

PEMODELAN GASIFIKASI SEKAM PADI DENGAN *ASPEN PLUS*

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia

oleh :

Jeanet Limanjaya

(6141801032)

Pembimbing :

Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D.

Yansen Hartanto, S.T., M.T.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

2022

MODELLING RICE HUSK GASIFICATION WITH ASPEN PLUS

Research Report

Compiled to fulfill the final task in order to achieve a degree
Bachelor in Chemical Engineering

by :

Jeanet Limanjaya

(6141801032)

Supervisor :

Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D.

Yansen Hartanto, S.T., M.T.



**CHEMICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY**

2022

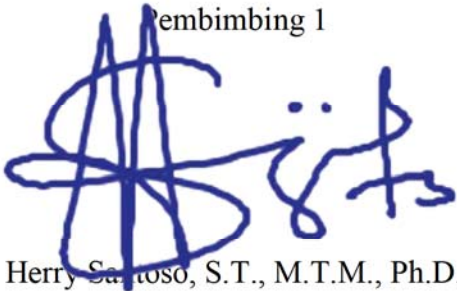
LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : PEMODELAN GASIFIKASI SEKAM PADI DENGAN *ASPEN PLUS*

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 10 Februari 2022

Pembimbing 1



Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D.

Pembimbing 2



Yansen Hartanto, S.T., M.T.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Jeanet Limanjaya

NPM : 6141801032

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

Pemodelan Gasifikasi Sekam Padi dengan *Aspen Plus*

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 30 Januari 2022



Jeanet Limanjaya
(6141801032)

LEMBAR REVISI

JUDUL : PEMODELAN GASIFIKASI SEKAM PADI DENGAN ASPEN PLUS

CATATAN :

1. Pemodelan gasifier menjadi rangkaian unit proses perlu didiskusikan di bab 4 pembahasan.
2. Pengaruh temperatur dan ER dibahas. Grafik LHV dan rasio H₂/CO dipisahkan supaya penjelasan lebih visible dan mudah dijelaskan.
3. Pembahasan soal tidak terbentuk Ter, dan bagaimana supaya Ter dapat dipelajari pada simulasi.
4. Intisari: kesimpulannya dikuantifikasikan
5. Bisa dijelaskan kenapa saat variasi T dan S/B, digunakan ER = 0,3.
6. Perlu dijelaskan mengenai pembentukan H₂ saat dengan media udara itu terbentuk dengan reaksi apa dan air-nya itu berasal dari mana.

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 10 Februari 2022

Penguji 1



Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M.Eng.

Penguji 2



Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng

INTISARI

Pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) sebagai sumber listrik di Indonesia sedang ditingkatkan. Salah satu aplikasi EBT adalah gasifikasi biomassa. Gasifikasi biomassa menimbulkan emisi pencemaran lingkungan yang lebih sedikit dari pembakaran dan dapat memproses bahan biomassa yang tidak terpakai atau limbah. Salah satu biomassa yang dapat digunakan untuk gasifikasi namun masih kurang dimanfaatkan adalah sekam padi. Meskipun sekam padi melimpah di Indonesia namun sekam padi hanya dibakar atau dijadikan media tanam. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi gasifikasi sekam padi dalam aplikasi pembangkit listrik.

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan gasifikasi sekam padi dengan menggunakan aplikasi *Aspen Plus*. Model pendekatan kesetimbangan divalidasi untuk mengetahui keakuratan model. Pembentukan ter pada gasifikasi disertakan dengan asumsi ter adalah benzena. Agen gasifikasi yang digunakan adalah udara dan kukus. Variabel *equivalence ratio* (ER) divariasikan pada rentang 0,1 hingga 1 dengan interval 0,1 pada temperatur 800 °C tanpa kukus. Temperatur gasifier divariasikan pada rentang 700 °C hingga 900 °C dengan interval 10 °C pada ER 0,3 tanpa kukus. Variabel *steam to biomass ratio* (S/B) divariasikan pada rentang 0 hingga 1 dengan interval 0,1 pada temperatur 800 °C dan ER 0,3. Variabel yang diamati adalah rasio hidrogen terhadap karbon monoksida (H_2/CO), LHV, dan jumlah ter pada *syngas*.

