PENGARUH LAJU ALIR UDARA DAN KADAR AIR BIOMASSA TERHADAP PROSES GASIFIKASI MENGGUNAKAN DOWNDRAFT GASIFIER

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin

Oleh

Budi Hartono

NIM. 5212414028

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Budi Hartono
NIM : 5212414028
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Laju Alir Udara dan Kadar Air Biomassa Terhadap Proses Gasifikasi Menggunakan *Downdraft Gasifier*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 8/4/2019
Pembimbing I,

Samsudin Anis S.T., M.T., P.hD.
NIP. 197601012003121002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Pengaruh Laju Alir Udara dan Kadar Air Biomassa Terhadap Proses Gasifikasi Menggunakan *Downdraft Gasifier* telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada hari Kamis 25 April 2019

Oleh

Nama : Budi Hartono
NIM : 5212414028
Program Studi : Teknik Mesin

Panitia:

Ketua Panitia

Rusiyanto S.Pd., M.T
NIP. 197403211999031002

Sekretaris

Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T.,M.T.
NIP. 197509272006041002

Penguji I

Danang Dwi Saputro, S.T., M.T.
NIP. 197811052005011001

Penguji II

Dr. M. Burhan Rubai Wijaya
NIP. 196302131988031001

Pembimbing I

Samsudin Anis S.T., M.T., P.hD.
NIP. 197601012003121002

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik UNNES

Nur Qudus M.T
NIP 19[illegible]91301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 10 Mei 2019
Yang membuat pernyataan

Budi Hartono
NIM. 5212414028

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

1. Tiadanya keyakinanlah yang membuat orang takut menghadapi tantangan; dan saya percaya pada diri saya sendiri. – Muhammad Ali
2. Hal yang paling penting adalah menikmati hidupmu, menjadi bahagia, apapun yang terjadi. - Audrey Hepburn.
3. Kenyataannya, ada tidak tahu apa yang akan terjadi besok. Hidup adalah pengendaraan yang gila dan tidak ada yang menjaminnya. – Eminem.
4. Hidup yang baik adalah hidup yang diinspirasi oleh cinta dan dipandu oleh ilmu pengetahuan. - Bertrand Russell.
5. Aku tidak peduli dengan ijazah, yang aku inginkan adalah pengetahuan. Soichiro Honda.
6. Orang – orang yang berhenti belajar akan mejadi pemilik masa lalu. Orang – orang yang masih terus belajar, akan menjadi pemilik masa depan. Mario Teguh.

Persembahan

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT
2. Orang tua tercinta
3. Almamater UNNES yang selalu saya banggakan
4. Dosen pembimbing skripsi
5. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin S1 angkatan 2014

SARI

Budi Hartono. 2019."Pengaruh Laju Alir Udara dan Kadar Air Biomassa Terhadap Proses Gasifikasi Menggunakan *Downdraft Gasifier*". Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Samsudin Anis S.T., M.T., P.hD.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju alir udara dan kadar air limbah kayu sengon pada proses gasifikasi.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Bahan baku yang digunakan adalah limbah kayu sengon. Untuk mengetahui kadar air kayu sengon dilakukan pengujian dengan metode ASTM D 4442-07. Kadar air yang dihasilkan setelah melakukan pengujian yaitu 12%, 21% dan 30%. Kemudian mengatur laju alir udara menggunakan anemometer dengan variasi 2,5 m/s dan 3 m/s. Biomassa selanjutkan di variasikan laju alir udara dan kadar air biomassa untuk mengetahui temperature, karakteristik nyala api dan residu pada proses gasifikasi dengan *downdraft gasifier*. Bahan baku yang digunakan setiap variasi seberat 10 kg dan diproses selama 90 menit. Analisis data penelitian menggunakan analisis deskriptif yaitu dengan menggambarkan secara grafis.

Hasil penelitian diperoleh laju alir udara sangat mempengaruhi temperatur yang dihasilkan pada tungku gasifikasi. Dengan meningkatnya laju alir udara temperatur akan semakin meningkat. Kadar air biomassa juga mempengaruhi temperature. Pada zona reduksi dengan laju alir udara 3 m/s dan kadar air biomassa 12% menunjukkan temperatur tertinggi yaitu 1080 ºC. Laju alir udara dan kadar air biomassa juga mempengaruhi karakteristik api. Pada laju alir udara 3 m/s dengan kadar air biomassa 12% menghasilkan kualitas nyala api yang stabil dengan warna api merah kebiruan selama 72 menit. Sedangkan persentase solid residu dipengaruhi oleh laju alir udara dan kadar air biomassa. Persentase solid residu paling baik yaitu laju alir udara 3 m/s dengan kadar air biomassa 12% yang menghasilkan persentase solid residu paling sedikit yaitu 9,3%.

Kata kunci: Laju alir udara, kadar air biomassa, downdraft gasifier, kayu sengon

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul ”Pengaruh Laju Alir Udara dan Kadar Air Biomassa Terhadap Proses Gasifikasi Menggunakan *Downdraft Gasifier* ” sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Universitas Negeri Semarang. Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rakhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
3. Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
4. Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D., pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan saran kepada penulis.
5. Danang Dwi Saputro, S.T., M.T.**,** penguji yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan saran kepada penulis.
6. Dr. M. Burhan Rubai Wijaya., penguji yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan saran kepada penulis
7. Keluarga yang selalu mendo’akan serta memberikan dukungan dan motivasi.
8. Teman-teman Program Studi Teknik Mesin angkatan 2014 yang telah memberikan motivasi dan saran kepada penulis.

9. Teman-teman seperjuangan atas kebersamaan dan semua motivasi yang tercurah kepada penulis.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun terhadap skripsi ini.

Semarang, 10 Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL i
PERSETUJUAN PEMBIMBING ii
PENGESAHAN iii
PERNYATAAN KEASLIAN iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN v
SARI vi
PRAKATA vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG xii
DAFTAR TABEL xix
DAFTAR GAMBAR xv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Identifikasi Masalah 4
1.3 Pembatasan Masalah 5
1.4 Rumusan Masalah 5
1.5 Tujuan Penelitian 5
1.6 Manfaat Penelitian 6
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 7
2.1 Kajian Pustaka 7
2.2 Landasan Teori 9
2.2.1 Biomassa 9
2.2.2 Kayu Sengon 12
2.2.3 Gasifikasi 13
2.2.4 Tipe Reaktor Gasifikasi 14
2.2.5 Tahapan Proses Gasifikasi 16
2.2.6 Parameter Gasifikasi 20
2.2.7 Karakteristik Nyala Api 23
2.2.8 Parameter Pengujian Gasifikasi 27

BAB III METODE PENELITIAN 31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 31
3.1.1 Waktu Penelitian 31
3.1.2 Tempat Penelitian 31
3.2 Desain Penelitian 31
3.2.1 Diagram Alir Panelitian. 32
3.2.2 Skema Alat Penelitian 34
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 34
3.3.1 Alat Penelitian 34
3.3.2 Bahan Penelitian 42
3.4 Parameter Penelitian 42
3.5 Teknik Pengumpulan Data 43
3.5.1 Prosedur Penelitian 43
3.5.2 Data Penelitian 47
3.6 Kalibrasi Instrumen. 50
3.7 Teknik Analisis Data 50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 52
4.1 Deskripsi Data 52
4.1.1 Data Temperatur Reaktor Gasifikasi 53
4.1.2 Data Karakteristik Nyala Api Proses Gasifikasi 58
4.1.3 Data Persentase Solid Residu 61
4.2 Analisis Data dan Pembahasan 63
4.2.1 Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Temperatur Reaktor Gasifikasi 63
4.2.2 Pengaruh Kadar Air Biomassa Terhadap Temperatur Reaktor Gasifikasi 72
4.2.3 Pengaruh Laju Alir Udara dan Kadar Air Biomassa Terhadap Karakteristik Nyala Api. 80
4.2.4 Pengaruh Laju Alir Udara dan Kadar Air Biomassa Terhadap Persentase Solid Residu. 83

BAB V PENUTUP 85
5.1 Kesimpulan 85
5.2 Saran 86
DAFTAR PUSTAKA 87
LAMPIRAN

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

%	: Persen
H	: Hidrogen
CO	: Karbonmonoksida
CH_4	: Metana
N	: Nitrogen
W	: Watt
°C	: Derajat celcius
C	: Karbon
cm^3	: Centimeter kubik
kg	: Kilogram
m/s	: Meter per sekon
g/ Nm^3	: Gram per newton meter kubik
lpm	: Liter per menit
kg/ jam	: kilogram per jam
g	: Gram
H_2O	: Hidrogen
ER	: *Equivalence ratio*
T	: Waktu
FCR	: *Fuel comsumtion rate* (kg/jam)
ρ	: massa jenis bahan bakar (kg/m^3)
HVr	: *Heating value of fuel*
Qn	: *Heat energi needed* (kcal/hr)
εg	: Efisiensi gasifier
kcal	: Kilo kalori
GFR	: *Gas Fuel Ratio*
SGR	: *Specific Gasification Rate*
cm	: centimeter
s	: Sekon
AFR	: *Air Flow Rate* (m^3/jam)

