukur volume dan komposisinya setelah dilakukan proses gasifikasi

2. Batu bara

Batu bara merupakan spesimen biomassa yang digunakan dalam penelitian yang nanti akan diukur volume dan komposisinya setelah dilakukan proses gasifikasi

3. Bentonit

Bentonit merupakan katalisator yang digunakan, berfungsi untuk membantu memperbaiki proses gasifikasi

3.5 Prosedur Penelitian

A. Proses menyiapkan spesimen penelitian :

1. Proses menyiapkan tandan kosong kelapa sawit

- a. Memotong tandan kosong kelapa sawit dengan panjang sekitar 3 cm
- b. Menyiapkan tungku yang digunakan untuk mengeringkan tandan kosong kelapa sawit
- c. Mengatur temperatur tungku dengan temperatur 100 °C
- d. Menimbang tandan kosong kelapa sawit yang sudah disiapkan
- e. Memasukkan tandan kosong kelapa sawit kedalam tungku dan melakukan proses pengeringan selama 2 jam dengan temperatur 100 °C

2. Proses menyiapkan batu bara

- a. Menghancurkan batu bara sampai halus dan seragam
- b. Menyiapkan tungku yang digunakan untuk mengeringkan batu bara
- c. Mengatur temperatur tungku dengan temperatur 100 °C
- d. Menimbang batu bara yang sudah disiapkan
- e. Memasukkan batu bara kedalam tungku dan melakukan proses pengeringan selama 2 jam dengan temperatur 100 °C

3. Proses menyiapkan katalis bentonit

- a. Menyaring bentonit untuk menghilangkan kotoran pada bentonit dan juga untuk menyeragamkan ukuran bentonit.
- b. Menyiapkan tungku yang digunakan untuk mengaktivasi bentonit

- c. Mengatur temperatur tungku dengan temperatur 300 °C
- d. Menimbang bentonit yang sudah disiapkan
- e. Memasukkan bentonit kedalam tungku dan melakukan proses pemanasan selama 2 jam dengan temperatur 300 °C

4. Pengujian kadar air

Setelah proses menyiapkan spesimen selesai, ambil beberapa sampel untuk menguji kadar air dan untuk memastikan kondisi tandan kosong kelapa sawit, batu bara dengan kadar air 5%, dan bentonit dengan kadar air 0%.

5. Penimbangan

Setelah melakukan pengujian kadar air, selanjutnya menimbang massa dari tandan kosong kelapa sawit dan batu bara sebanyak 200 gram. Katalis bentonit ditimbang sebanyak 20, 60, dan 100 gram.

B. Proses gasifikasi

1. Mengatur instalasi penelitian sesuai dengan skema instalasi.
2. Mencampur tandan kosong kelapa sawit 100 gram, batu bara 100 gram, dan katalis bentonit sebanyak 20 gram untuk variasi pertama.
3. Setelah semua prosedur telah dilaksanakan dan alat sudah terinstalasi dengan baik, selanjutnya memasukkan campuran tandan kosong kelapa sawit, batu bara, dan bentonit ke dalam *gasifier*.
4. Menyalakan saklar *thermocontroller* dan mengatur temperatur *thermocontroller* pada temperatur 500 °C
5. Melakukan proses gasifikasi selama 2 jam, setelah 2 jam mematikan saklar *thermocontroller* pada *gasifier*.
6. Mencatat waktu produksi gas tiap 50 cm ketinggian tabung ukur dan menghitung volume gas total pada tabung ukur.
7. Mengambil sampel gas pada temperatur 500 °C untuk dilakukan uji komposisi.
8. Mengulangi prosedur gasifikasi dengan variasi komposisi katalis bentonit selanjutnya yaitu 60 gram dan 100 gram.

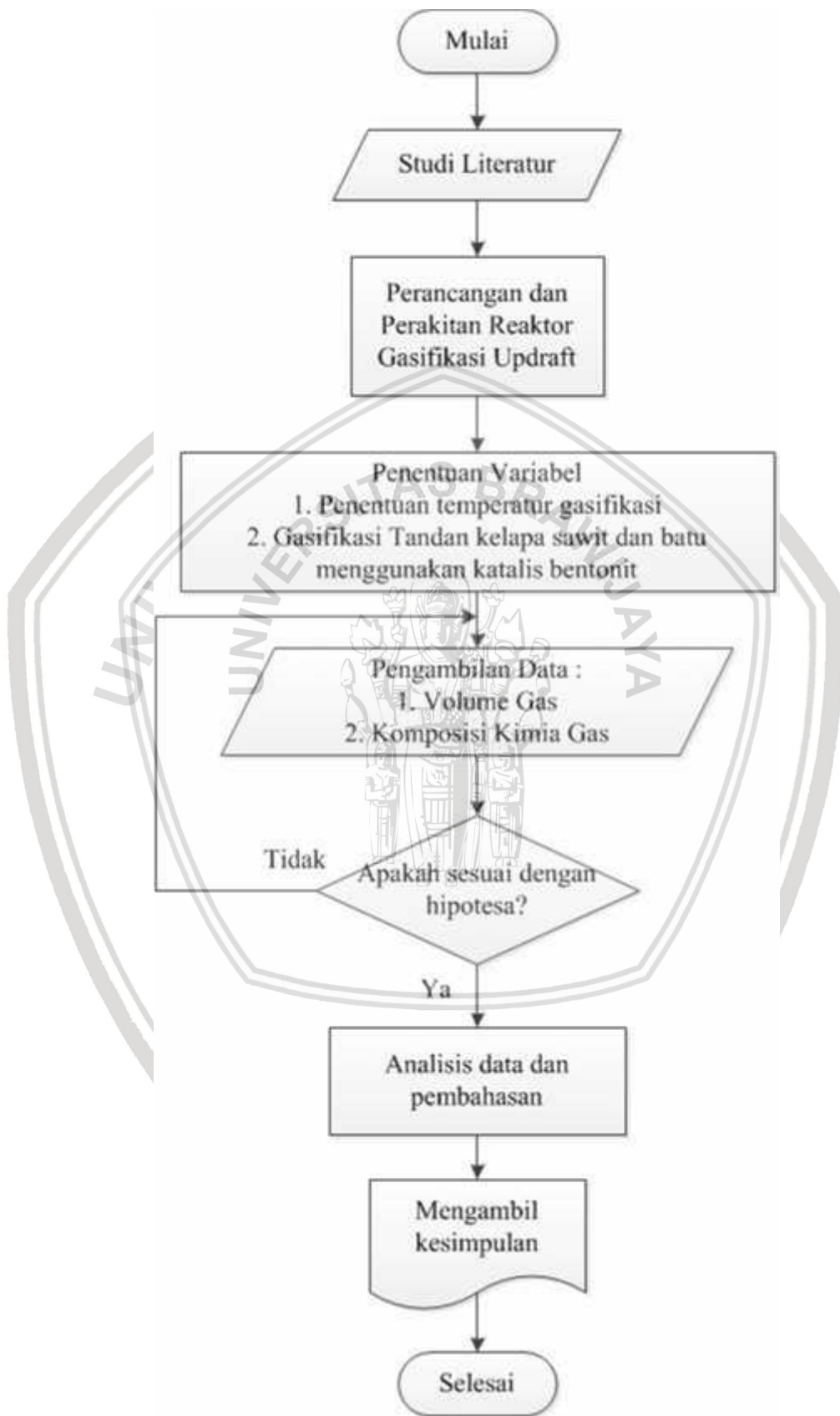
C. Proses analisa gas produk gasifikasi

1. Menyalakan alat GC-MS dan perangkat komputer serta softwarena
2. Lalu menginjeksikan gas *carrier* berupa gas N₂ yang kemudian akan merambat dengan laju rambatan masing-masing komponen
3. Menginjeksikan sample gas produk hasil gasifikasi