Model berhasil divalidasi, namun komposisi metana dalam *syngas* lebih rendah dari yang seharusnya. Ter tidak terbentuk akibat energi Gibbs pembentuk ter yang positif (tidak terjadi secara spontan). Seluruh variabel berpengaruh terhadap kualitas *syngas*, namun variabel ER memiliki pengaruh terbesar terhadap LHV. H_2/CO cenderung naik dengan kenaikan ER dan S/B tetapi turun dengan kenaikan temperatur. Kecenderungan perubahan nilai LHV berkebalikan dengan rasio H_2/CO . Didapatkan kondisi terbaik pada LHV 6,3 MJ/Nm³ dan H_2/CO 1,07 dalam kondisi temperatur 900 °C, ER 0,3, dan tanpa kukus.

Kata kunci : gasifikasi, LHV, pemodelan, sekam padi, *syngas*

ABSTRACT

The utilization of new and renewable energy (NRE) as a source of electricity in Indonesia is increasing. One of the NRE applications is biomass gasification. Biomass gasification produces less environmental pollutant emissions than combustion as it can process unused or waste biomass materials. One biomass that can be used for gasification but is still underutilized is rice husk. Although rice husks are abundant in Indonesia, rice husks are burned or used as planting media. This study was conducted to determine the factors that affect rice husk gasification for power generation applications.

In this study, rice husk gasification modelling was carried out using the Aspen Plus application. The equilibrium approach model was validated to determine the accuracy of the model. Tar formation on gasification was included assuming benzene as tar. The gasifying agent used is air and steam. The equivalence ratio (ER) was varied in the range of 0.1 to 1 with a 0.1 interval at 800 °C without using steam. The gasifier temperature was varied in the range of 700 °C to 900 °C with a 10 °C interval at ER 0.3 without using steam. The steam to biomass ratio (S/B) variable was varied in the range of 0 to 1 with a 0.1 interval at 800 °C and an ER of 0.3. The variables observed were the ratio of hydrogen to carbon monoxide (H_2/CO), LHV, and the amount of tar in the syngas.

The model was successfully validated, but the methane composition in the syngas was lower than it should be. Tar was not formed due to the tar's formation Gibbs energy is positive (reaction does not occur spontaneously). All three variables affect the quality of syngas, but the ER variable had the greatest influence on LHV. H_2/CO tended to increase with an increase in ER and S/B but decreased with an increase in temperature. The trend of changes in the LHV value was in contrast to the H_2/CO ratio. The best condition was obtained at LHV 6.3 MJ/Nm³ and H_2/CO 1.07 at a temperature of 900 °C, ER 0.3, and no steam.

Keywords : gasification, LHV, modelling, rice husk, syngas

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa oleh karena kasih-Nya penyusunan laporan penelitian berjudul “Pemodelan Gasifikasi Sekam Padi dengan *Aspen Plus*” ini dapat diselesaikan guna memenuhi salah satu persyaratan tugas akhir untuk mencapai gelar sarjana pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan laporan penelitian ini terdapat banyak kendala, namun berkat dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak dan berkat-Nya sehingga kendala-kendala tersebut dapat teratasi dengan baik. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, pada kesempatan ini patutlah kiranya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan selama penyusunan laporan ini.
2. Bapak Yansen Hartanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan selama penyusunan laporan ini.
3. Orang tua dan keluarga penulis atas doa dan dukungan yang telah diberikan.
4. Seluruh pihak yang telah turut membantu dalam penyusunan laporan ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa tidak ada yang sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran selalu penulis harapkan dan penulis meminta maaf sedalam-dalamnya atas kesalahan pada penulisan laporan penelitian ini. Besar harapan penulis, semoga laporan penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak.