FCR	: Tingkat konsumsi bahan bakar (kg/jam)
ρa	: Massa jenis udara (1,25 kg/m^3)
ε	: *Equivalence ratio* (0,2-0,4)
SA	: Udara stoikiometri dari bahan bakar

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan kimia kayu sengon 12
Tabel 2.2 Hasil uji proksimat kayu sengon 13
Tabel 2.3 Keuntungan dan kerugian *gasifier*. 16
Tabel 3.1 Temperatur reaktor gasifikasi untuk kadar air 12%, 21% dan 30% dengan laju alir udara 2,5 m/s 47
Tabel 3.2 Temperatur reaktor gasifikasi untuk kadar air 12%, 21% dan 30% Dengan laju alir udara 48
Tabel 3.3 Karakteristik nyala api proses gasifikasi dengan laju alir udara 2,5 m/s 49
Tabel 3.4 Karakteristik nyala api proses gasifikasi dengan laju alir udara 3 m/s 49
Tabel 3.5 Persentase solid residu dengan laju alir udara 2,5 m/s..... 49
Tabel 3.6 Persentase solid residu dengan laju alir udara 3 m/s..... 49
Tabel 4.1 Data temperatur reaktor gasifikasi untuk kadar air 12%, 21% dan 30% dengan laju alir udara 2,5 m/s..…….....53
Tabel 4.2 Data temperatur reaktor gasifikasi untuk kadar air 12%, 21% dan 30% dengan laju alir udara 3 m/s…….....56
Tabel 4.3 Data karakteristik nyala api untuk kadar air biomassa 12%, 21% dan 30% dengan laju alir udara 2,5 m/s..…….....58
Tabel 4.4 Data karakteristik nyala api untuk kadar air biomassa 12%, 21% dan 30% dengan laju alir udara 3 m/s…….....58
Tabel 4.5 Data persentase solid residu untuk kadar air biomassa 12%, 21% dan 30% dengan laju alir udara 2,5 m/s..…….....62
Tabel 4.6 Data persentase solid residu untuk kadar air biomassa 12%, 21% dan 30% dengan laju alir udara 3 m/s…….....62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Reaktor gasifikasi tipe *updraft* 14
Gambar 2.2 Reaktor gasifikasi tipe *downdraft* 15
Gambar 2.3 Reaktor gasifikasi tipe *crossdraft*.....16
Gambar 2.4 Proses Gasifikasi 17
Gambar 2.5 Efektivitas *equivalence ratio*.....22
Gambar 2.6 Api merah.....26
Gambar 2.7 Api biru 26
Gambar 2.8 Api putih.....27
Gambar 2.9 Api hitam.....27
Gambar 3.1 Diagram alir pelaksanaan penelitian 33
Gambar 3.2 Skema alat penelitian 34
Gambar 3.3 Tungku Gasifikasi 35
Gambar 3.4 *Thermocouple*.....36
Gambar 3.5 *Thermometer* 36
Gambar 3.6 Blower keong 37
Gambar 3.7 Anemometer.....37
Gambar 3.8 Timbangan mekanik.....38
Gambar 3.9 Korek api.....38
Gambar 3.10 *Valve* 2 inch.....38
Gambar 3.11 Keni 2 inch 39
Gambar 3.12 *Stopwatch* 39
Gambar 3.13 Pipa besi 2 inch 40
Gambar 3.14 Pipa plastik 2 inch 40
Gambar 3.15 Klingrit 40
Gambar 3.16 Gergaji besi 41
Gambar 3.17 Oven 41
Gambar 3.18 Bahan baku.....42
Gambar 4.1 Foto api untuk laju alir udara 2,5 m/s dan kadar air 12% 59
Gambar 4.2 Foto api untuk laju alir udara 2,5 m/s dan kadar air 21%. 60

Gambar 4.3 Foto api untuk laju alir udara 2,5 m/s dan kadar air 30% 60
Gambar 4.4 Foto api untuk laju alir udara 3 m/s dan kadar air 12%. 60
Gambar 4.5 Foto api untuk laju alir udara 3 m/s dan kadar air 21%. 61
Gambar 4.6 Foto api untuk laju alir udara 3 m/s dan kadar air 30%. 61
Gambar 4.7.a Pengaruh laju alir udara untuk kadar air 12% terhadap temperatur zona 1.....63
Gambar 4.7.b Pengaruh laju alir udara untuk kadar air 21% terhadap temperatur zona 1.....64
Gambar 4.7.c Pengaruh laju alir udara untuk kadar air 30% terhadap temperatur zona 1.....64
Gambar 4.8.a Pengaruh laju alir udara untuk kadar air 12% terhadap temperatur zona 2.....66
Gambar 4.8.b Pengaruh laju alir udara untuk kadar air 21% terhadap temperatur zona 2.....66
Gambar 4.8.c Pengaruh laju alir udara untuk kadar air 30% terhadap temperatur zona 2.....67
Gambar 4.9.a Pengaruh laju alir udara untuk kadar air 12% terhadap temperatur zona 3.....68
Gambar 4.9.b Pengaruh laju alir udara untuk kadar air 21% terhadap temperatur zona 3.....68
Gambar 4.9.c Pengaruh laju alir udara untuk kadar air 30% terhadap temperatur zona 3.....69
Gambar 4.10.a Pengaruh laju alir udara untuk kadar air 12% terhadap temperatur zona 4.....70
Gambar 4.10.b Pengaruh laju alir udara untuk kadar air 21% terhadap temperatur zona 4.....71
Gambar 4.10.c Pengaruh laju alir udara untuk kadar air 30% terhadap temperatur zona 4.....71
Gambar 4.11.a Pengaruh kadar air untuk laju alir udara 2,5 m/s terhadap temperatur zona 1.....73
Gambar 4.11.b Pengaruh kadar air untuk laju alir udara 3 m/s terhadap

temperatur zona 1.....73
Gambar 4.12.a Pengaruh kadar air untuk laju alir udara 2,5 m/s terhadap temperatur zona 2.....75
Gambar 4.12.b Pengaruh kadar air untuk laju alir udara 3 m/s terhadap temperatur zona 2.....75
Gambar 4.13.a Pengaruh kadar air untuk laju alir udara 2,5 m/s terhadap temperatur zona 3.....77
Gambar 4.13.b Pengaruh kadar air untuk laju alir udara 3 m/s terhadap temperatur zona 3.....77
Gambar 4.14.a Pengaruh kadar air untuk laju alir udara 2,5 m/s terhadap temperatur zona 4.....79
Gambar 4.14.b Pengaruh kadar air untuk laju alir udara 3 m/s terhadap temperatur zona 4.....79
Gambar 4.15 Grafik perbandingan lama nyala api dengan variasi laju air udara dan kadar air biomassa. 82
Gambar 4.16 Grafik perbandingan persentase solid residu dengan variasi laju alir udara dan kadar air biomassa.....83

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan berjalannya waktu, kebutuhan energi akan semakin meningkat. Total produksi energi primer (batubara, gas bumi, minyak bumi dan EBT) Indonesia tahun 2015 adalah 2.848.025 ribu SBM dan sekitar 1.887.366 ribu SDM diekspor ke luar negeri. Ekspor energi Indonesia pada tahun 2015 mencapai 66% dari produksi total energi atau lebih dari setengah dan impor mencapai 27% dari penyediaan energi primer total (Dewan energi nasional, 2016).

Cadangan minyak di Indonesia untuk saat ini hanya 3,7 milyar barel atau sebesar 0,3% dari cadangan minyak dunia. Di Indonesia perharinya membutuhkan 1,2 juta barel, namun hanya mampu memproduksi 830.000 barel per hari. Minyak bumi salah satu bentuk sumber daya alarm yang tidak dapat diperbarui *(nonrenewable)* mengalami jumlah permintaan dan kebutuhan minyak yang terus meningkat. Hal ini mengakibatkan ketidakstabilan harga minyak dan berimbas pada fluktuasi harga bahan bakar di Indonesia sehingga kini mulai menghapus subsidi minyak dengan tujuan mengurangi beban negara (Subroto, 2017: 25).