4. *Detector* mencatat sederetan sinyal yang akan timbul akibat perubahan konsentrasi dan perbedaan laju elusi
5. Melihat hasil pada *detector*



3.6 Diagram Alur Penelitian





BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

Penelitian ini dimulai pada temperatur tungku gasifikasi pada temperatur 27 °C hingga mencapai temperatur yang ditentukan. Reaktor gasifikasi diatur pada temperatur 500 °C untuk setiap variasi. Data berupa temperatur pemanasan, laju pemanasan, laju produksi gas, volume total, dan persentase produk hasil gasifikasi diambil selama proses gasifikasi. Sedangkan untuk data kandungan *syngas* hasil gasifikasi diambil hanya pada temperatur reaktor gasifikasi mencapai 500 °C.

Volume gas hasil gasifikasi diukur volumenya menggunakan tabung ukur volume. Dicatat waktu produksi gas tiap ketinggian 50 cm tabung ukur atau tiap volume 830,53 cm³, lalu untuk volume total produk gas nantinya dijumlahkan selama pengambilan data 2 jam untuk tiap variasi. Dengan pengolahan data sebagai berikut:

- Perhitungan volume total gas tanpa bentonit
Total tinggi tabung ukur : $t = 1950 \text{ cm}$
Volume total : $V = \pi r^2 t = 3.14 \times 2.3^2 \times 1950 = 32390.67 \text{ cm}^3 = 32.39 \text{ liter}$
- Perhitungan volume total gas dengan penambahan bentonit 10%
Total tinggi tabung ukur : $t = 1969 \text{ cm}$
Volume total : $V = \pi r^2 t = 3.14 \times 2.3^2 \times 1969 = 32706.27 \text{ cm}^3 = 32.71 \text{ liter}$
- Perhitungan volume total gas dengan penambahan bentonit 30%
Total tinggi tabung ukur : $t = 1993 \text{ cm}$
Volume total : $V = \pi r^2 t = 3.14 \times 2.3^2 \times 1993 = 33104.93 \text{ cm}^3 = 33.10 \text{ liter}$
- Perhitungan volume total gas dengan penambahan bentonit 50%
Total tinggi tabung ukur : $t = 2148 \text{ cm}$
Volume total : $V = \pi r^2 t = 3.14 \times 2.3^2 \times 2148 = 35679.57 \text{ cm}^3 = 35.68 \text{ liter}$

Pengambilan data temperatur pemanasan biomassa menggunakan *thermocouple* tipe K yang mana sensornya terletak didalam tungku gasifikasi. Untuk mengetahui laju pemanasan biomassa tiap variasi menggunakan pengolahan data sebagai berikut:

- Laju pemanasan biomassa tanpa katalis
$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{500 \text{ } ^\circ\text{C} - 27 \text{ } ^\circ\text{C}}{39.64 \text{ menit} - 0 \text{ menit}} = \frac{473 \text{ } ^\circ\text{C}}{39.64 \text{ menit}} = 11,932 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{menit}$$

- Laju pemanasan biomassa dengan penambahan bentonit 10%

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{500\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}}{39.44\text{ menit} - 0\text{ menit}} = \frac{473\text{ }^{\circ}\text{C}}{39.44\text{ menit}} = 11,993\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$$

- Laju pemanasan biomassa dengan penambahan bentonit 30%

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{500\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}}{39,65\text{ menit} - 0\text{ menit}} = \frac{473\text{ }^{\circ}\text{C}}{39.65\text{ menit}} = 11.929\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$$

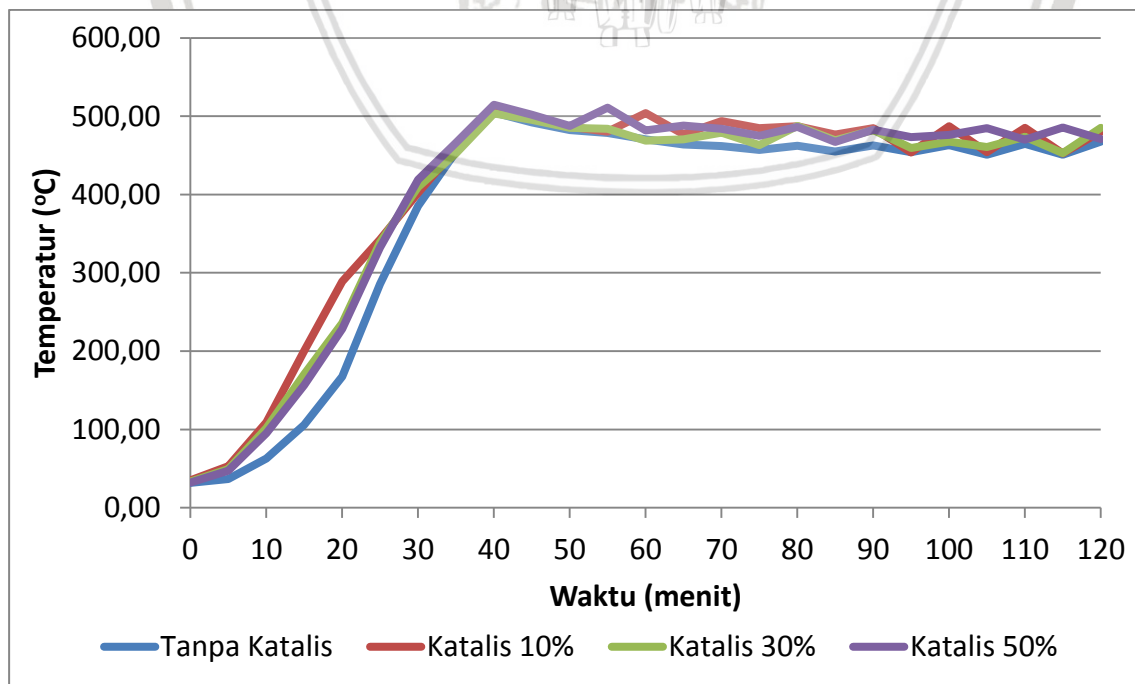
- Laju pemanasan biomassa dengan penambahan bentonit 50%