Bandung, 30 Januari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
INTISARI	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tema Sentral Masalah.....	2
1.3. Identifikasi Masalah.....	3
1.4. Premis	3
1.5. Hipotesis	7
1.6. Tujuan	7
1.7. Manfaat	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1. Biomassa	8
2.1.1. Analisis Proksimat dan Ultimat.....	8
2.1.2. Nilai Kalor Bahan Bakar	10
2.1.3. Metode Konversi Biomassa	12
2.2. Gasifikasi	13
2.2.1. Jenis Gasifier	14
2.2.1.1. Gasifier Unggun Tetap	14
2.2.1.2. Gasifier Unggun Terfluidakan	17
2.2.1.3. Gasifier <i>Entrained Flow</i>	18

2.2.2. Agen Gasifikasi	19
2.2.2.1. Oksigen/Udara.....	20
2.2.2.2. <i>Oxygen-Enriched Air</i>	20
2.2.2.3. Kukus Jenuh dan <i>Superheated</i>	20
2.2.2.4. H ₂ dan CO ₂	20
2.2.2.5. Katalis.....	21
2.2.2.6. Plasma	21
2.2.3. Reaksi-Reaksi dalam Gasifikasi.....	22
2.2.4. Faktor – Faktor yang Memengaruhi Gasifikasi.....	24
2.2.5. Efisiensi Gasifikasi.....	26
2.3. Syngas	27
2.4. Pemodelan Gasifier	28
2.4.1. Pendekatan Kesetimbangan.....	28
2.4.1.1. Model Stoikiometri	28
2.4.1.2. Model Non-Stoikiometri	29
2.4.2. Pendekatan Model Kinetika	30
2.4.3. <i>Artificial Neural Network (ANN)</i>	31
2.4.4. <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	31
2.5. Pustaka Penelitian Pemodelan dengan <i>Aspen Plus</i>	32
2.5.1. Pemodelan dengan Pendekatan Kesetimbangan	32
2.5.2. Pemodelan dengan Kinetika dan Hidrodinamika.....	33
2.5.3. Pemodelan dengan Melibatkan Ter.....	36
BAB 3 METODE PENELITIAN	39
3.1. Data Literatur	39
3.2. Pemodelan.....	41
3.3. Variasi Percobaan	42
3.4. Variabel yang Diamati	43
3.5. Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	43
BAB 4 PEMBAHASAN	44
4.1. Validasi Model.....	44
4.2. Hasil Penelitian	46

