

EFEK INJEKSI UDARA dan STEAM TERHADAP KUALITAS SYNGAS HASIL GASIFIKASI SEKAM PADI MENGGUNAKAN *FIXED-BED GASIFIER*

Imron Masfuri dan Bambang Suwondo Rahardjo

Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi
BPPT Gedung II Lantai 22 Jl MH Thamrin 8 Jakarta 10340
E-mail: imron_masfuri@yahoo.com

Abstract

Biomass gasification is more benefit compared to direct combustion because of more flexibility gas product that can be directed use as combusted gas in gas engine power generation or chemical feedstocks as well as synthetic fuel belongs to added market value. Since 2007, PT National Champignon (PT Natcham) in Wonosobo – Central Java have been operating 1 (one) unit of fixed-bed updraft gasifier by rice-husk fuel feeding using air as gasification agent for it's mushroom plant electricity needs through gas engine 400 kW. Fluctuation of gasification temperature in each of gasifier zones is affected by injection pressures of air+steam, as well as opening valves of air and steam. The optimum steam injection can only be carried-out at opening valve of steam 50% and air of 7/19 (volumetric ratio of steam/air = 0.6–0.7) with bottom temperatur of gasifier, $T_{bottom} = 650^{\circ}\text{C}$ at pressure condition of 4,5 bar. Syngas with H_2/CO ratio of 1,26– 1,71 have sufficient met the requirements of syngas quality for synthesis process of Fischer–Tropsch to be processed futhermore for synthetic fuel producing.

Kata kunci: sekam padi, gasifikasi, gas sintetis, *Gas-To-Liquid*, *Fischer–Tropsch*

1. PENDAHULUAN

Sejak tahun 2007, PT. Dieng Jaya Nasional (dulu) atau PT. *National Champignon* (kini) di Wonosobo –Jawa Tengah telah mengoperasikan satu unit *fixed-bed gasifier* dengan umpan sekam padi sebagai bahan bakar untuk membangkitkan listrik keperluan pabrik jamurnya sendiri melalui pembangkit listrik *gas engine* 400 kW. Di dalam *fixed-bed gasifier*, sekam padi diumpankan untuk diunggunkan sampai temperatur sekitar 800°C sehingga menghasilkan gas sintetis (*syngas*). *Syngas* yang keluar dari *gasifier* mempunyai temperatur sekitar 750°C dilewatkan melalui pemisah siklon untuk membersihkan partikel kasar, kemudian didinginkan melalui serangkaian *ventury scrubber* dan menara pendingin. Gas bersih yang telah dingin dipompakan melalui *high voltage electrostatic precipitator* untuk menghilangkan partikel debu dan tar yang tersisa sebelum digunakan dalam *gas engine* untuk membangkitkan listrik. Awalnya, hasil pembakaran sekam padi yang berupa tar sangat dikhawatirkan, namun kini telah terpecahkan sepenuhnya dengan menambahkan sistem

pengolahan tar yang terintegrasi dengan peralatan lingkungan yang ada atau memisahkan zona pirolisa dan gasifikasi seperti layaknya *gasifier* dua-tahap (*two-stage gasifier*) (S. Chopra, A. Jain, 2007).

Gasifikasi biomasa lebih menguntungkan dibandingkan dengan pembakaran langsung, karena produk gas lebih bersifat fleksibel yang dapat diarahkan menjadi bahan bakar gas pembangkit listrik *gas engine* atau bahan baku industri kimia maupun bahan bakar cair sintetis yang memiliki nilai jual lebih tinggi. Pemanfaatan biomasa yang dikembangkan secara efisien untuk memenuhi kebutuhan energi dengan keuntungan ganda, yaitu mengurangi ketergantungan pada energi komersial dan perlindungan lingkungan (S. Chopra, A. Jain, 2007).