Pemerintah didorong untuk menjadikan energi baru dan terbarukan sebagai prioritas utama dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi mengingat potensi energi fosil terutama minyak dan gas bumi semakin berkurang. Energi baru dan terbarukan dapat dimanfaatkan dalam berbagai keperluan rumah tangga, komersial dan industri yang dalam penggunaanya mengurangi konsumsi energi

fosil. Energi baru dan terbarukan memiliki potensi yang sangat besar dalam penyediaan energi nasional di masa mendatang (Dewan energy nasional, 2016).

Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang terdiri dari karbon, hidrogen, oksigen, jejak nitrogen dan beberapa mineral. Pemanfaatan biomassa memiliki keunggulan dibandingkan sumber-sumber terbarukan lainnya seperti energi matahari, energi angin dan tenaga air karena ketergantungannya yang rendah pada lokasi dan iklim karena beragam biomassa dapat tumbuh dalam kondisi yang beragam. Selain itu, biomassa dapat dengan mudah disimpan dan diangkut walaupun dengan kepadatan energi lebih rendah dari bahan bakar fosil (Sikarwar *et al,* 2017: 191). Namun dalam pemanfaatannya masih kurang efisien disebabkan dari beberapa hal meliputi kandungan kadar air yang tinggi, berat jenis rendah, kadar abu yang tinggi, dan nilai kalor rendah. Masih kurangnya efisiensi dalam pemanfaatan biomassa, maka biomassa perlu diproses lagi agar menghasilkan bahan bakan yang lebih efisien.

Ketersediaan biomassa di Indonesia sangat melimpah. Salah satu biomassa yang banyak ditemukan adalah limbah kayu sengon. Kayu sengon biasanya dimanfaatkan untuk keperluan industri pabrik pengolahan kayu, seperti pembuatan peti, pengecoran semen dalam konstruksi dan industri korek api. Pemilihan biomassa menggunakan kayu sengon dikarenakan kadar air rendah dibandingkan kayu mahoni yang dilakukan pengujian oleh (Mufid, 2018) di lab. Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro. Kadar air kayu sengon 9,97% sedangkan kadar air kayu mahoni 11,8%. Limbah kayu sengon disini akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar dalam proses gasifikasi.

Gasifikasi biomassa adalah proses termo-kimia untuk konversi bahan bakar padat menjadi gas yang mudah terbakar (Kirsanovs *et al*, 2017: 332). Campuran yang terkandung dari hasil gasifikasi adalah Hidrogen (H), carbon monoksida (CO), dan Metana (CH_4). Menurut arah aliran gasifikasi dibedakan menjadi tiga, yaitu : gasifikasi tipe *downdraft*, *updraft*, dan *crossdraft*. Pada penelitian ini, akan menggunakan gasifikasi tipe *downdraft* yang memiliki arah aliran udara ke bawah menuju zona gasifikasi yang panas. Gasifikasi tipe *downdraft* memiliki keuntungan yaitu gas yang dihasilkan lebih bersih karena tar pada asap akan terbakar dan dapat dioperasikan secara berkelanjutan karena bahan bakar dapat dimasukkan melalui bagian atas reaktor (Subroto, 2017: 25).

Menurut Ilminnafik dan Frenico (2016) melakukan penelitian karakteristik api syngas *downdraft gasifier* dengan bahan bakar sekam padi. Penelitian menggunakan *air fuel ratio* (AFR) sebesar 1,08, 1,35, 1,62 dan 1,90 untuk mengetahui temperatur dan nyala api. Hasil penelitian menghasilkan gasifikasi optimal pada suplai udara 1,0 m/s ditunjukkan dengan semakin cepat mencapai warna biru 100% dan temperatur api tertinggi mencapai 675 ºC.

Penelitian variasi laju alir udara pada gasifikasi juga pernah dilakukan oleh Setiawan, *et al* (2014) melakukan pengujian gasifikasi batu bara dengan menggunakan tungku gasifikasi tipe *updraft* dengan judul Studi Gasifikasi Batu Bara Lignite Dengan Variasi Kecepatan Udara Untuk Keperluan Karbonisasi. Penelitian ini memvariasi kecepatan udara yaitu 2,0 m/s, 4,0 m/s dan 6,0 m/s. Hasil penelitian dengan variasi kecepatan udara 2,0 m/s memiliki temperatur 232 ºC,

kecepatan udara 4,0 m/s memiliki temperatur 294 ºC dan kecepatan udara 6,0 m/s memiliki temperatur 396 ºC.

Choopra dan Jain (2007) melakukan penelitian tentang *updraft gasifier* dan *downdraft gasifier*. Penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil bahwa *updraft gasifier* lebih cocok untuk bahan bakar yang mengandung abu tinggi mencapai 15%, kadar air hingga 50% dan menghasilkan gas yang memiliki konten tar yang tinggi yaitu 50-100 g/ Nm^3 dengan suhu 830 ºC. Sedangkan pada tipe *downdraft gasifier* lebih cocok untuk bahan bakar biomassa yang memiliki kadar air kurang dari 20%, abu bakar kurang dari 5% dan menghasilkan gas dengan konten tar rendah (1-2 g/ Nm^3).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju alir udara dan kadar air biomassa terhadap proses gasifikasi yaitu temperatur di dalam reaktor, karakteristik nyala api, dan persentase residu. Dalam penelitian diharapkan memperoleh data untuk mengetahui laju alir udara dan kadar air biomassa yang baik terhadap konsumsi bahan bakar pada proses gasifikasi.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian di atas, identifikasi masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kebutuhan minyak di Indonesia semakin meningkat dan tidak dibarengi dengan produksi minyak.
2. Pemanfaatan limbah kayu sengon yang sudah tidak digunakan lagi.

3. Pada penelitian sebelumnya banyak menggunakan biomassa untuk bahan bakar gasifikasi dengan variasi kecepatan laju alir udara (AFR).
4. Belum diketahuinya seberapa besar pengaruh kadar air biomassa kayu terhadap proses gasifikasi.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bahan bakar yang digunakan adalah kayu sengon.
2. Tungku pembakaran menggunakan *downdraft gasifier.*
3. Parameter yang akan diteliti yaitu temperatur, kualitas nyala api dan residu.
4. Variasi laju aliran udara.
5. Variasi kadar air biomassa.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh laju aliran udara terhadap temperatur, karakteristik nyala api dan persentase residu pada tungku gasifikasi?
2. Bagaimana pengaruh kadar air biomassa terhadap temperatur, karakteristik nyala api dan persentase residu pada tungku gasifikasi?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh laju aliran udara terhadap temperatur, karakteristik nyala api dan persentase residu pada *downdraft gasifier*.
2. Untuk mengetahui pengaruh kadar air biomassa terhadap temperatur, karakteristik nyala api dan persentase residu pada *downdraft gasifier*.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai pengembangan teknologi gasifikasi biomassa yang ramah lingkungan.
2. Pemanfaatan biomassa sebagai sumber bahan bakar.
3. Setelah mengetahui adanya pengaruh laju alir udara dan kadar air biomassa terhadap temperatur, karakteristik nyala api dan persentase residu yang lebih efektif dan optimal dalam proses gasifikasi menggunakan limbah kayu sengon.
4. Setelah dilakukan penelitian, dapat mengetahui laju aliran udara paling baik terhadap terhadap konsumsi bahan bakar.
5. Setelah melakukan penelitian, dapat mengetahui kadar air pada biomassa paling baik terhadap konsumsi bahan bakar.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian variasi laju aliran udara pada gasifikasi sebelumnya dilakukan oleh Saputra, *et al* (2016), yaitu pengaruh kecepatan udara terhadap kinerja tungku gasifikasi sekam padi tipe *downdraft* kontinu. Penelitian ini memvariasi kecepatan udara yang masuk ke dalam tungku dengan variasi kecepatan 6,0 m/s, 7,0 m/s dan 8,0 m/s. Hasil pengujian menyatakan bahwa variasi udara berpengaruh terhadap temperatur pembakaran bahwa pada kecepatan udara 6,0 m/s temperatur tertingi sebesar 500,47 ºC, kecepatan udara 7,0 m/s temperatur tertinggi sebesar 559,52 ºC dan kecepatan udara 8,0 m/s memiliki temperatur tertinggi sebesar 595,32 ºC.

Penelitian gasifikasi dengan variasi laju alir udara pembakaran juga pernah dilakukan oleh Vidian (2008) melakukan pengujian pemanfaatan tempurung kelapa baru sebatas untuk menghasilkan arang aktif yang dapat dijual dan menggunakan *updraft gasifier*. Laju alir udara yang digunakan dalam penelitian yaitu 70,2 lpm, 91,4 lpm dan 122,4 lpm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa laju alir alir udara berpengaruh terhadap suhu dalam reaktor, komposisi gas, efisiensi gasifikasi dan temperatur nyala gas pembakaran yang dihasilkan. Pada penelitian ini menghasilkan gas mampu bakar (CO_2,CH_4 dan H_2) secara kontinyu selama kurang lebih 3 jam operasi.