4.2.1. Ter	47
4.2.2. Variasi ER	47
4.2.3. Variasi Temperatur.....	49
4.2.4. Variasi <i>Steam-to-Biomass Ratio</i> (S/B).....	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1. Kesimpulan	55
5.2. Saran	55
DAFTAR PUSTAKA.....	56
LAMPIRAN A DETAIL PEMODELAN	60
LAMPIRAN B HASIL PERCOBAAN.....	64
B.1. Hasil Percobaan Variasi ER	64
B.2. Hasil Percobaan Variasi Temperatur.....	65
B.2.1. ER = 0,3	65
B.2.2. ER = 0,2	67
B.2.3. ER = 0,1	659
B.3. Hasil Percobaan Variasi S/B	71
LAMPIRAN C CONTOH PERHITUNGAN.....	72
C.1. Perhitungan ER	72
C.2. Perhitungan LHV	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Basis Analisis Komposisi Biomassa.....	10
Gambar 2.2. Metode Konversi Biomassa.....	12
Gambar 2.3. Skema <i>Updraft Gasifier</i>	16
Gambar 2.4. Skema <i>Downdraft Gasifier</i>	17
Gambar 2.5. Skema <i>Crossdraft Gasifier</i>	17
Gambar 2.6. Skema <i>Fluidized bed Gasifier</i>	18
Gambar 2.7. Skema Gasifier <i>Entrained Flow</i> Umpan <i>Slurry</i> Batubara Basah Pembakaran Atas.....	19
Gambar 2.8. Skema Gasifier <i>Entrained Flow</i> Umpan Batubara Kering Pembakaran Samping.....	19
Gambar 2.9. Aplikasi <i>Syngas</i>	27
Gambar 2.10. Skema <i>Feed Forward Neural Network</i>	31
Gambar 2.11. Model Simulasi Gasifikasi Keseimbangan.....	33
Gambar 2.12. Model Simulasi <i>Fluidized Bed</i> Kinetik-Hidrodinamik.....	34
Gambar 4.1. <i>Flowsheet</i> Validasi Model.....	45
Gambar 4.2. <i>Flowsheet</i> Simulasi Percobaan	46
Gambar 4.3. Hasil Penelitian LHV Variasi ER.....	47
Gambar 4.4. Hasil Penelitian H ₂ /CO Variasi ER	48
Gambar 4.5. Komposisi Gas Pada Variasi ER	49
Gambar 4.6. Hasil Penelitian Variasi Temperatur.....	49
Gambar 4.7. Komposisi Gas Pada Variasi Temperatur.....	50
Gambar 4.8. Hasil Penelitian LHV pada Variasi Temperatur dan ER.....	51
Gambar 4.9. Hasil Penelitian H ₂ /CO pada Variasi Temperatur dan ER	52
Gambar 4.10. Hasil Penelitian Variasi S/B	53
Gambar 4.11. Komposisi Gas Pada Variasi S/B	54
Gambar A.1. Proses Pemodelan Biomassa.....	61
Gambar A.2. <i>Flowsheet</i> Pemodelan	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Premis Pengaruh Peningkatan ER	3
Tabel 1.2. Premis Pengaruh Peningkatan Temperatur Gasifier.....	4
Tabel 1.3. Premis Pengaruh Peningkatan <i>Steam-to-Biomass Ratio</i>	4
Tabel 1.4. Premis Pemodelan Gasifikasi dengan <i>Aspen Plus</i>	5
Tabel 1.5. Premis Pemodelan Gasifikasi dengan <i>Aspen Plus</i> (lanjutan).....	6
Tabel 1.6. Premis Properti Fisik dalam Simulasi	6
Tabel 2.1. Perbandingan Metode Termokimia Konversi Biomassa	13
Tabel 2.2. Perbedaan Gasifier Unggun Tetap, Terfluidakan, dan <i>Entrained Flow</i>	15
Tabel 2.3. Reaksi Gasifikasi dan Parameter Laju Reaksi	23
Tabel 2.4. Penjelasan Penggunaan Unit Operasi Aspen.....	33
Tabel 2.5. Penjelasan Penggunaan Unit Operasi <i>Aspen</i> pada Literatur.....	35
Tabel 2.6. Koefisien reaksi perengkahan ter	37
Tabel 2.7. Reaksi Perengkahan Ter	38
Tabel 3.1. Data Analisis Proksimat dan Ultimat <i>Hardwood Chips</i>	40
Tabel 3.2. Data Percobaan Gasifikasi <i>Hardwood Chips</i>	40
Tabel 3.3. Data Analisis Proksimat, Ultimat, dan LHV Sekam Padi	41
Tabel 3.4. Jadwal Penelitian	43
Tabel 4.1. Hasil Validasi Model.....	45
Tabel 4.2. Energi Gibbs Pembentukan Pada Kondisi Standar	47
Tabel A.1. Komponen yang Disimulasikan.....	60

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Konsumsi energi khususnya energi listrik di Indonesia semakin meningkat dari waktu ke waktu, namun seperti yang diketahui bahwa sumber listrik di Indonesia masih bergantung pada energi fosil khususnya batu bara. Menurut Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional (2019), produksi pembangkit listrik pada tahun 2018 sebagian besar dihasilkan dari pembangkit listrik berbahan bakar batubara sebesar 56,4%, pembangkit listrik berbahan bakar gas sebesar 20,2% dan BBM hanya 6,3%, sementara 17,1% berasal dari energi baru dan terbarukan (EBT). Ketersediaan bahan bakar fosil terus berkurang karena sifatnya yang tidak dapat diperbarui, sehingga pemanfaatan EBT perlu ditingkatkan untuk menunjang kebutuhan energi listrik.