Sebagai tindak lanjut kerjasama antara PT. *National Champignon* (PT Natcham) dengan Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi (PTPSE) – Kedeputan Teknologi Informasi Energi dan Material (TIEM) – BPP Teknologi, diharapkan pengembangan *syngas* dari hasil gasifikasi sekam padi tersebut dapat

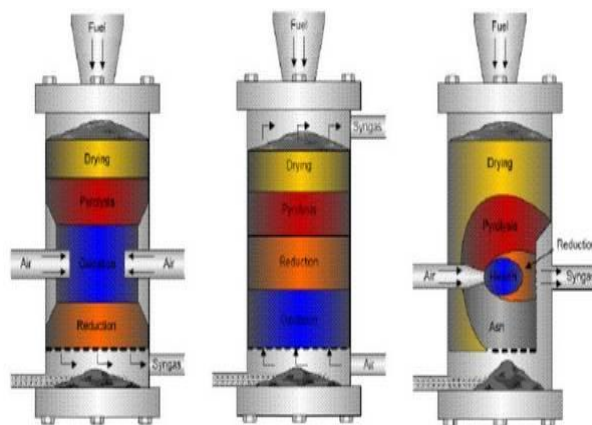
diolah lebih lanjut menjadi bahan bakar cair sintetis untuk mendukung Peraturan Presiden No.5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional dan Instruksi Presiden No.1 tahun 2006 tentang bauran energi (*energy-mix*) dalam penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Biomasa yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin ($C_6H_{10}O_5$) memiliki potensi tinggi dalam menyumbangkan kebutuhan energi masyarakat modern. Biomasa mengandung sedikit karbon, oksigen berlebih dan nilai kalori rendah berkisar 12–16 MJ/kg (H.S., Mukunda, 1994). Hanya biomasa terpilih yang dapat dikonversi menjadi biogas, ethanol, biodiesel melalui proses biokimia dan kimiawi, sebaliknya kebanyakan bahan biomasa dapat mengalami konversi thermokimia, sehingga menjadikan proses ini lebih menarik daripada lainnya. Di antara teknologi konversi thermokimia, gasifikasi biomasa telah menarik perhatian yang menawarkan efisiensi lebih tinggi daripada pembakaran. Pada pembakaran sempurna biomasa secara teori stoichiometri jumlah konsumsi udara = 6–6,5 kg udara/kg biomasa dengan produk akhir CO_2 dan H_2O . Di dalam gasifikasi, biomasa mengalami pirolisa parsial pada kondisi sub-stoichiometri dengan sejumlah udara terbatas 1,5–1,8 kg udara/kg biomasa (<http://www.hfdepo.com>).

Ketertarikan terhadap gasifikasi biomasa terulang kembali setelah krisis energi tahun 1970–an. Teknologi gasifikasi mulai dirasakan sebagai alternatif yang relatif murah untuk industri skala kecil dan utilitas pembangkit listrik, khususnya bagi negara sedang berkembang yang terpuruk oleh karena harga minyak tinggi sementara memiliki cukup ketersediaan sumberdaya biomasa (H.E.M Stassen, H.A.M. Knoef, 1993).

Gasifikasi adalah proses reaksi oksidasi parsial antara bahan bakar karbon dan media gasifikasi (udara/ O_2 /steam atau campurannya) pada temperatur (500–1400°C) yang menghasilkan *producer gas* (gas sintetis atau *syngas*) CO , H_2 , CO_2 , CH_4 , hidrokarbon tinggi (*ethane*, *ethene*, uap H_2O , N_2 (jika udara dipakai sebagai media oksidasi) dan beragam pengotor (partikel kecil arang, abu, tar, minyak). Gasifikasi bergantung pada proses kimia pada temperatur tinggi (500–1400°C) yang membedakan dari proses biologis seperti digesti anaerobik yang menghasilkan biogas (<http://www.hfdepo.com>).