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{500\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}}{38.48\text{ menit} - 0\text{ menit}} = \frac{473\text{ }^{\circ}\text{C}}{38.48\text{ menit}} = 12,292\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$$

4.2 Pembahasan dan Analisis Grafik

4.2.1 Analisis Temperatur Pemanasan Biomassa dan Waktu

Gambar 4.1 menjelaskan tentang grafik hubungan temperatur pemanasan biomassa terhadap waktu dengan variasi penambahan katalis. Pada gambar 4.1 grafik meningkat seiring dengan bertambahnya waktu sampai temperatur 500 °C dan ditahan sampai 120 menit. Terdapat perbedaan untuk setiap variasi yang mana dengan penambahan katalis mampu mempercepat kenaikan temperatur biomassa, dengan kenaikan temperatur tertinggi pada penambahan katalis 10%, lalu diikuti dengan penambahan katalis 30% dan 50%. Sedangkan untuk variasi tanpa katalis yang paling rendah, yang dapat dilihat bahwa variasi tanpa katalis grafiknya yang paling landai.

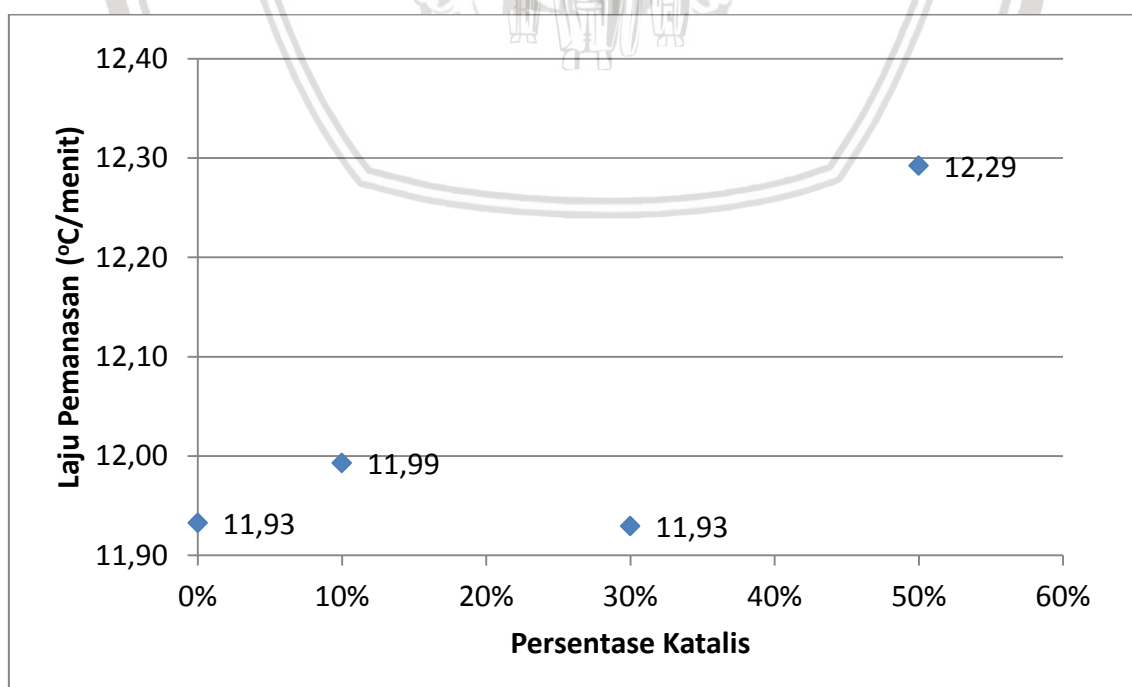


Gambar 4.1 Grafik Histori Temperatur Gasifikasi Tiap Variasi

Penambahan katalis bentonit mampu mempercepat penambahan temperatur biomassa, hal ini dikarenakan dari kandungan Al_2O_3 dan SiO_2 yang terkandung pada katalis bentonit mampu meningkatkan penyerapan panas dari tungku ke biomassa. Yang mana kandungan Al dan Si memiliki konduktivitas termal cukup tinggi. Namun pada penambahan katalis 30% dan 50%, kenaikan temperatur biomassa cenderung lebih rendah dari penambahan katalis 10%. Hal tersebut disebabkan karena pada penambahan katalis 30% dan 50% berat spesimen didalam tungku lebih banyak dibandingkan penambahan katalis 10%. Sehingga menyebabkan beban pemanasan meningkat dan kenaikan temperatur cenderung lebih rendah dari variasi penambahan katalis 10%. Dari Gambar 4.1 dapat disimpulkan penambahan katalis mampu mempercepat kenaikan temperatur biomassa dengan hasil paling optimal pada penambahan katalis 10%.

4.2.2 Analisis Laju Pemanasan Biomassa

Pada Gambar 4.2 menampilkan perbandingan laju pemanasan untuk tiap variasi mengalami perbedaan, dimana penambahan katalis bentonit berpengaruh terhadap laju pemanasan biomassa. Didapatkan dari grafik kecenderungan bahwa semakin banyak penambahan bentonit sampai dengan 50% mampu meningkatkan laju pemanasan biomassa di dalam tungku. Yang mana laju pemanasan tertinggi pada variasi penambahan katalis 50% sebesar $12.99\text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$.