Handoyo, *et al* (2013), melakukan pengujian menggunakan tungku gasifikasi dengan kapasitas 1,2 kg. Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan udara terhadap temperatur pembakaran, nyala efektif dan efisiensi tungku thermal tungku. Pada penelitian yang dilakukan memvariasi kecepatan udara yaitu 3,5 m/s, 4 m/s dan 4,5 m/s. Hasil penelitian menunjukan variasi kecepatan udara sangat berpengaruh terhadap temperatur pembakaran, nyala efektif dan efisiensi thermal yang dihasilkan. Kecepatan udara 3,5 m/s temperatur tertinggi sebesar 526,33 ºC, nyala efektif selama 33 menit dan efisiensi thermal tungku sebesar 17,55 %. Kecepatan udara 4 m/s temperatur pembakaran tertinggi sebesar 568,78 ºC, nyala efektif selama 30 menit dan efisiensi thermal tungku sebesar 17,33 %. Kecepatan udara 4,5 m/s temperatur pembakaran tertinggi sebesar 570,22 ºC, nyala efektif selama 27 menit dan efisiensi thermal tungku sebesar 15,97%.

Suhendi, *et al* (2016) melakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh AFR dan kadar air terhadap kualitas produk *syngas* dengan gasifikasi tipe *downdraft gasifier*. Bahan bakar yang digunakan yaitu bonggol jagung yang sudah dikeringkan terlebih dahulu sehingga mendapatkan kadar air yang diinginkan. Variasi menggunakan AFR 1,087, 1,048, dan 0,931 serta kadar air 9% dan 10,70%. Dalam penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa pengujian gasifikasi *downdraft* dengan nilai AFR 1,048 dan kadar air 9% menghasilkan kualitas *syngas* paling baik dengan konsentrasi CH_4 2,020 vol%, H_2 4,033 vol% dan CO 9,813 vol%.

Menurut Saravanakumar, *et al* (2007) melakukan penelitian gasifikasi biomassa bahan bakar kayu menggunakan *updraft gasifier*. Dalam penelitian menggunakan laju alir udara antara 9 kg/ jam sampai 10 kg/ jam dan mengahasilkan stabilitas *producer gas* selama 5 jam operasi dan efisiensi yang dihasilkan mencapai 73% dengan temperatur api rata-rata 750℃.

Khoiriyah (2015) juga melakukan penelitian dengan judul Karakteristik Api *Syngas* pada Gasifikasi Sistem *Downdraft* dengan Oksigen Sebagai *Gasyfying Agent* Berbahan Baku Biomassa. Penelitian ini dengan memvariasi laju alir suplai oksigen yaitu 5,34 kg/jam, 6,54 kg/jam, 8,04 kg/jam, dan 9,24 kg/jam. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa suplai oksigen dengan kecepatan 8,04 kg/jam mempunya nyala api yang baik yaitu nyala api warna biru. Hal ini dikarenakan pada suplai tersebut oksigen bereaksi dengan *syngas* dengan komposisi yang optimal.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Biomassa

Biomassa adalah bahan bakar yang dapat diperbarui dan secara umum berasal dari makhluk hidup yang didalamnya tersimpan energi. Biomassa terdiri dari karbon (C), hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) dengan senyawa kimia yang terkandung yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin (Gnanendra dan Rajas 2016:38). Menurut definisi lain biomassa merupakan keseluruhan materi yang berasal dari makhluk hidup yang meliputi bahan organik yang hidup maupun yang mati. Biomassa bersifat mudah didapatkan, ramah lingkungan, dan terbarukan. Potensi energi biomassa secara umum berasal dari limbah tujuh komoditif yang berasal dari sektor kehutanan, perkebunan, dan pertanian. Contoh biomassa antara lain adalah

tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Pada umumnya yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya (Saputra, *et al,* 2016:3).

Potensi biomassa yang bersumber dari kayu antara lain : limbah penggergajian kayu, limbah *plywood* dan limbah *logging*. Selain ketersediaannya cukup banyak di Indonesia, biomassa kayu juga cenderung tidak menyebabkan dampak negatif pada lingkungan (Handoyo, *et al* 2013). Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui sebagai alternatif pengganti energi fosil, biomassa dapat mengurangi efek rumah kaca, mengurangi limbah organik, melindungi kebersihan air dan tanah, mengurangi polusi udara, dan mengurangi adanya hujan asam dan kabut asam.

Sebelum mengenal bahan bakar fosil, manusia sudah menggunakan biomassa sebagai sumber energi, misalnya dengan menggunakan kayu untuk menyalakan api unggun. Namun penggunaan energi besar-besaran telah membuat manusia mengalami krisis energi. Hal ini disebabkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan gas alam yang sangat tinggi. Fosil merupakan sumber daya alam yang tidak terbarukan, sehingga mengatasi kritis energi masa depan perlu beberapa alternatif sumber energi dikembangkan dimana salah satunya adalah energi biomassa.

Secara umum bahan baku biomassa dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu pohon berkayu (*woody*) dan rumput rumputan (*herbaceous*) . Saat ini material berkayu diperkirakan merupakan 50% dari total potensial bioenergi sedangkan 20% lainnya adalah jerami yang diperoleh dari hasil samping pertanian. Batang kayu merupakan contoh aplikasi biomassa untuk energi yang pertama kali dikenal. Bagaimanapun juga penggunaan batangan kayu untuk tujuan energi saat ini bersaing dengan penggunaan non-energi yang mempunyai nilai lebih seperti untuk produksi *pulp*, industri furnitur, dan lain-lain sehingga menyebabkan tingginya harga bahan baku pengolahan biomassa menjadi senyawa turunan dari syinthesis gas (*Biomass to Liquid)* serta meningkatnya konsumsi terhadap pohon. Bahan baku berkayu yang dimaksud adalah bahan berkayu hasil sisa pengolahan kertas, furnitur, peralatan rumah tangga dan lain-lain.

Sebagai bahan bakar, biomassa perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar dapat lebih mudah dipergunakan yang dikenal sebagai konversi biomassa. Teknologi konversi biomassa tentu saja membutuhkan perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan menghasilkan perbedaan bahan bakar yang dihasilkan. Menurut (Khoiriyah, 2015: 6) teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu pembakaran langsung, konversi termokimia (gasifikasi) dan konversi biokimia (pirolisis). Perbedaan tersebut terletak pada banyaknya udara (oksigen) yang dikonsumsi seat proses konversi berlangsung.

2.2.2 Kayu Sengon

Kayu sengon (*Albizia falcataria* (L) Fosberg) adalah tanaman yang masa pertumbuhannya relatif sangat cepat *(fast glowing)*, masa panen yang pendek, budidaya yang relatif mudah, produktifitas tinggi, multi fungsi, dan berfungsi ganda sebagai tanaman produksi dan konservasi (Anggraeni *et al*, 2010: 274). Kayu sengon banyak ditanam di Indonesia terdapat di Jawa, Maluku, Sulawesi Selatan dan Irian Jaya. Kayu sengon pada umumnya ditebang pada umur 5 sampai 7 tahun. Kayu sengon mempunyai kerapatan kayu antara 230-500 kg/ m^3, kadar air 12-15% dan memiliki berat jenis 0,33 g/ cm^3 (Krisnawati *et al*, 2011: 4).

Pemanfaatan kayu sengon digunakan oleh masyarakat untuk bangun bangunan dan bahan baku industri pengolahan kayu dimana pada proses produksinya akan menghasilkan limbah berupa pasahan, serbuk gergaji, potongan kecil kayu dan lain-lain. Dalam proses pengolahan kayu sengon menghasilkan limbah yang banyak. Limbah yang menumpuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat pada proses gasifikasi. Berikut adalah kandungan kimia dan hasil uji proksimat yang terdapat pada kayu sengon:

Tabel 2.1 Kandungan Kimia Kayu Sengon

Komponen kimia	Kadar massa (%)
Selulosa	49,40
Lignin	26,80
Pentosan	15,60
Abu	0,6
Silika	0,2

Sumber: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan (2008: 64)

Tabel 2.2 Hasil Uji Proksimat Kayu Sengon

Sampel	Kadar air %	Kadar volantil %	Kadar Abu %	Kadar Tarbon Terikat %	Nilai Kalor (kal/gram)
1	8.525	89.111	1.861	0.503	4202,57
2	8.031	90.284	1.502	0.183	4270,90
3	7.916	90.624	1.415	0.045	4278,43
Rata-rata	8.158	90.006	1.593	0.243	4247,967

Sumber: Saputro dan Widayat (2016:25)

2.2.3 Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses perubahan dari bahan bakar padat yang dilakukan secara termokimia menjadi gas mampu bakar (CO, CH_4, dan H_2) dalam wadah *gasifier* dengan menyuplai agen gasifikasi seperti panas, udara dan lainnya. Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia yang mengubah material berkarbon menjadi gas mampu bakar (Couto *et al*, 2013: 59). Menurut definisi tersebut, bahan bakar yang digunakan pada proses gasifikasi harus memiliki nilai bakar pada temperatur yang tinggi. Bahan bakar tersebut dapat berupa batubara, maupun limbah biomassa, misalnya potongan kayu, sekam padi, tempurung kelapa, dan limbah pertanian lainnya. Hasil gasifikasi ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan sebagai sumber bahan bakar, seperti untuk memasak sebagai bahan bakar kompor, untuk menjalankan mesin pembakaran, maupun digunakan untuk pembangkit listrik sederhana.