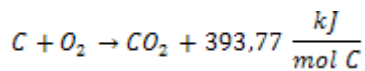
Gambar 1. Perbedaan *design* dan karakteristik zona reaksi *fixed-bed gasifier*

Gambar 1 menunjukkan perbedaan *design* dan karakteristik zona reaksi *fixed-bed gasifier*, di mana partikel bahan bakar tidak digerakkan oleh aliran gas sehingga bahan bakar di dalam *gasifier* tersusun sebagai unggun tetap. Sebagian besar umpan bahan bakar ditempatkan di atas alas unggun sedangkan sisa pembakaran berupa arang dan abu dikeluarkan dari bagian bawah alas unggun bahan bakar. Bahan bakar biomasa bergerak dari atas ke bawah alas unggun bahan bakar sehingga waktu tinggal bahan bakar di dalam *gasifier* relatif lama. *Design* khusus *gasifier* terdiri dari pengumpanan bahan bakar dari bawah alas unggun bahan bakar. Tergantung pada arah aliran produk gas terhadap arah transportasi bahan bakar di dalam *fixed-bed gasifier* diklasifikasikan menjadi *co-current* (searah), *counter-current* (berlawanan arah) dan *cross-flow* (silang).

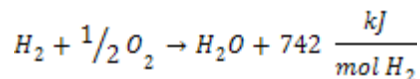
Tahapan proses gasifikasi terjadi dalam 4 (empat) zona, yaitu pengeringan ($>150^\circ C$), pirolisis ($150^\circ C < T < 700^\circ C$), oksidasi ($700^\circ C < T < 1500^\circ C$), dan reduksi ($800^\circ C < T < 1000^\circ C$).

Pirolisis atau devolatilisasi adalah serangkaian proses fisik dan kimia terjadi secara lambat pada temperatur $< 350^\circ C$ dan secara cepat pada temperatur $> 700^\circ C$. Komposisi produk gas yang tersusun merupakan fungsi temperatur dan tekanan selama pirolisis berlangsung. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar $230^\circ C$, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, seperti lignin pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan PAH (*polyaromatic hydrocarbon*). Produk pirolisis umumnya terdiri dari gas ringan (H_2 , CO , CO_2 , H_2O , CH_4), tar, dan arang.

Oksidasi adalah reaksi terpenting yang terjadi di dalam gasifier yang menyediakan seluruh energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Oksigen yang dipasok ke dalam gasifier bereaksi dengan bahan yang mudah terbakar. Hasil reaksi tersebut adalah CO₂ dan H₂O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada pirolisis.

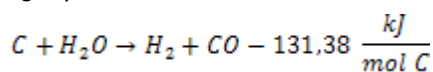


Reaksi lain yang berlangsung adalah oksidasi hidrogen yang terkandung dalam bahan karbon membentuk *steam*.

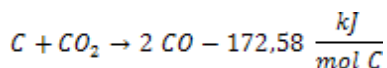


Reduksi atau gasifikasi meliputi serangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Produk yang dihasilkan adalah gas bakar, seperti H₂, CO, dan CH₄. Terdapat 4 (empat) reaksi umum yang terkait proses gasifikasi, yaitu:

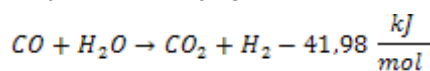
- *Water-gas reaction* merupakan reaksi oksidasi parsial karbon oleh *steam* yang dapat berasal dari hasil pirolisis bahan bakar padat itu sendiri maupun dari uap air yang dicampur dengan udara dan uap hasil penguapan air.



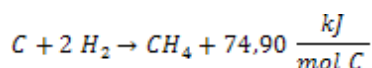
- *Boudouard reaction* merupakan reaksi antara CO₂ yang terjadi di dalam *gasifier* dengan arang untuk menghasilkan CO.