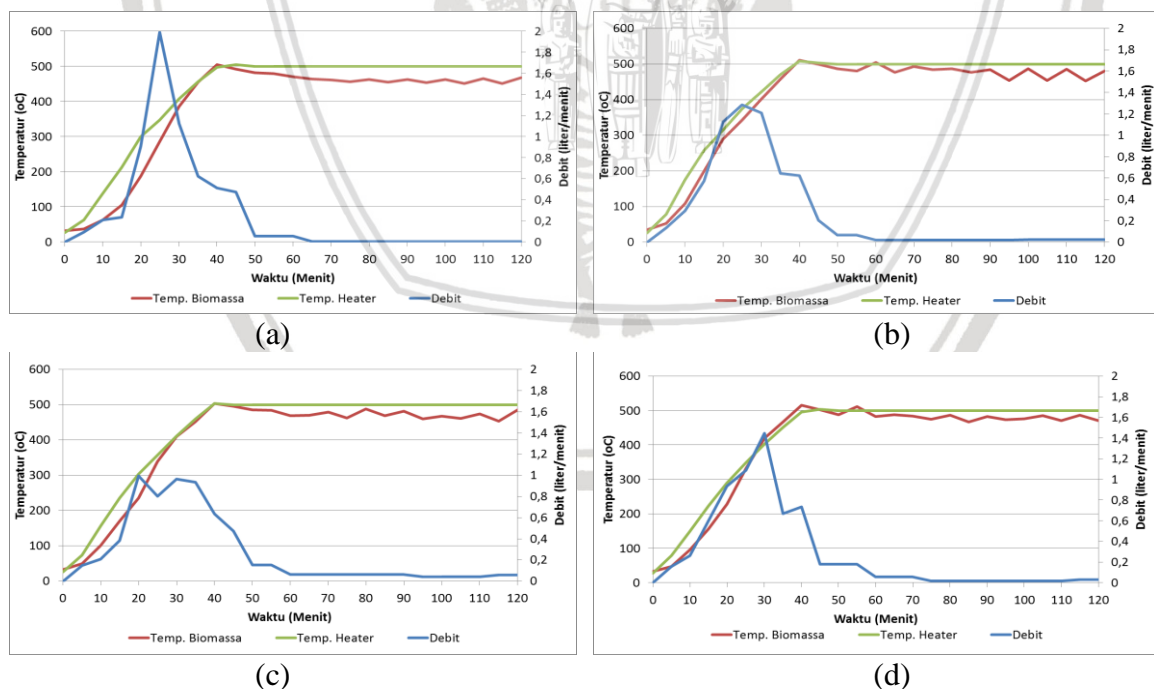


Gambar 4.2 Grafik Hubungan Laju Pemanasan terhadap Persentase Penambahan Katalis

Semakin banyak penambahan katalis bentonit mampu meningkatkan laju pemanasan biomassa dikarenakan dari kandungan Al_2O_3 dan SiO_2 yang terkandung pada katalis bentonit mampu meningkatkan penyerapan panas dari tungku ke biomassa. Yang mana kandungan Al dan Si memiliki konduktivitas termal cukup tinggi. Hal ini membuktikan bahwa penambahan katalis bentonit mampu mempercepat pemecahan rantai hidrokarbon biomassa dibandingkan dengan tanpa katalis.

4.2.3 Analisis Temperatur Pemanasan dan Laju Volume Produksi Syngas

Gambar 4.3 menjelaskan tentang grafik hubungan debit produksi *syngas* dan temperatur pemanasan biomassa dan *heater* pada proses gasifikasi selama 2 jam. Dapat dilihat bahwa penambahan katalis bentonit berpengaruh terhadap temperatur pemanasan biomassa, dimana semakin banyak bentonit akan membuat selisih antara temperatur *heater* dan temperatur biomassa menjadi kecil. Hal ini berarti katalis bentonit dapat membantu mengoptimalkan penyerapan panas ke dalam biomassa. Pada Gambar 4.3 debit produksi *syngas* tertinggi dari berbagai variasi adalah pada menit ke -25 proses gasifikasi dan pada temperatur 350 °C. Hal ini membuktikan bahwa penguraian biomassa tandan kosong kelapa sawit dan batu bara optimal pada temperatur 350 °C.

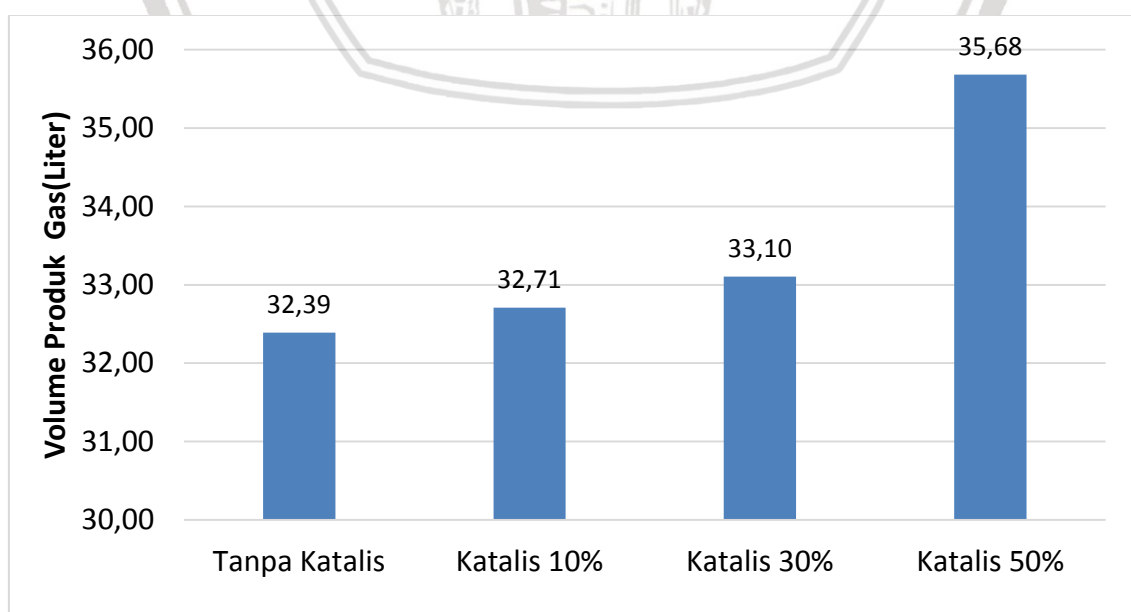


Gambar 4.3 Grafik Hubungan Debit Syngas dan Temperatur Pemanasan Biomassa terhadap Waktu (a) Tanpa Katalis (b) 10% Katalis (c) 30% Katalis (d) 50% Katalis

Dapat dilihat bahwa penambahan katalis bentonit berpengaruh terhadap debit produksi *syngas*. Jika debit produksi *syngas* dirata-rata maka urutan dari yang terendah adalah variasi tanpa katalis sebesar 0.256 liter/menit, penambahan 10% katalis sebesar 0.261 liter/menit, 30% katalis sebesar 0.263 liter/menit, dan 50% katalis sebesar 0.272 liter/menit. Penambahan katalis bentonit mampu meningkatkan debit produksi *syngas* dikarenakan pengaruh *catalytic cracking*. Semakin banyak penambahan katalis dapat meningkatkan debit produksi *syngas*. Hal ini terjadi karena semakin banyak penambahan katalis maka semakin banyak luas bidang kontak antara katalisator dan biomassa. Sehingga biomassa lebih banyak terkena pengaruh *catalytic cracking*. Jadi dapat disimpulkan bahwa penambahan katalis pada proses gasifikasi tandan kelapa sawit dan batu bara mampu meningkatkan debit produksi gas.

4.2.4 Analisis Volume Total Produk *Syngas*

Pada penelitian ini didapatkan volume total produksi gas hasil gasifikasi selama 2 jam, dengan pengambilan dimulai dari temperatur awal pengujian yaitu 27 °C. Pada Gambar 4.4 membandingkan volume total produksi gas dengan variasi penambahan katalis bentonit. Dapat dilihat bahwa penambahan katalis bentonit berpengaruh terhadap volume total produksi gas, yang mana dengan semakin banyak penambahan katalis bentonit mampu meningkatkan volume total produksi gas dengan urutan tanpa katalis sebesar 32,39 liter, penambahan katalis 10% sebesar 32,71 liter, katalis 30% sebesar 33,10 liter, dan yang tertinggi pada penambahan katalis 50% sebesar 35,68 liter.