Proses gasifikasi yang terjadi pada reaktor disebut *gasifier*. *Gasifier* adalah istilah untuk reaktor yang memproduksi gas produser dengan pembakaran yang tidak sempurna. Pada proses pembakaran yang tidak sempurna, produk yang

dihasilkan mengandung nitrogen, uap air, karbondioksida, dan oksigen yang berlebih.

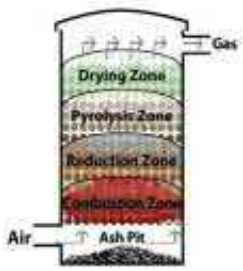
2.2.4 Tipe Reaktor Gasifikasi

Berdasarkan mode fluidisasinya, gasifier dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu: mode gasifikasi unggun tetap *(fixed bed gasification)*, mode gasifikasi unggun terfluidisasi *(fluized bed gasification)*, dan mode gasifikasi *entrained flow*. Mode *gasifier* unggun tetap sampai saat ini masih digunakan untuk gasifikasi skala kecil (Basu, 2010).

Berdasarkan arah aliran, *fixed bed gasifier* dapat dibedakan menjadi: reaktor aliran berlawanan *(updraft gasifier)*, reaktor aliran searah *(downdraft gasifier)*, dan reaktor aliran menyilang *(crossdraft gasifier).*

1. Reaktor Gasifikasi Tipe *Updraft*

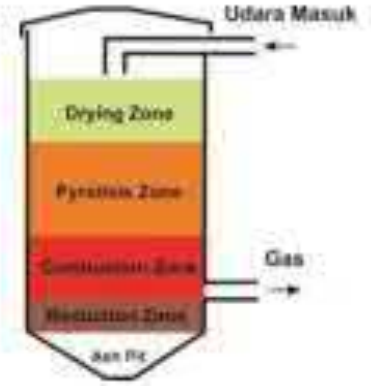
   Pada reaktor tipe *updraft*, zona pembakaran berada di bawah bahan bakar dan bergerak ke atas yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Gas panas yang dihasilkan mengalirkan ke atas melewati bahan bakar yang belum terbakar sementara bahan bakar akan jatuh ke bawah. Kekurangan dari reaktor jenis *updraft* adalah produksi asap yang berlebihan dalam operasinya.



Gambar 2.1 Reaktor Gasifikasi Tipe *Updraft*
Sumber: Subroto *et al*, 2016:15

2. Reaktor Gasifikasi Tipe *Downdraft*

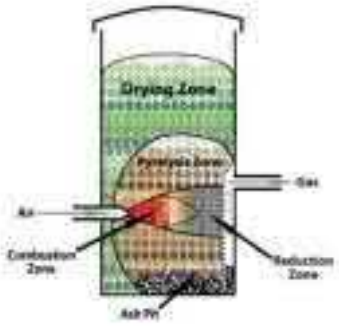
Pada gasifier tipe *downdraft* terdapat dua ruangan yaitu bagian dalam dan bagian luar. Lubang masuk laju alir udara berada dibagian tengah *gasifier* yang selanjutnya menuju ke bagian dalam *gasifier*. Karena bagian atas *gasifier* tertutup maka arah alir udara turun melewati biomassa dan keluar ke ruang bagian luar *gasifier* sudah berupa gas mampu bakar. Bagian luar *gasifier* terdepan lubang saluran keluar gas mampu bakar yang biasanya berada di atas gasifier. Hal ini membuat tar yang terkandung dalam asap terbakar, sehingga gas yang dihasilkan oleh reaktor ini bersih.



Gambar 2.2 Reaktor Gasifikasi Tipe *Downdraft*
Sumber: Subroto *et al*, 2016:15

3. Reaktor Gasifikasi Tipe *Crossdraft*

Pada reaktor tipe *Crossdraft*, aliran udara mengalir tegak lurus dengan arah gerak zona pembakaran. Reaktor ini memungkinkan operasi yang berkesinambungan apabila sistem pengeluaran abu yang baik.



Gambar 2.3 Reaktor Gasifikasi Tipe *Crossdraft*
Sumber: Subroto *et al*, 2016:16

Tabel 2.3 Keuntungan dan Kerugian dari Berbagai Gasifier

No	Jenis gasifier	Keuntungan	Kekurangan
1.	*Updraft*	- Penurunan tekanan kecil - Efisiensi termal yang baik - Sedikit kecenderungan terhadap slag pembentukan	- Sensitivitas besar terhadap tar dan kadar air bahan bakar - Kemampuan reaksi yang buruk dengan beban gas berat
2.	*Downdraft*	- Adaptasi gas yang fleksibel saat produksi - Sensitivitas rendah terhadap arang debu dan kandungan tar bahan bakar	- Desain cenderung tinggi - Tidak cocok untuk ukuran bahan bakar yang sangat kecil
3.	*Crossdraft*	- Tinggi desain relatif pendek - Waktu respon beban bahan bakar relatif cepat - Produksi gas fleksibel	- Penurunan saat tekanan yang tinggi - Sensitivitas sangat tinggi terhadap pembentukan proses gasifikasi

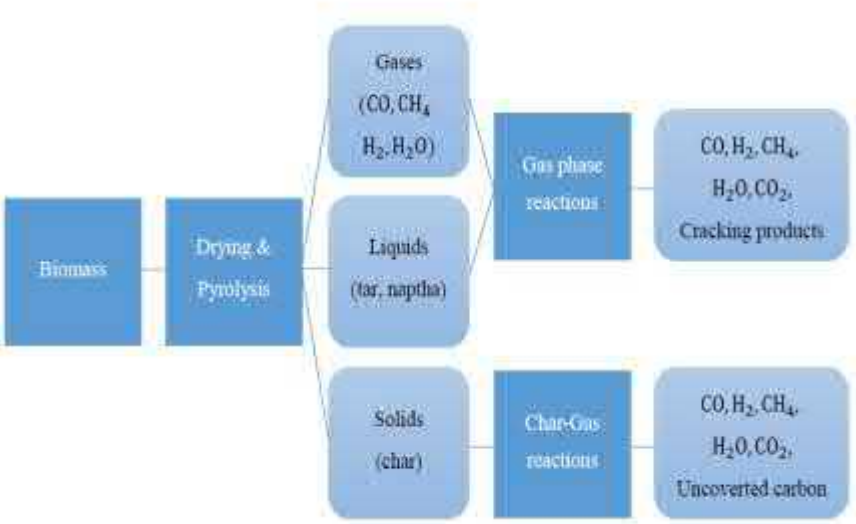
(Sumber: Rajvansi, 2014: 3)

2.2.5 Tahapan Proses Gasifikasi

Gasifikasi terdiri dari empat tahapan yaitu: pengeringan, pirolisis, oksidasi/ pembakaran dan reduksi. Keempat tahapan ini terjadi dalam proses pembakaran

yang dapat menginterupsi api dan mempertahankan gas mudah terbakar dalam bentuk gas serta mengalirkan produk gasnya ke tempat lain. Cara yang dilakukan untuk mengetahui setiap zona dari empat tahapan ini yaitu mengetahui temperatur masing-masing proses (Basu, 2010):

a. Pengeringan: 25<T> 150 ºC
b. Pirolisis: 150<T<600 ºC
c. Oksidasi/ pembakaran: 800<T<1400 ºC
d. Reduksi: 600<T<900 ºC



Gambar 2.4 Proses Gasifikasi

Proses pengeringan, pirolisis, dan reduksi bersifat menyerap panas (endotermik), sedangkan proses oksidasi bersifat melepas panas (eksotermik).