- *Shift conversion* merupakan reaksi reduksi CO₂ oleh *steam* untuk memproduksi H₂. Reaksi ini dikenal sebagai *water-gas shift* yang menghasilkan peningkatan perbandingan H₂/CO₂ pada *gas produser* untuk pembuatan *syngas*.



- *Methanation* merupakan reaksi pembentukan gas CH₄.



Sistem gasifikasi unggun tetap terdiri dari *gasifier* yang dilengkapi dengan sistem pembersihan dan pendinginan gas. *Fixed-bed gasifier* mempunyai alas unggun partikel bahan bakar padat, media gasifikasi dan gas bergerak perlahan ke atas dan ke bawah sehingga terjadi

reaksi gasifikasi dengan konversi karbon tinggi, waktu tinggal bahan bakar relatif lama, kecepatan gas rendah maupun perolehan abu rendah (L.Carlos, 2005). Jenis sederhana *gasifier* biasanya terdiri ruang silinder yang terbuat dari batu tahan api berpondasi baja beton untuk bahan bakar dan media gasifikasi dengan unit pengumpanan bahan bakar, unit pembuangan abu dan keluaran gas. Di dalam *fixed-bed gasifier* mengalami kendala dalam masalah buangan tar, namun kini kemajuan konversi tar secara thermal dan katalitik memberikan opsi yang dapat dipercaya. Sistem pendinginan dan pembersihan gas terdiri dari filtrasi melalui siklon, penyerapan kering/basah (*dry/wet scrubbers*) (L. Carlos, 2005).

Terdapat banyak jenis *fixed-bed gasifier* dengan variasi *design* reaktor dan media reaksi yang dapat diklasifikasikan menurut cara media gasifikasi masuk *gasifier*, yaitu: *updraft*, *downdraft*, dan *crossdraft gasifier*. Media gasifikasi dapat berupa udara, *steam*, O₂ atau campurannya dan *producer gas* dapat digunakan sebagai aplikasi pemanasan atau pembangkit listrik. Keanekaragaman komposisi *producer gas* dan tingkat kontaminasi tergantung pada pemilihan biomasa, jenis *gasifier* dan kondisi operasi (A.V. Bridgwater, G.D. Evans, 1993).

Tabel 1. Komposisi produk *syngas*

Komponen Gas %vol. kering	Media Gasifikasi		
	Udara	Udara (80% O ₂)	Steam
CO	10 – 20	40 – 50	25 – 47
H ₂	9 – 20	9 – 17	35 – 50
CH ₄	1 – 8	<1	14 – 25
CO ₂	10 – 20	19 – 25	9 – 15
N ₂	40 – 55	15 – 30	2 – 3
Nilai Kalori (MJ/Nm ³ , kering)	4 – 6,5	7 – 9	12 – 17

Sumber: Bioenergiesysteme GmbH

Updraft gasifier merupakan jenis *fixed-bed gasifier* yang tertua dan paling sederhana yang dapat menangani bahan bakar biomasa dengan kadar abu tinggi (>15%) maupun kadar air tinggi (>50%), namun kurang peka terhadap keanekaragaman ukuran dan kualitas biomasa. Di dalam *updraft counter-current gasifier*, bahan bakar biomasa masuk dari atas ruang reaksi dan media gasifikasi (udara, O₂ atau campurannya) masuk dari bawah *grate*. Bahan bakar mengalir perlahan ke bawah melalui 4 tahapan zona, yaitu: pengeringan, pirolisis, gasifikasi dan

pembakaran, kemudian abu dikeluarkan dari bawah. *Updraft gasifier* memiliki efisiensi panas sensible *producer gas* tinggi yang dapat diperoleh melalui pertukaran panas secara langsung dengan pengumpanan bahan bakar yang terpirolisis kering sebelum masuk ke zona gasifikasi. *Producer gas* keluar pada temperatur rendah (80–300°C) kaya kandungan minyak dan tar (10–20%) mengingat produk-produk dari zona pirolisis dan pengeringan dikeluarkan secara langsung tanpa mengalami dekomposisi. Kandungan debu dalam *producer gas* rendah karena kecepatan gas lambat dan dampak filtrasi umpan bahan bakar di zona pengeringan maupun pirolisis. (L. Carlos, 2005; H.E.M. Stassen, H.A.M. Knoef, 1993).