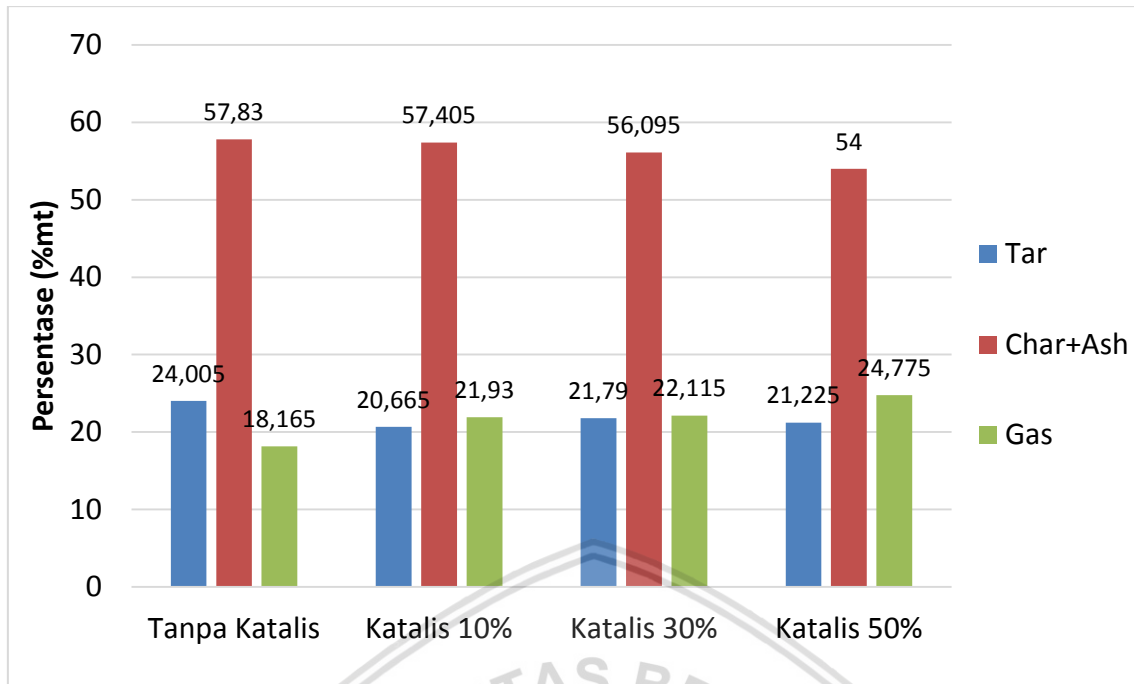
Gambar 4.4 Grafik Volume Total Produksi Gas Hasil Gasifikasi

Penambahan katalis bentonit mampu meningkatkan volume total produksi gas dikarenakan pengaruh dari *catalytic cracking*. Mekanisme tersebut terjadi saat katalis bentonit yang sudah teraktivasi mendonorkan proton (ion H^+) ke biomassa yang sudah mengalami *thermal cracking* (terdekomposisi) dan membentuk ion karbenium. Dimana 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*. Pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan katalis bentonit dapat meningkatkan volume total produksi gas, dengan hasil paling tinggi pada penambahan katalis 50%. Hal ini terjadi karena semakin banyak penambahan katalis maka semakin banyak luas bidang kontak antara katalisator dan biomassa. Sehingga biomassa lebih banyak terkena pengaruh *catalytic cracking*.

Pada penelitian ini katalis bentonit membantu mempercepat penguraian biomassa, sehingga dalam waktu 2 jam volume gas yang dihasilkan meningkat. Dalam hal ini bentonit tidak berpengaruh terhadap hasil dari penguraian biomassa menjadi gas mampu bakar. Hal ini dikarenakan bentonit sebelumnya telah diaktivasi dengan cara dipanaskan sampai temperatur 300 °C untuk menghilangkan kadar airnya. Penambahan bentonit juga tidak berpengaruh terhadap senyawa gas hasil gasifikasi. Hal ini dikarenakan bentonit mulai terdekomposisi atau mengalami perubahan struktur mineral pada temperatur 850 °C, sedangkan temperatur kerja gasifikasi yang digunakan adalah 500 °C (Buchari, 1996).

4.2.5 Analisis Produk Hasil Gasifikasi

Gasifikasi menghasilkan produk utama yaitu gas mampu bakar dan juga produk sampingan seperti tar yang berupa cairan dan char yang berupa padatan. Data produk hasil gasifikasi diambil pada temperatur 500 °C selama waktu 2 jam gasifikasi dengan temperatur awal tungku gasifikasi 27 °C. Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa penambahan katalis bentonit berpengaruh terhadap produk hasil gasifikasi yang berupa char, tar, dan gas. Persentase massa dari produk tar cenderung menurun seiring penambahan katalis bentonit dan begitupun dengan produk char yang cenderung menurun seiring penambahan katalis bentonit. Sedangkan untuk persentase massa gas cenderung meningkat seiring penambahan katalis bentonit. Hal ini membuktikan bahwa penambahan katalis bentonit mampu mempercepat penguraian char dan tar pada proses gasifikasi menjadi produk gas mampu bakar selama waktu 2 jam.