1.2.5.1 Zona Pengeringan

Pada proses pengeringan bahan bakar terjadi proses kandungan air yang ada dalam biomassa diekstrak dalam bentuk uap tanpa adanya dekomposisi kimia

dari biomassa. Pengeringan secara manual oleh sinar matahari sangat berperan penting dalam proses pengeringan di dalam reaktor oleh panas reaksi pembakaran (oksidasi). Penjemuran yang dilakukan dengan sinar matahari pada suhu diatas 32 ºC selama dua jam dapat mempercepat waktu pengeringan di dalam reaktor kurang dari 25 menit apabila dibandingkan penjemuran pada suhu 30 ºC yang mencapai 25-40 menit.

Biomasa + Panas ⟶ Biomasa Kering + Uap (2.1)

1.2.5.2 Zona Pirolisis

Setelah pengeringan dilakukan, bahan bakar akan turun dan menerima panas sebesar 250 ºC - 500 ºC dalam kondisi tanpa udara. Pirolisis dimulai dari dekomposisi hemiselulosa pada 200 ºC – 250 ºC, dekomposisi selulosa sampai 350 ºC dan pirolisi berakhir pada 500ºC. Ketika suhu mencapai 600 ºC, reaksi pirolisis hampir selesai. Oleh karena itu, pada laju pemanasan 10°C/ detik, pirolisis selesai dalam satu menit. Semakin tinggi laju pemanasan semakin mempercepat pembentukan produk yang mudah menguap, meningkatkan tekanan, waktu tinggal yang pendek dari produk yang menguap di dalam reaktor, dan hasil produk cair yang lebih tinggi dinamakan pirolisis cepat atau pirolisis kilat. Selanjutnya pengarangan berlangsung pada 350 ºC – 600 ºC, yang terjadi pada batas zona pirolisis dan oksidasi. Produk dari hasil pirolisis terbagi menjadi produk cair (tar), produk gas (H_2, CO, CO_2, H_2O, CH_4), tar dan arang. Reaksi kimia pada pirolisis yaitu :

Biomasa kering + panas ⟶ arang + tar + gas (H_2, CO, CO_2, H_2O,CH_4) (2.2)

1.2.5.3 Oksidasi/ Pembakaran

Pada zona pembakaran memiliki tujuan untuk menghasilkan panas yang memanaskan lapisan karbon dibawah. Arang yang terbentuk dari ujung zona pirolisis masuk ke oksidasi, selamjutnya dibakar pada temperatur operasi yang mencapai 800 ºC - 1400 ºC. Pada gasifier jenis *downdraft* temperatur setinggi ini, akan menghancurkan substansi tar sehingga kandungan tar menjadi lebih rendah. Temperatur yang dihasilkan akan mencapai maksimal dikarenakan distribusi oksigen yang merata pada zona oksidasi. Sekitar 20% arang beserta volatil teroksidasi dengan memanfaatkan O_2 yang terbatas, sisa 80% arang akan turun kebawah menuju bagian reduksi yang hampir semuanya akan dipakai, menyisakan abu yang jatuh ke tempat pembuangan. Reaksi kimia yang terjadi pada zona pembakaran adalah sebagai berikut:

$2C + O_2 \longrightarrow 2CO$ + Energi termal (2.3)

$2CO + O_2 \longrightarrow 2CO_2$ + Energi termal (2.4)

Tar minyak metana $\longrightarrow CO, CO_2, H_2O, CH_4$ + Energi termal (2.5)

1.2.5.4 Reduksi

Pada zona reduksi panas yang berlangsung mencapai suhu 600 ºC - 900 ºC. Pada zona ini terjadi beberapa reaksi kimia yang merupakan proses penting terbentuknya beberapa senyawa yang berguna untuk menghasilkan produk gas seperti H_2, CO_2, dan CH_4. Berikut reaksi kimia di zona reduksi:

1. *Bouard reaction*

Boundouard reaction merupakan reaksi antara karbondioksida yang terdapat di dalam gasifier dengan arang untuk menghasilkan CO.

$CO_2 + C \longrightarrow 2CO$ – Energi termal (2.6)

2. Shift conversion

Shift conversion merupakan reaksi reduksi karbonmonoksida oleh kukus untuk memproduksi hidrogen. Reaksi ini digunakan pada pembuatan gas sintetik.

$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2$ – Energi termal (2.7)

3. Water-gas reaction

Water-gas reaction merupakan reaksi oksidasi parsial karbon yang dapat berasal dari bahan bakar padat maupun dari sumber yang berbeda. Bahan bakar ini dapat berupa uap air yang dicampur dengan udara dan uap yang diproduksi dari penguapan air.

$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$ + Energi termal (2.8)

4. CO *methanation*

Methanation merupakan reaksi pembentukan gas metan.

$CO + 3H_2 \longrightarrow CH_4 + H_2O$ (2.9)

2.2.6 Parameter Gasifikasi

Parameter-parameter dalam gasifikasi seperti karakteristik biomassa, *equivalence ratio*, konsumsi bahan bakar dan temperatur dapat mempengaruhi kinerja dari gasifikasi. Berikut penjelasan dari parameter-parameter di atas (Susastriawan *et al*, 2017: 991) :

1. Karakteristik Biomassa

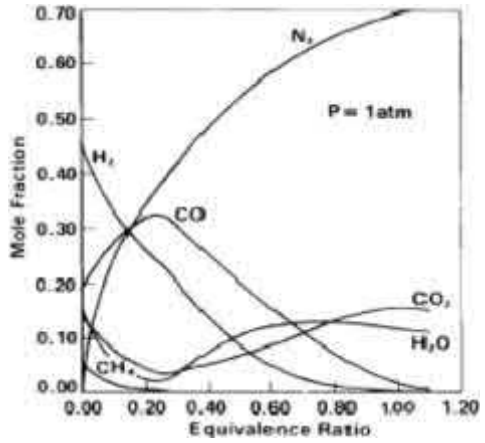
Karakteristik biomassa seperti komposisi, ukuran partikel, dan kadar air partikel dapat mempengaruhi kualitas gas dalam proses gasifikasi. Ukuran

partikel dapat mempengaruhi saat proses gasifikasi yaitu apabila ukuran partikel biomassa kecil, maka kualitas gas yang dihasilkan akan lebih baik. Hal ini dikarenakan pada saat terbakar, kayu ukuran kecil akan semakin merata dalam terbakar dan cepat terbakar semua. Ukuran partikel kecil juga memiliki kekurangan yaitu kecenderungan hilangnya tekanan reaktor sehingga porositas unggun api lebih rendah.

Kadar air biomassa juga mempengaruhi kualitas gas dalam proses gasifikasi. Kadar air merupakan banyaknya air yang terdapat dalam kayu yang dinyatakan dalam persen terhadap berat kering tanurnya. Kadar air pada biomassa yang lebih rendah lebih baik menghasilkan gas dibandingkan dengan biomassa yang mempunyai kadar air yang tinggi. Pada proses gasifikasi kadar air maksimal yaitu 20% dan apabila melebihi, maka akan terjadi ketidaksempurnaan pada proses pyrolisis dalam gasifikasi. Hal ini dimaksudkan agar proses gasifikasi dalam berjalan dengan yang diharapkan dan menghasilkan kualitas gas yang baik.

2. Equivalence Ratio

Equivalence ratio merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam proses gasifikasi. *Equivalence ratio* akan mempengaruhi kualitas dan kuantitas *syn-gas* yang dihasilkan. *Equivalence ratio* merupakan perbandingan antara udara yang digunakan dalam gasifikasi dengan nilai stokiometris udara.



Gambar 2.5 Efektivitas Equivalen Ratio
Sumber: Susastriawan *et al*, (2017: 991)

Gambar 2.5 menunjukkan bahwa *equivalence ratio* dapat mempengaruhi terhadap fraksi mol dari gas yang dihasilkan pada proses gasifikasi. Nilai *equivalence ratio* yang paling ideal untuk digunakan dalam gasifikasi yaitu 0,2 sampai 0,4. *Equivalence ratio* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{ER} = \frac{(\text{flow rate of air supplay}) \times (\text{duration of time run})}{(\text{mass input of biomass}) \times (\text{A/F for } \emptyset = 1)} \qquad (2.10)$$

Untuk nilai dari $\text{A/F for } \emptyset = 1$ adalah 5,22 air/kg of wood.

3. Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar dipengaruhi oleh aliran udara dan ukuran partikel biomassa. Apabila aliran udara dinaikkan, maka tekanan oksigen yang ada dalam reaktor akan semakin naik sehingga dapat menigkatkan tingkat oksidasi dan tingkat konsumsi biomassa juga semakin meningkat. Faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar yaitu kepadatan dari bahan bakar padat (P), volume reaktor (Vr), dan konsumsi bahan bakar tingkat (FCR).