Downdraft fixed-bed gasifier dirancang silinder dilapisi baja anti karat, di mana reaksi pembakaran terjadi di dalam silinder lebih kecil terbuat dari baja temperatur tinggi yang ditempatkan di dalam silinder terluar. *Grate* penahan bahan bakar dilekatkan pada bagian bawah ruang reaksi pembakaran yang terguncang secara berkala oleh dua batang untuk membiarkan abu jatuh pada dasar plat ruang utama. Beberapa umpan bahan bakar melalui lubang dasar plat untuk memasukkan udara dan *thermocouple* jenis K (Omega) ke dalam ruang bakar sebagai pemantau temperatur reaksi. Dua *cartridge* pemanas dimasukkan pada dinding ruang bakar untuk mengawasi pembakaran biomasa dengan media gasifikasi udara yang dipasok dari kompresor yang dilengkapi *pressure regulator* dan *rotameter*. Bahan bakar diumpankan dari atas lewat corong pengarah ke ruang bakar. Selama proses pembakaran, ruang bakar ditutup agar *syngas* bergerak ke arah bawah melalui lubang-lubang perapian yang diarahkan ke saluran antara ruang bakar dan silinder luar. *Syngas* yang keluar mengarah ke *Bunsen burner* sehingga terbakar di dalam lemari asam (P. Garcia-Bacaicoa, R. Bilbao, J. Arauzo, M.L. Salvador, 1994).

Di dalam *crossdraft gasifier*, bahan bakar bergerak ke arah bawah sementara udara dimasukkan pada satu sisi dan *producer gas* (800–900°C) keluar dari sisi sebaliknya, sementara abu dikeluarkan dari bawah *gasifier*. Keseluruhan efisiensi energi rendah dan kadar tar dalam *producer gas* tinggi yang kebanyakan digunakan untuk boiler rangkaian tertutup. Jenis *crossdraft gasifier* mempunyai keterbatasan merekah tar, sehingga hanya cocok untuk bahan bakar kadar tar rendah, maka implementasi tidak berlanjut ke skala industri (S.J. Clarke, 1981, H.E.M. Stassen and H.A.M. Knoef, 1993).

Aplikasi gasifikasi biomasa terutama dilakukan di dalam *fixed-bed* dan *fluidized-bed*

gasifier. *Fixed-bed gasifier* adalah opsi paling praktis untuk memproduksi gas kalori rendah dan sesuai digunakan pada pembangkit listrik skala kecil (<10 MWth) atau aplikasi pemanasan, sementara *fluidized-bed gasifier* sangat efektif diterapkan pada pembangkit listrik skala lebih besar (>15 MWe) (L. Carlos, 2005).

Potensi pemanfaatan *syngas* lebih efisien daripada pembakaran langsung, karena dapat terbakar pada temperatur lebih tinggi, sehingga efisiensi secara termodinamika yang didefinisikan oleh *Carnots* lebih tinggi atau bahkan tidak aplikabel. *Syngas* dapat dibakar secara langsung di dalam mesin pembakaran internal untuk menghasilkan methanol dan H₂, atau dikonversi melalui *Fischer-Tropsch* menjadi bahan bakar sintesis.

3. PENGUJIAN

Pengujian dilakukan di PT. *National Champignon* Wonosobo – Jawa Tengah dengan memanfaatkan fasilitas *fixed-bed updraft gasifier plant* sekam padi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Fixed-bed updraft gasifier* sekam

3.1. Tujuan

Mengetahui pengaruh injeksi udara+steam terhadap kualitas *syngas* hasil gasifikasi sekam padi sebagai umpan proses sintesa *Fischer-Tropsch* untuk menghasilkan bahan bakar cair sintesis.