Pemerintah juga mendukung pemanfaatan energi terbarukan dalam ketenagalistrikan dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2016 tentang Percepatan Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan. Target peran EBT telah ditetapkan dalam beberapa tahun ke depan melalui Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional yang menyatakan bahwa pada tahun 2025 EBT ditargetkan memiliki peran sebesar 23% dan pada tahun 2050 paling sedikit 31%. Pengadaan pembangkit listrik tenaga biomassa dengan gasifikasi menjadi alternatif yang baik sebagai sumber EBT untuk desa-desa dan pulau terpencil karena secara ekonomi lebih terjangkau dibandingkan pembangkit listrik tenaga surya dengan kapasitas di atas 100 kW dan tidak dibatasi oleh ketersediaan debit air di desa untuk pembangkit mikrohidro (Wiyono dkk., 2020).

Gasifikasi biomassa menghasilkan emisi CO₂, NO_x, maupun SO₂ yang lebih sedikit dibandingkan dengan pembakaran. Penggunaan gasifikasi biomassa dapat mengurangi gas rumah kaca dan pencemaran lingkungan. Pada pembakaran, sulfur dari bahan bakar keluar sebagai SO₂ yang menyebabkan hujan asam dan relatif sulit dihilangkan, sedangkan pada gasifikasi 93-96% sulfur keluar sebagai H₂S dan sisanya COS yang mudah dibersihkan dengan absorpsi (Higman dan Burgt 2008). Nitrogen dari bahan bakar keluar sebagai gas

NO yang menyebabkan hujan asam atau menjadi N_2O salah satu gas rumah kaca, keduanya sulit untuk dihilangkan. Pada gasifikasi nitrogen terkonversi menjadi N_2 atau NH_3 yang mudah dibersihkan (Basu 2013).

Salah satu sumber energi biomassa yang keberadaannya belum dimanfaatkan secara optimal karena dianggap sebagai limbah, adalah sekam padi. Selama ini sekam padi hanya dibakar begitu saja atau dijadikan sebagai media tanam (Dewi dan Ardhitama, 2020). Potensi penggunaan sekam padi di Indonesia sangat besar karena menurut data Badan Pusat Statistika (2021) Produksi padi pada 2020 sebesar 54,65 juta ton gabah kering giling (GKG), mengalami kenaikan sebanyak 45,17 ribu ton atau 0,08 persen dibandingkan 2019 yang sebesar 54,60 juta ton GKG. Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30% dari bobot gabah. Tidak seperti sumber biomassa pertanian lainnya, sekam padi mudah dikumpulkan dan digunakan karena terakumulasi terutama di pabrik penggilingan padi (Pujotomo 2018).

Penelitian mengenai gasifikasi biomassa telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Namun asumsi dan cara memodelkan gasifier masih cukup beragam dan perlu terus dikembangkan. Diantaranya terdapat pemodelan oleh Ramzan dkk. (2011) yang memodelkan gasifikasi dengan pendekatan kesetimbangan tanpa melibatkan ter, kemudian oleh Nikoo dan Mahinpey (2008) yang memodelkan gasifikasi dengan pendekatan kinetika dan hidrodinamika tanpa melibatkan ter. Kemudian terdapat pemodelan oleh Han dkk. (2017) yang menggunakan pendekatan kesetimbangan dan memberikan pemisahan untuk karbon yang tidak terkonversi, dengan hasil syngas yang didinginkan kembali pada suhu ruang.

1.2. Tema Sentral Masalah

Sekam padi memiliki potensi yang besar untuk menjadi bahan bakar EBT di Indonesia. Pemodelan dilakukan untuk memprediksi *syngas* hasil gasifikasi sekam padi, mencari variabel-variabel yang dapat mempengaruhi gasifikasi dan pengaruhnya. Dengan dilakukannya pemodelan, kondisi operasi gasifikasi pada berbagai kondisi dapat dicari dengan bantuan komputer dan tidak perlu mengulangi percobaan secara eksperimen langsung.