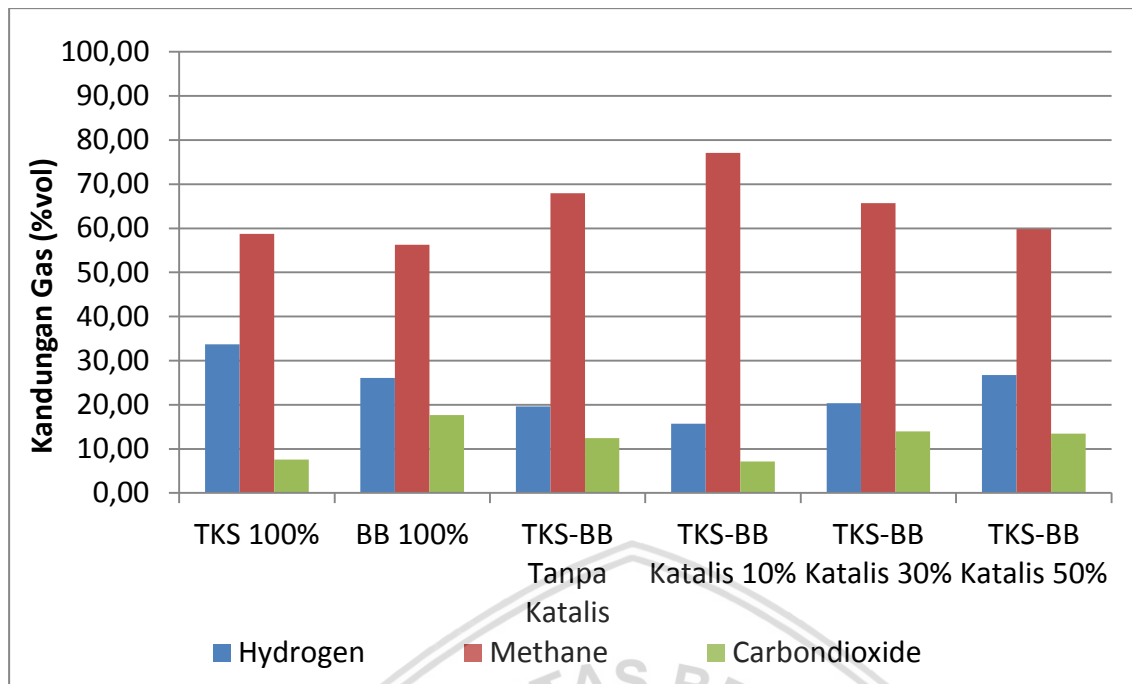


Gambar 4.5 Grafik Produk Hasil Gasifikasi untuk Berbagai Variasi

Penambahan katalis bentonit mampu meningkatkan persentase massa gas dikarenakan pengaruh dari *catalytic cracking*. Mekanisme tersebut terjadi saat katalis bentonit yang sudah teraktivasi mendonorkan proton (ion H^+) ke biomassa yang sudah mengalami *thermal cracking* (terdekomposisi) dan membentuk ion karbenium. Dimana 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*. Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan katalis bentonit dapat meningkatkan persentase massa gas, dengan hasil paling tinggi pada penambahan katalis 50%. Hal ini terjadi karena semakin banyak penambahan katalis maka semakin banyak luas bidang kontak antara katalisator dan biomassa. Sehingga biomassa lebih banyak terkena pengaruh *catalytic cracking*.

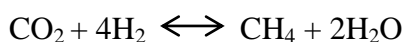
4.2.6 Analisis Kandungan dan Nilai Kalor Syngas Hasil Gasifikasi

Gambar 4.6 menjelaskan tentang kandungan gas hasil gasifikasi yang diambil sampelnya pada temperatur 500 °C untuk berbagai variasi. Variasi campuran tandan kosong kelapa sawit 100 gram dan batu bara 100 gram ditulis dengan notasi TKS-BB. Variasi tandan kosong kelapa sawit 200 gram ditulis dengan notasi TKS 100%. Variasi batu bara 200 gram ditulis dengan notasi BB 100%.



Gambar 4.6 Grafik Kandungan Syngas pada Temperatur 500 °C

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat karakteristik masing-masing dari gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dan batu bara. Karakteristik gas tandan kosong kelapa sawit memiliki lebih banyak kandungan CH_4 dan H_2 dibandingkan gas dari batu bara. Sedangkan karakteristik gas dari batu bara cenderung memiliki lebih banyak kandungan CO_2 . Hal ini terjadi karena pada analisis ultimate tandan kosong kelapa sawit memiliki lebih banyak kandungan H dibanding batu bara, sedangkan batu bara memiliki kandungan C jauh lebih banyak dibanding tandan kosong kelapa sawit. Pada gasifikasi campuran 50% tandan kosong kelapa sawit dan 50% batu bara memiliki kandungan CH_4 yang lebih banyak dibandingkan dengan gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dan batu bara murni. Gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara mampu meningkatkan hasil gas CH_4 dikarenakan dari karakteristik hasil gas tandan kosong murni cenderung banyak menghasilkan gas H_2 dan hasil gas batu bara murni cenderung banyak menghasilkan CO dan CO_2 . Sehingga jika keduanya dicampur, maka akan terjadi reaksi *methanation* seperti pada persamaan berikut :



Pada Gambar 4.6 dapat dilihat kandungan gas campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara memiliki hasil CH_4 lebih besar dan hasil H_2 yang lebih kecil dibanding gas hasil tandan kosong kelapa sawit murni. Hal ini membuktikan bahwa H_2 yang terbentuk

dari tandan kosong kelapa sawit bereaksi dengan karbon pada batu bara sehingga menghasilkan CH₄.

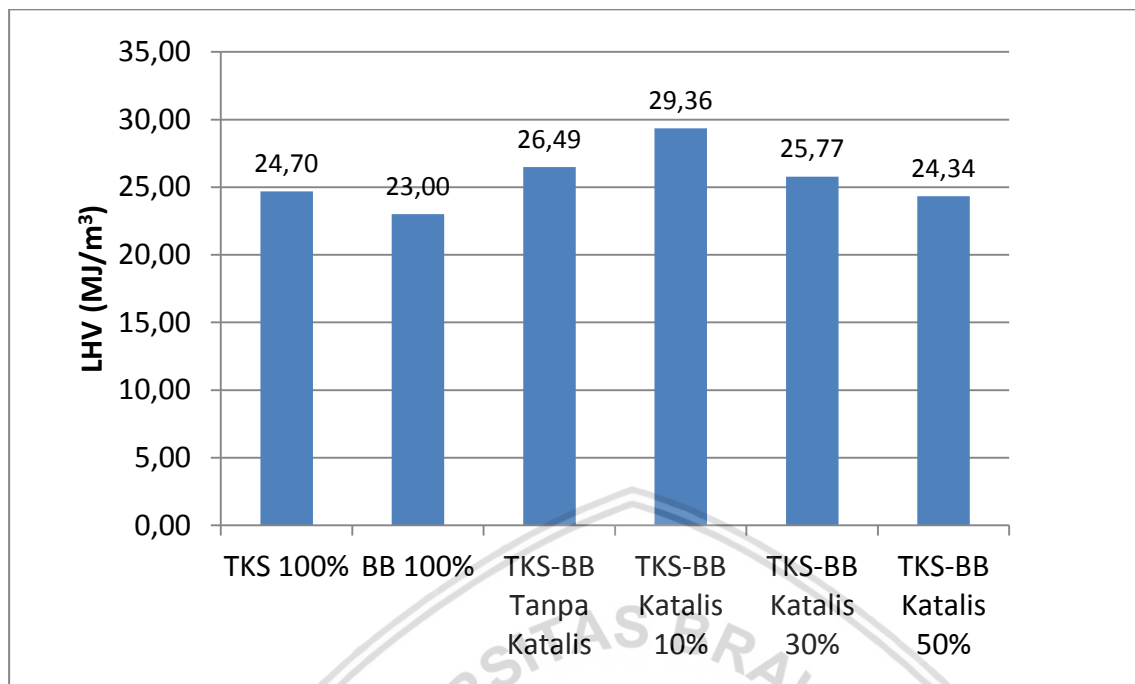
Pada Gambar 4.6 dapat dilihat karakteristik *syngas* hasil gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara dengan variasi penambahan katalis bentonit. Penambahan katalis bentonit berpengaruh terhadap kandungan hasil *syngas*. Pada penambahan katalis 10% kandungan CH₄ yang terbentuk paling banyak diantara variasi katalis 0%, 30%, dan 50%. Hal ini dikarenakan penambahan katalis bentonit 10% membantu penguraian biomassa menjadi gas CH₄ dan H₂. Sedangkan pada variasi penambahan katalis 30% dan 50% kandungan gas CH₄ yang terbentuk cenderung menurun dan kandungan gas H₂ cenderung meningkat. Hal ini dikarenakan pada penambahan katalis bentonit 30% dan 50% membuat volume total produksi *syngas* meningkat drastis yang bisa dilihat pada gambar 4.4, yang menyebabkan waktu tinggal gas di dalam tungku menjadi sebentar dan menurunkan laju reaksi *methanation* dikarenakan gas terlalu cepat dikeluarkan dari tungku. Jadi dapat disimpulkan bahwa pada penambahan katalis bentonit 30% dan 50%, penurunan laju reaksi *methanation* lebih dominan dibanding peningkatan gas CH₄ dari penguraian biomassa. Selain itu, penurunan gas CH₄ pada variasi katalis 30% dan 50% juga bisa disebabkan karena semakin banyak katalis berperan membantu reaksi *steam reforming* untuk memecah CH₄ membentuk H₂ seperti pada persamaan berikut :