3.2. Bahan

- Sekam padi sebagai bahan baku yang diumpankan dari *silo* melalui *screw conveyor* (410 kg/jam = 250 rpm) ke dalam *gasifier*, dengan spesifikasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.
- Udara ($\rho = 1,16 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1,84 \cdot 10^{-5} \text{ N.det/m}^2$, $g = 9,807 \text{ m/det}^2$) sebagai media gasifikasi yang diumpankan melalui *air blower* ke dalam *gasifier*.

Tabel 2. Spesifikasi sekam padi

Senyawa		Komposisi
<i>Cellulose</i>		: 35%w
<i>Hemicellulose</i>		: 25%w
<i>Lignin</i>		: 20%w
<i>Crude Protein</i>		: 3%w
<i>Ash (Silica)</i>		: 17%w
Analisa Proksimat		Komposisi
Zat terbang	VM	: 60,30%w
Karbon padat	FC	: 17,00%w
Abu		: 22,70%w
Analisa Ultimat		Komposisi
Karbon	C	: 29,33%w
Hidrogen	H	: 3,90%w
Oksigen	O	: 29,17%w
Nitrogen	N	: 0,24%w
Sulfur	S	: 0,16%w
Air	H ₂ O	: 22,70%w
Abu		: 14,50%w
Sifat Fisik		
Diameter	Ø	: 0,5 mm
Densitas	ρ	: 300 kg/m ³
Spesificity	φ	: 0,65
Porositas		: 0,5

Sumber: PT. Natcham

- *Superheated steam* ($P = 1 \text{ atm}$, $T = 200^\circ\text{C}$, $\rho = 2,5 \text{ kg/m}^3$) sebagai media gasifikasi yang diumpankan dari *steam boiler*
- Gas standar analisa dengan komposisi pada label ($83\%\text{N}_2$, $5,09\%\text{H}_2$, $5,18\%\text{CO}$, $1,05\%\text{CH}_4$, $5,68\%\text{CO}_2$), digunakan untuk kalibrasi alat *Gas Chromatography* (GC).

3.3. Peralatan

3.3.1. Fixed-bed updraft gasifier plant (Gambar 2) yang terdiri dari:

- Sistem pengumpanan (Tabel 3), terdiri dari:
 - *Screw conveyor* ($410 \text{ kg/jam} = 250 \text{ rpm}$), pengangkut sekam padi dari gudang ke silo
 - *Silo*, penampung sekam padi.
 - *Screw feeder*, pengumpan sekam padi dari silo ke dalam *gasifier*.

Tabel 3. Spesifikasi teknis peralatan sistem pengumpanan

		Spesifikasi
Diameter	inchi	1,5
Diameter	inchi	6
Panjang	m	18
Jarak ulir (<i>pitch</i>)	cm	14
Kecepatan putar	rpm	600 – 800
Daya motor	kW	4
<i>Silo</i>		Spesifikasi
Dimensi	cm	207 x 200 x 375
<i>Screw Feeder</i>		Spesifikasi
Laju umpan	kg/jam	460 – 480
Diameter	inchi	1,5
Diameter	inchi	10
Panjang	m	18
Jarak ulir (<i>pitch</i>)	cm	22
Kecepatan putar	rpm	250 – 300
Daya motor	kW	2,2