1.3. Identifikasi Masalah

1. Bagaimana pengaruh *equivalence ratio* (ER) terhadap komposisi dan kualitas gas produk?
2. Bagaimana pengaruh temperatur gasifier terhadap komposisi dan kualitas gas produk?
3. Bagaimana pengaruh kukus terhadap komposisi dan kualitas gas produk?

1.4. Premis

Tabel 1.1. Premis Pengaruh Peningkatan ER

No	1	2	3	4	5
Percobaan	Pemodelan	Pemodelan	Pemodelan	Eksperimen	Pemodelan
Komposisi					
H₂	Turun	Turun	Turun	Turun	Turun
CO	Naik	Turun	Naik-Turun	Turun	Turun
CO₂	Turun	Naik	-	Naik	Naik
CH₄	Turun	Turun	Turun	Turun	Turun
Ter	Turun	-	Turun	-	-
H₂/CO	Naik	-	-	Naik	Naik
LHV	Turun	-	Turun	Turun	Turun
CGE	-	Turun	-	Turun	
Peneliti (Tahun)	Rahman dkk. (2020)	Ramzan dkk. (2011)	Smith dkk. (2019)	Park dkk. (2021)	Han dkk. (2017)

Tabel 1.2. Premis Pengaruh Peningkatan Temperatur Gasifier

No	1	2	3	4	5
Percobaan	Eksperimen	Pemodelan	Eksperimen	Pemodelan	Pemodelan
Komposisi					
H₂	Naik	Naik	Naik	Naik	Naik, turun
CO	Turun	Naik	Naik	Naik	Naik
CO₂	Turun	-	Turun	Turun	Turun
CH₄	Turun	-	Turun	Turun	Turun
Ter	-	Turun	-	Turun	-
H₂/CO	-	Turun	-	-	Turun
LHV	-	Naik	-	-	Naik
CGE	-	-	-	-	-
Peneliti (Tahun)	Olufemi (2017)	Smith dkk. (2019)	Zhai dkk. (2015)	Kaushal dan Tyagi (2017)	Han dkk. (2017)

Tabel 1.3. Premis Pengaruh Peningkatan *Steam-to-Biomass Ratio*

No	1	2	3	4	5
Percobaan	Pemodelan	Pemodelan	Pemodelan	Pemodelan	Eksperimen
Komposisi					
H₂	Naik	Naik	Naik	Naik	Naik
CO	Turun	Turun	Turun	Turun	Turun
CO₂	Naik	Naik	Naik	-	Naik
CH₄	Naik sedikit	Turun	Turun sedikit	Kecil	Turun
Ter	Turun	Naik	Turun	-	-
H₂/CO	Naik	Naik	Naik	-	-
LHV	-	-	-	Turun	-
CGE	-	-	-	-	-
Peneliti (Tahun)	Kaushal dan Tyagi (2017)	Nikoo dan Mahinpey (2008)	Puig-Gamero dkk. (2018)	Ramzan dkk. (2011)	Zhai dkk. (2015)