Dari data kandungan *syngas* yang ada dapat dihitung nilai kalor gas dari masing-masing variasi. Untuk dapat menghitung nilai kalor dari *syngas*, persentase fraksi mol gas tiap variasi dikalikan dengan nilai kalor (LHV) dari masing-masing jenis gas yaitu metana (CH₄) sebesar 35,88 MJ/m³ dan hidrogen (H₂) sebesar 10,78 MJ/m³ kemudian hasilnya dijumlahkan. Data hasil perhitungan nilai kalor *syngas* dari masing-masing variasi dapat dilihat pada tabel 4.1 dan grafik nilai kalor *syngas* tiap variasi ditampilkan pada gambar 4.7

Tabel 4.1
Perhitungan Nilai Kalor *Syngas* tiap Variasi

Variasi	% mol CH ₄	% mol H ₂	% mol*LHV CH ₄ (MJ/m ³)	% mol*LHV H ₂ (MJ/m ³)	Total LHV (MJ/m ³)
TKS 100%	58,70	33,72	21,06	3,64	24,70
BB 100%	56,25	26,10	20,18	2,81	23,00
TKS-BB Tanpa Katalis	67,94	19,62	24,38	2,11	26,49
TKS-BB Katalis 10%	77,09	15,74	27,66	1,70	29,36
TKS-BB Katalis 30%	65,70	20,33	23,57	2,19	25,77
TKS-BB Katalis 50%	59,79	26,76	21,45	2,88	24,34



Gambar 4.7 Grafik Nilai Kalor Syngas Tiap Variasi

Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa variasi gasifikasi campuran 50% tandan kosong kelapa sawit dan 50% batu bara dapat meningkatkan nilai kalor dari *syngas* dengan nilai 26,49 MJ/m³ dibandingkan dengan tandan kosong kelapa sawit dan batu bara murni 100% yang hanya bernilai 24,70 MJ/m³ dan 23,00 MJ/m³. Hal ini dikarenakan pada gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara mampu meningkatkan kandungan gas metana (CH₄) pada hasil *syngas* yang mana gas metana memiliki nilai kalor yang tinggi dibanding hidrogen.

Dari gambar 4.7 juga dapat dilihat bahwa penambahan katalis bentonit berpengaruh terhadap nilai kalor dari gasifikasi campuran 50% tandan kosong kelapa sawit dan 50% batu bara. Dimana nilai kalor *syngas* tertinggi didapatkan pada variasi penambahan katalis bentonit 10% dengan nilai 29,36 MJ/m³, selanjutnya diikuti oleh variasi tanpa katalis, penambahan katalis bentonit 30%, dan 50% dengan masing-masing nilai kalor 26,49 MJ/m³, 25,77 MJ/m³, dan 24,34 MJ/m³. Hal ini terjadi dikarenakan pada penambahan katalis bentonit 10% menghasilkan gas metana (CH₄) yang tinggi, yang mana nilai kalor dari gas metana jauh lebih tinggi dibanding gas hidrogen. Jadi dapat disimpulkan bahwa nilai kalor paling tinggi adalah pada variasi penambahan katalis bentonit 10% karena menghasilkan gas metana (CH₄) paling besar.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