Berikut adalah rumus yang dapat digunakan untuk menghitung konsumsi bahan bakar:

$$T = \frac{\rho \times Vr}{FCR} \quad (2.11)$$

Dimana:

FCR = Tingkat konsumsi bahan bakar (kg/jam)

T = Waktu konsumsi bahan bakar (jam)

ρ = Massa jenis bahan bakar (kg/m^3)

Vr = Volume reaktor (m^3)

4. Temperatur Gasifikasi

Pada proses pengeringan awal temperatur gasifikasi harus tinggi karena untuk menguapkan kandungan air dalam kayu sengon agar dapat menghasilkan gas yang bersih. Temperatur yang tinggi juga dapat mempengaruhi terhadap pembakaran dan menghasilkan yang mudah terbakar

2.2.7 Karakteristik Nyala Api

Proses pembakaran bahan bakar dan udara, pembakaranya dapat terjadi baik dalam mode nyala api maupun tanpa mode nyala api. Api adalah pengembangan yang bertahan pada suatu daerah pembakaran yang dialokasikan pada kecepatan subsonic. Warna api dipengaruhi oleh kandungan bahan bakar dan campuran udara yang ikut terbakar. Ketika api memiliki warna cenderung merah menunjukan bahwa bahan bakar memiliki nilai kalor yang relatif rendah atau udara yang tercampur dalam proses pembakaran hanya sedikit. Pada saat api bewarna kebiruan adalah sebaliknya yang menunjukan nilai kalor yang tinggi atau campuran rendah (Khoiriyah, 2015). Terdapat dua tipe mode nyala api yaitu:

2.2.7.1 *Premixed Flame*

Premixed flame merupakan api yang dihasilkan ketika bahan bakar bercampur dengan oksigen yang telah tercampur sempurna sebelum diberikan sumber api. Umumnya *premixed flame* dapat dilihat dari warna api yang bewarna biru. Laju perkembangan api tergantung dari komposisi kimia bahan bakar yang digunakan (Khoiriyah, 2015).

2.2.7.2 *Diffusion Flame (Non-premixed)*

Diffusion flame merupakan api yang dihasilkan ketika bahan bakar dengan oksigen bercampur dan penyalaan dilakukan secara bersama. Laju difusi reaktan dipengaruhi oleh energi yang di miliki oleh bahan bakar. Nyala api difusi pengaruh udara dari luar sebagai oksidator pembakaran akan berpengaruh pada nyala api yang dihasilkan. Laju pencampuran bahan bakar dengan udara lebih rendah dari laju reaksi kimia. Nyala api difusi pada suatu pembakaran mengalami pergerakan nyala lebih lama dan menghasilkan asap lebih banyak dari pada nyala *premix*. Nyala difusi berupa nyala laminer (*Laminar flame*) atau nyala turbulen (*Turbulen flame*) (Khoiriyah, 2015).

Selain itu kedua tipe di atas, nyala api juga dibedakan berdasarkan jenis aliran yang terjadi. Berikut jenis tersebut:

2.2.7.3 Api Laminer

Visualisasi api yang terlihat pada api tipe ini berbentuk secara laminar atau terurai. Api ini memiliki bentuk mengikuti *streamline* aliran tanpa membentuk turbulensi atau gerakan tidak beraturan.

2.2.7.4 Api Turbulen

Api turbulen menunjukan pola aliran nyala api yang tidak beraturan atau acak yang memberikan indikasi aliran yang bergerak sangat aktif. Pembakaran gas hasil gasifikasi menunjukan indikasi diskontinuitas atau produksi yang cenderung tidak konstan membuat api yang terbentuk juga mengalami hambatan dalam pertumbuhanya.

Gas sebagai reaktan akan direaksikan bersama oksigen, bersamaan dengan penyalaan. Kualitas nyala api juga tak lepas dari nilai kalor yang terkandung dalam syngas yang dihasilkan oleh proses gasifikasi. Semakin tinggi kandungan zat yang *flammable* maka kualitas api juga akan semakin tinggi.

2.2.7.5 Jenis dan Warna Api

Turbulensi dipengaruhi aliran bahan bakar yang menguap, kecepatan aliran bahan bakar, dan media penguapan bahan bakar (Khoiriyah, 2015). Berikut ini beberapa jenis dan warna api:

1. Api Merah

Api berwarna merah atau kuning ini biasanya bersuhu di bawah 1000 °C. api ini termasuk api yang kurang panas dikarenakan jarang atau kurang digunakan di industri material. Nyala api merah ditampilkan pada Gambar 2.8 dibawah ini.

Gambar 2.6 Api Merah
Sumber: Khoiriyah (2015)

2. Api Biru

Api bewarna biru merupakan api yang sering kita jumpai di dapur. Api ini sering kita lihat pada kompor gas. Suhu rata-rata api yang bewarna biru ini kurang dari 2000 °C. Api ini mengalami pembakaran sempurna dan berbahan bakar gas. Tingkatan api ini diatas api merah. Berikut nyala api biru.

Gambar 2.7 Nyala Api Biru pada Kompor Gas
Sumber: Khoiriyah (2015)

3. Api Putih

Nyala api ini merupakan api paling panas di bumi. Warna putih pada api ini terjadi di karenakan suhunya melebihi 2000 °C. Api inilah yang berada dalam inti matahari dan muncul akibat reaksi fusi oleh matahari. Penggunaan api ini banyak ditemui di industri yang memproduksi material besi dan jenis lainya. Berikut adalah nyala api putih.

Gambar 2.8 Nyala Api Putih pada Proses Produksi Industri
Sumber : khoiriyah (2015)

4. Api Hitam

Api yang paling panas yaitu api yang bewarna hitam dan api hitam murni yang sesungguhnya sangat jarang ditemui di bumi. Untuk melihat api hitam bisa disimulasikan. Kita lihat nyala api lilin dengan kompor busen dengan seksama, maka akan ada perbedaan spektrum warna di dalamnya. Simulasi yang lebih jelasnya bisa dilihat pada saat membakar lilin. Nyala api seolah menggantung di atas lilin, bagian transparan itulah yang disebut api hitam. Berikut adalah nyala api hitam.

Gambar 2.9 Nyala Api Lilin yang Menunjukan Api Hitam
Sumber : Khoiriyah (2015)

2.2.8 Parameter Pengujian Gasifikasi

Menurut Belonio (2005: 84-87), parameter-parameter dalam proses gasifikasi adalah sebagai berikut:

1. FCR *(Fuel Consumption Rate)*

Pada proses gasifikasi laju bahan bakar biomassa sangat berpengaruh terhadap hasil gasifikasi. Berikut adalah rumus laju bahan bakar biomassa:

$$\text{FCR}= \frac{Qn}{HV\ f x e g} \tag{2.14}$$

Atau untuk hasil yang telah diketahui:

$$\text{FCR}= \frac{berat\ biomassa\ tergasifikasi}{waktu\ operasi}\ \left(\frac{kg}{dt}\right) \tag{2.15}$$

Dimana:

FCR = Tingkat konsumsi bahan bakar (kg/hr)

Qn = *Heat energi needed* (kcal/hr)

HVr = *Heating value of fuel* (kcal/kg)

εg = Efisiensi gasifier

2. GFR *(Gas Fuel Ratio)*

GFR *(Gas Fuel Ratio)* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{GFR} = \frac{laju\ aliran\ gas\ producer}{FCR} \tag{2.16}$$

3. Persentase residu

Persentase residu adalah perbandingan banyaknya arang yang dihasilkan dengan banyaknya biomassa yang dibutuhkan. Persentase residu dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Persentase residu} = \frac{arang}{berat\ biomassa}\ X\ 100\% \tag{2.17}$$

4. SGR *(Spesific Gasification Rate)*

SGR dalam proses gasifikasi memiliki tujuan untuk mengetahui banyaknya biomassa rata-rata yang dapat tergasifikasi dalam gasifier. Jika SGR semakin besar maka pada proses gasifikasi tidak akan berjalan dengan sempurna dan sebaliknya jika SGR semakin kecil maka proses gasifikasi berjalan dengan lambat. Oleh karena itu, SGR tidak boleh terlalu besar maupun terlalu kecil. SGR dapat dihitung dengan cara:

$$\text{SGR}= \frac{berat\ biomassa - berat\ arang}{luas}\ X\ waktu \qquad (2.18)$$

5. Waktu konsumsi bahan bakar

Pada proses gasifikasi waktu konsumsi bahan bakar dibutuhkan untuk mengetahui perubahan biomassa/ bahan bakar padat menjadi gas di dalam reaktor. Ini termasuk waktu pada saat awal penyalaan bahan bakar sampai waktu untuk menghasilkan gas dan semua bahan bakar benar-benar terbakar di dalam reaktor.