Tabel 1.4. Premis Pemodelan Gasifikasi dengan *Aspen Plus*

No	Tipe Gasifier	Agen Gasifikasi	Model	Struktur Model	Peneliti
1	<i>Fixed Bed</i>	Udara	Kesetimbangan	<i>Drying</i> – dekomposisi – gasifier – separator	Ramzan dkk. (2011)
2	<i>Downdraft</i>	Udara	Kesetimbangan	<i>Drying</i> – dekomposisi – separator (fraksi karbon tidak bereaksi dipisahkan) – gasifier – mixer (hasil gasifikasi + karbon dipisahkan) – <i>cyclone</i> – pendingin – separator (gas terkondensasi dan gas)	Han dkk. (2017)
3	<i>Fluidized</i>	Udara dan kukus	Kinetik dan hidrodinamik	Dekomposisi – pemisahan padatan dan zat volatil – reaksi zat volatil – pencampuran (hasil reaksi + padatan dipisahkan + udara + kukus) – gasifikasi (2 RCSTR) – <i>cyclone</i>	Nikoo dan Mahinpey (2008)
4	<i>Dual Fluidized Bed</i>	Kukus	Kesetimbangan	Dekomposisi – pemisahan (sebagian arang dipisahkan lalu dibakar untuk menyediakan panas gasifikasi) – reaksi zat volatil – separator (H_2S , NH_3 dipisahkan) – gasifier – perengkahan ter dengan katalis dolomit (RSTOIC) – mixer (H_2S , NH_3 dan hasil reaksi) – separator (padat dan gas)	Puig-Gamero dkk. (2018)
5	<i>Downdraft</i>	Udara	Kinetik	<i>Drying</i> – dekomposisi – pemisahan padatan dan zat volatil – reaksi zat volatil – mixer (uap air dari pengeringan + arang + hasil pirolisis + udara) – gasifier (RCSTR + RPLUG) – pembakaran (RSTOIC)	Smith dkk. (2019)

Tabel 1.5. Premis Pemodelan Gasifikasi dengan *Aspen Plus* (lanjutan)

No	Tipe Gasifier	Agen Gasifikasi	Model	Struktur Model	Peneliti
6	<i>Fluidized</i>	Udara bertekanan	Kesetimbangan	<i>Drying</i> – dekomposisi – distribusi gas (RSTOIC) – gasifikasi (RGIBBS + udara + katalis CaCO_3) – <i>cyclone</i> – 2 tahap pembakaran syngas (RPLUG)	Kam dkk. (2009)
7	<i>Fluidized</i>	Udara	Kinetik dan hidrodinamik	<i>Drying</i> – dekomposisi – <i>cyclone</i> – reaksi zat volatil – gasifikasi (padatan + hasil reaksi + uap air dari pengeringan + udara direaksikan dalam 2 RCSTR)	Kaushal dan Tyagi (2017)

Tabel 1.6. Premis Properti Fisik dalam Simulasi

No	Metode Properti	Peneliti
1	Peng-Robinson dengan fungsi alfa Boston-Mathias (PR-BM)	(Ramzan dkk., 2011)
2	IDEAL (gas ideal dan hukum Raoult)	(Han dkk., 2017)
3	Peng-Robinson dengan fungsi alfa Boston-Mathias (PR-BM)	(Puig-Gamero dkk., 2018)
4	Redlich-Kwong-Soave (RKS) dengan fungsi alfa Boston-Mathias (RKS-BM)	(Kam dkk., 2009)

1.5. Hipotesis

1. Semakin tinggi ER, semakin tinggi H_2/CO sedangkan kualitas gas (LHV) dan ter berkurang.
2. Semakin tinggi temperatur, semakin rendah H_2/CO dan kualitas gas (LHV) bertambah dan ter berkurang.
3. Semakin besar rasio S/B (semakin besar laju kukus), semakin tinggi H_2/CO dan kualitas gas (LHV) berkurang dan ter bertambah.

1.6. Tujuan

1. Mempelajari pengaruh ER terhadap komposisi dan kualitas gas produk.
2. Mempelajari pengaruh temperatur gasifier terhadap komposisi dan kualitas gas produk.
3. Mempelajari pengaruh kukus terhadap komposisi dan kualitas gas produk.

1.7. Manfaat

1. Bagi Pemerintah

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk mengupayakan penggunaan sekam padi sebagai alternatif pembangkit listrik berbahan bakar biomassa dengan gasifikasi.

2. Bagi industri penggiling padi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan penggunaan gasifikasi sekam padi sebagai metode pembuangan limbah sekam padi, juga sebagai sumber listrik industri.

3. Bagi dunia pendidikan

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan untuk perkembangan teknologi gasifikasi biomassa khususnya sekam padi.