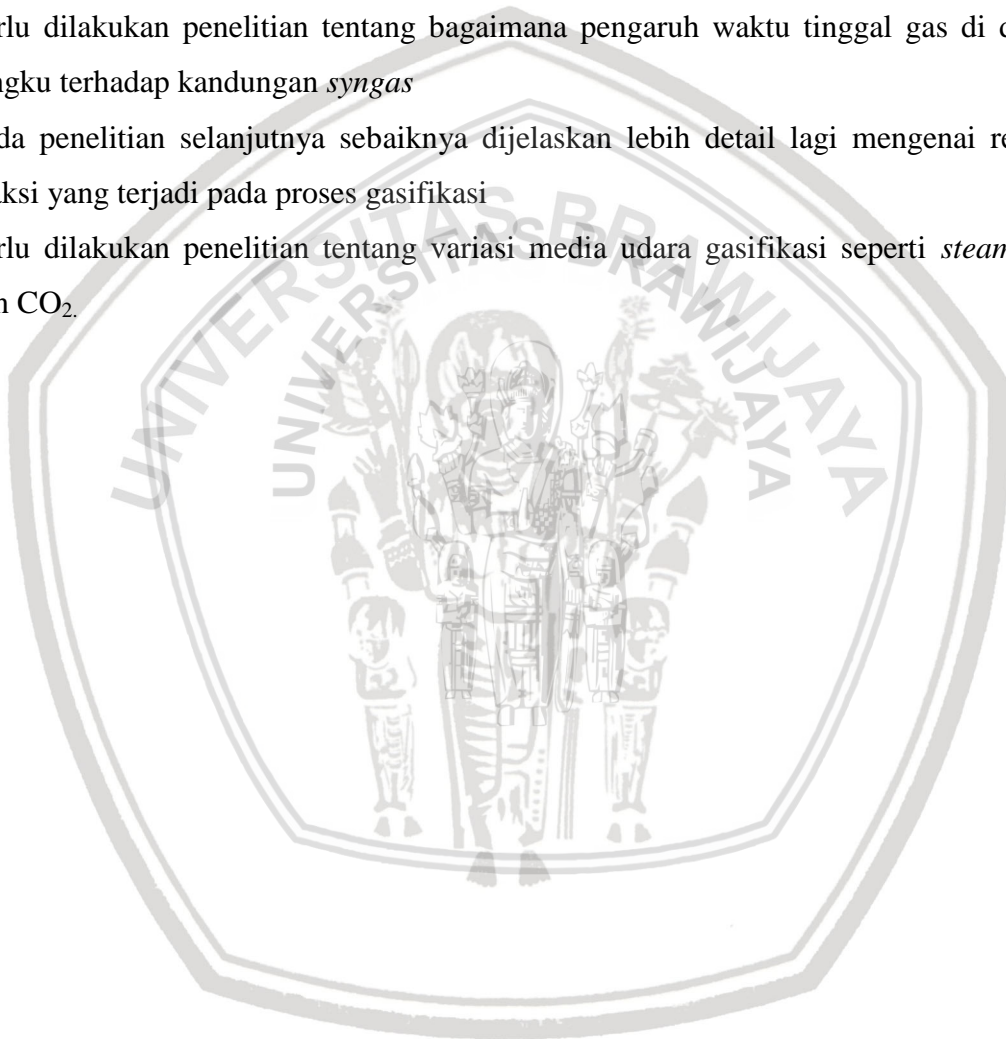
Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Penambahan bentonit dapat meningkatkan kenaikan temperatur pemanasan biomassa campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara dibandingkan tanpa bentonit, dimana kenaikan temperatur pemanasan biomassa tertinggi pada variasi penambahan katalis bentonit 10%
2. Penambahan bentonit mampu meningkatkan laju pemanasan biomassa campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara, dimana laju pemanasan biomassa tertinggi pada variasi penambahan katalis bentonit 50%. Hal ini membuktikan bahwa penambahan katalis mampu mempercepat pemecahan rantai hidrokarbon biomassa dibandingkan dengan tanpa katalis.
3. Laju produksi *syngas* hasil gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara meningkat seiring dengan penambahan bentonit, urutan dari yang terendah adalah variasi tanpa katalis sebesar 0.256 liter/menit, penambahan 10% katalis sebesar 0.261 liter/menit, 30% katalis sebesar 0.263 liter/menit, dan 50% katalis sebesar 0.272 liter/menit.
4. Semakin besar penambahan katalis bentonit mampu meningkatkan volume total produksi gas hasil gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara dengan volume tertinggi pada penambahan katalis 50% sebesar 35.68 liter.
5. Penambahan katalis bentonit mampu mengoptimalkan penguraian char dan tar hasil gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara menjadi gas mampu bakar.
6. Gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara mampu meningkatkan nilai kalor *syngas* sebanyak 7,23% dibandingkan dengan *syngas* dari tandan kosong kelapa sawit murni, hal ini dikarenakan gasifikasi campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara mampu menghasilkan gas CH₄ lebih banyak. Penambahan bentonit berpengaruh terhadap nilai kalor *syngas* campuran tandan kosong kelapa sawit dan batu bara, dimana penambahan katalis bentonit mampu meningkatkan nilai kalor dengan hasil optimal pada penambahan katalis 10% dengan kenaikan sebesar

10,83% dari tanpa katalis bentonit. Hal ini dikarenakan pada penambahan katalis 10% kandungan CH_4 yang terbentuk paling banyak diantara variasi katalis 0%, 30%, dan 50%. Sedangkan pada variasi penambahan katalis 30% dan 50% kandungan gas CH_4 yang terbentuk cenderung menurun dan kandungan gas H_2 cenderung meningkat.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian tentang bagaimana karakteristik gas hasil gasifikasi pada temperatur diatas $700\text{ }^\circ\text{C}$.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang bagaimana pengaruh waktu tinggal gas di dalam tungku terhadap kandungan *syngas*
3. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dijelaskan lebih detail lagi mengenai reaksi-reaksi yang terjadi pada proses gasifikasi
4. Perlu dilakukan penelitian tentang variasi media udara gasifikasi seperti *steam*, O_2 , dan CO_2 .



DAFTAR PUSTAKA

- Badger, P.S., Nolan, R., Esper, A., Hashimoto, Y., Hernanz, J.L., Jenkins, B., Jungbluth, T. (1999). *CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume V*. US : ASAE
- Balat, M. (2008) Hydrogen-rich Gas Production from Biomass via Pyrolysis and Gasification Processes and Effects of Catalyst on Hydrogen Yield. *Energy Sources Part A*. 30 :552-64
- Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis Partical Design and Theory*. Oxford : Elsevier
- Buchari, Muji Harsini. (1996). *Karakterisasi Bentonit Pacitan*. JKTI Vol. 6, No. 1-2
- Direktorat Jendral Perkebunan. (2014). *Pedoman Budidaya Kelapa Sawit yang Baik*. Jakarta : Kementerian Pertanian
- Direktorat Jendral Perkebunan. (2016). *Statistik Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia 2015-2017*. Jakarta : Kementerian Pertanian
- Kurniawan. (2012). Karakteristik Konvensional Updraft Gasifier dengan Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet Melalui Pengujian Variasi Flow Rate Udara. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Depok : Universitas Indonesia
- Ma, A.N., Yousof, B. (2005). Biomass Energy from Palm Oil Industry in Malaysia. *Ingenieur*. 27 : 18-25
- Mutasim, B. (2010). Peningkatan Nilai Kalor Batu Bara Peringkat Rendah dengan Menggunakan Minyak Tanah dan Minyak Residu. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Surabaya : Universitas Pembangunan Nasional
- Raharjo, S. (2012). Analisis Thermogravimetry Limbah Padat Kelapa Sawit dan Potensi Konversinya Menjadi Gas Bakar. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. 9(2) : 115-120
- 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
- Rookie. (2017). <https://www.rookieparenting.com/do-plants-breathe-science-experiment/>. (Diakses 13 Juli 2018)
- Shahbas, M., Yusup, S., Inayat, A., Onoja, D., Ammar, M. (2017). The Influence of Catalysts in Biomass Steam Gasification and Catalytic Potential of Coal Botom Ash in Biomass Steam Gasification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 73(2017): 468-476

- Sutton, D., Kelleher, B. (2010). Review of Literature on Catalysts for Biomass Gasification. *Fuel Process Technol.* 73 :155-73
- Turare, C. (1997). *Biomass Gasification –Technology and Utilisation*. Glucksburg : ARTES Institute
- Vidian, Fajri. (2010). *Gasifikasi tempurung kelapa menggunakan updraft gasifikasi pada berapa variasi laju aliran udara pembakaran*. Palembang : Universitas Sriwijaya
- Williams, CL. (2010). <http://www.wgbn.wisc.edu/conversion>. (Diakses 4 Maret 2018).
- Zhang, D., Liu, P., Lu X., Wang L., Pan T. (2015). Upgrading of low rank coal by hydrothermal treatment. *Fuel Processing Technology*. 4610
- Zhang, Y., Zheng, Y. (2016). Co-Gasification of Coal and Biomass in a Fixed Bed Reactor with Separate and Mixed Bed Configuration. *Fuel*. 183(2016) : 132-138