6. Jumlah udara dibutuhkan untuk gasifikasi

Laju aliran udara yang masuk ke dalam reaktor sangat dibutuhkan untuk mengubah bahan bakar padat menjadi gas. Hal ini penting untuk menentukan ukuran blower yang dibutuhkan untuk reaktor di gasifying. Seperti ditunjukkan, ini dapat hanya ditentukan dengan menggunakan tingkat konsumsi bahan bakar (FCR), udara stoikiometri dari bahan bakar (SA), dan ratio ekuevalensi (ε) untuk gasifying 0,2 sampai 0,4. Laju aliran udara dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{AFR}= \frac{\rho \text{ x FCR x SA}}{pa} \qquad (2.19)$$

Dimana:

AFR = *Air Flow Rate* (m^3/jam)

FCR = Tingkat konsumsi bahan bakar (kg/jam)

ρa = Massa jenis udara (1,25 kg/m^3)

ε = *Equivalence ratio* (0,2-0,4)

SA = Udara stoikiometri dari bahan bakar padat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Laju alir udara sangat mempengaruhi temperatur, karakteristik nyala api dan residu yang dihasilkan pada tungku gasifikasi. Dengan meningkatnya laju alir udara yang digunakan rata-rata temperatur setiap zona pada tungku gasifikasi akan semakin meningkat. Hal ini ditunjukkan pada laju alir udara 3 m/s temperatur paling tinggi. Terlihat dari hasil penelitian ini semakin besar laju alir udara maka kualitas nyala api yang dihasilkan semakin baik. Sedangkan pada laju alir udara yang besar residu yang dihasilkan akan semakin sedikit.
2. Kadar air biomassa sangat mempengaruhi temperatur, karakteristik nyala api dan residu yang dihasilkan pada tungku gasifikasi. Semakin kecil nilai kadar air biomassa maka temperatur setiap pada tungku gasifikasi akan semakin tinggi. Kadar air biomassa 12% menunjukkan temperatur yang paling tinggi dan kualitas nyala api yang dihasilkan semakin baik. Sedangkan residu yang dihasilkan paling sedikit yaitu kadar air paling rendah. Hal ini dikarenakan semakin rendah nilai kadar air maka proses pembakaran semakin baik.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan terhadap penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh laju alir udara dan kadar air biomassa terhadap proses gasifikasi adalah sebagai berikut:

1. Disarankan proses gasifikasi pada penelitian ini dengan limbah kayu sengon sebaiknya menggunakan laju alir udara 3 m/s dan kadar air biomassa yang rendah.
2. Disarankan untuk proses gasifikasi dengan limbah kayu menggunakan kadar air 12%.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang *gasifier* yaitu menambah alat untuk mengukur kualitas gas yang dihasilkan agar dapat dimanfaatkan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Anggraeni, I. B, Dendang. E, Lelana. 2010. Pengendalian Penyakit Karat Tumor (Uromycladium tepperianum (Sacc.) Mc. Alpin) pada Sengon (Falcataria mollucana (Miq.) Barneby & J.W. Grimes) di Panjalu Kabupaten Ciamis Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*.

ASTM. 2007. Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials, D-4442-07.

Basu, Prabir. 2010. Biomass Gasification and Pyrolysis Pratical Design. United States. Elsevier.

Belonio, A.T. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Departement of Agricultural Engineering and Environmental Management. Iloilo.

Chopra, S. A, Kr Jain. 2007. *A Review of Fixed Bed Gasification System for Biomass.*

Couto, N. A, Rouboa, V, Silva. E, Monteiro. K, Bouziane. 2013. *Influence of the Biomass Gasification Processes on the Final Composition of Syngas*. *Energy Procedia*: 596-606.

Djafar, R. F, Darise. 2017. Pengaruh Jumlah Aliran Udara Terhadap Nyala Api Efektif dari Reaktor Gasifikasi Biomassa Tipe Fixed Bed Downdraft Menggunakan Bahan Bakar Tongkol Jagung. *Jurnal Teknik*: 94-100.

Granendra, P.M. N, Rajan. 2016. Experimental Study on Performance of Downdraft Gasifier Reactor under varied ratios of Secondary and Primary air flows. *Jurnal Energy Procedia*:38-49

Handoyo. Subroto. N, Aklis. 2013. Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Temperatur Pembakaran pada Tungku Gasifikasi Sekam Padi. *Jurnal Teknik.*

Ilminnafik, N. F,A.O. 2016. Karakteristik Api Syngas Pada Gasifikasi Downdraft dengan Bahan Biomassa Sekam Padi. *Jurnal Rotor.*

Khoiriyah, A. 2015. Karakteristik Api Syngas Pada Gasifikasi Sistem Downdraft dengan Oksigen sebagai Gasiyfying Agent Berbahan Baku Biomassa. *Skripsi*. Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Jember. Jember.

Kirsanovs, V. D, Blumberga. I, Veidenbergs. C, Rochas. E, Vigants. G, Vigants. 2017. *Experimental Investigation of Downdraft Gasifier at Various Conditions*. *Energy Procedia*: 332-338.

Krisnawati, H. E, Varis. M, Kallio. M, Kanninen. *Paraserianthes Falcaria (L) Nielsen*: Ekologi, Silvikur dan Prokdutivitas. Cifor. Bogor.

Maarif, S. S, Harahap. 2017. Optimasi Gasifikasi Sekam Padi Tipe Fixed Bed Downdraft dengan Memvariasikan Hisapan Blower Supaya Menghasilkan Kandungan Tar Sesuai Standar. *Jurnal Teknik Mesin.*

Najib, L. S. Darsopuspito. 2012. Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu dengan Variasi Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR) dan Ukuran Biomassa. *Jurnal Teknik.*

Pambudi, S. 2015. Variasi Suplai Oksigen Sebagai Media Gasifikasi Terhadap Karakteristik Termal Syngas Berbahan Baku Biomassa. *Skripsi*. Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Jember.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan (P3HH). Petunjuk Praktis Sifat-sifat Dasar Jenis Kayu Indonesia. Indonesia

Rajvanshi, A. K. 2014. Biomass Gasification. Maharashta. India

Rinovianto, G. 2012. Karakteristik Gasifikasi Pada Updraft Double Gas Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet. *Skripsi*. Universitas Indonesia

Saputra, N. Subroto. N, Akhlis. 2016. Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Kinerja Tungku Gasifikasi Sekam Padi Downdraft Kontinu. *Jurnal Teknik.*

Saputro, D.D. W, Widayat. 2016. Karakterisasi Limbah Pengolahan Kayu Sengon Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Sainteknol*.

Saravanakumar, A. Haridasan, T.M. Reed,T.B. 2007. Eksperimental Investigation of Long Stick Wood Gasification in Bottom Lift Updraft Fixed Bed Gasifier. *Internasional Fuel Procesing Technology*.

Setiawan, Budi. Subroto. Wijianto. 2014. Studi Gasifikasi Batu Bara Lignite dengan Variasi Kecepatan Udara untuk Keperluan Karbonasi. *Jurnal Teknik*.

Sikarwar, V. S. M, Zhao. P, S. Fennel. N, Shah, E, J. Anthony. 2017. Progress in Biofuel Production from Gasification. *Progress in Energy and Combustion Science*: 189-248.

Subroto, N. Saputra. 2016. Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Kinerja Tungku Gasifikasi Sekam Padi Tipe Downdraft Kontinu. *Jurnal Teknik Mesin* 17(2): 13-22

Subroto. 2017. Kinerja Tungku Gasifikasi Downdraft Continue Bahan Bakar Sekam Padi. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*: 24-33

Suhendi, E. I, Rosyadi.Tb, Ahmad Nasorudin . 2016. Uji Kualitas Syngas Bahan Bakar Bonggol Jagung Terhadap Air Fuel Ratio (AFR) dan Kadar Air dengan Gasifikasi Downdraft. *Jurnal Integrasi Proses* 6(2): 95-99.

Suliono. B, Sudarmanta. F, Dionisius. I, Maolana. 2017. Studi Karakteristik Reaktor Gasifikasi Type Downdraft Serbuk Kayu dengan Variasi Equivalensi Ratio. *Jurnal Teknologi Terapan.*

Susastriawan, A.A.P., H. Saptoadi, dan Purnomo. 2017. Small-Scale Downdraft Gasifier for Biomass Gasification: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76:989-1003.

Triwibono, B. 2013. Teori Dasar Simulasi Proses Pembakaran Limbah Vinasse dari Industri Alkohol Berbasis CFD. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan* 2(2):14-24

Vidian, Fajri. 2008. Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran. *Jurnal Teknik*:88-93