Sumber: *Peako* – China

- Sistem gasifikasi (Tabel 4), terdiri dari:
 - *Fixed-bed gasifier* buatan *Peako China* yang beroperasi secara *counter-current moving-mode*, di mana aliran produk gas dan material umpan berlawanan arah, sementara media gasifikasi (udara/steam/oksigen) berlawanan arah dengan material umpan.
 - *Air blower* ($1.440 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,4 \text{ m}^3/\text{detik}$), pengumpan media gasifikasi udara ke dalam *gasifier*.
 - *Cyclone* (150 rpm), pemisah produk gas dengan padatan ikutan.
- Sistem pembersihan produk gas (Tabel 5), terdiri dari:
 - *Water scrubber*, pembersih produk gas menggunakan *water-spray*.
 - *Electrostatic precipitator*, perangkat kolektor debu dan tar yang terikut produk gas menggunakan kekuatan muatan induksi elektrostatis.
 - *Root blower* (400 rpm), pendorong produk gas ke penampungan (*gas holder*).
 - *Gas holder*, penampung produk gas.

Tabel 4. Spesifikasi teknis peralatan system gasifikasi

Air Blower		Spesifikasi
Tekanan	MPa	4,704
Laju dorong	m ³ /detik	0,4
Kecepatan putar	rpm	2900
Daya motor	kW	4
Putaran motor	rpm	2890
Tegangan listrik	Volt	380
Arus listrik	Ampere	8,2
Gasifier		Spesifikasi
Tipe		Up-draft fixed-bed gasifier
Buatan		Peako China
Posisi pengukuran temperatur dari dasar	cm	80, 160, 340, 520, 700
Posisi pengukuran tekanan dari dasar	cm	250
Cyclone		Spesifikasi
Diameter ruang utama	cm	70
Tinggi	cm	340
Inlet	cm	35 x 15
Diameter outlet gas	cm	36
Diameter outlet padatan	inchi	6
Putaran cyclone lock	rpm	150

Sumber: Peako – China

Tabel 5 Spesifikasi teknis peralatan sistem pembersihan produk syngas

Water Scrubber		Spesifikasi
Diameter poros	inchi	1,5
Diameter casing	inchi	6
Panjang	m	18
Jarak ulir (pitch)	cm	14
Kecepatan putar	rpm	600 – 800
Daya motor	kW	4
Electrostatic Precipitator		Spesifikasi
Tinggi	cm	780
Diameter	cm	175
Temperatur inlet	°C	28
Temperatur outlet	°C	34
Tegangan listrik	kV	32 – 40
O ₂ setting	%	1,5
O ₂ measured	%	0,6 – 0,9
Root Blower		Spesifikasi
Laju alir produk gas	m ³ /menit	32,6
Tekanan	KPa	9,8
Kecepatan putar	rpm	1450
Daya motor	kW	11
Gas Holder		Spesifikasi
Tekanan	mm H ₂ O	300
Ukuran	cm	230 x 190

Sumber: Peako – China

Sistem pembuangan abu (Tabel 6), terdiri dari *Screw conveyor* (200 rpm), pengangkut abu. Penampung abu/char dengan dimensi 5,25mx4,70mx4,00m.

Tabel 6. Spesifikasi teknis peralatan sistem pembuangan abu

Screw Conveyor		Spesifikasi
Diameter poros	inchi	1,5
Diameter casing	inchi	6
Panjang	m	18
Jarak ulir (pitch)	cm	14
Kecepatan putar	rpm	200
Daya motor	kW	4
Penampung Abu/Char		Spesifikasi
Ukuran	m	5,25 x 4,7 x 4

Sumber: Peako – China

3.3.2. Steam boiler

Steam boiler 1 ton saturated steam/jam (P= 4–6 bar, T= 143,6–158,8°C, ρ = 2.162–3.168 kg/m³, V= 374,8 m³/jam) melalui *steam header* (Gambar 3) ke dalam *gasifier*.



Gambar 3. *Steam superheater* (P=5 bar, T= 170–200°C, ρ =2,5 kg/cm³)

3.3.3. Pembangkit listrik gas engine 400 kW

Sistem pembangkit listrik jenis *reciprocating gas engine* ini (Gambar 4) lebih kompak dan sederhana, sehingga syngas yang mudah terbakar dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar untuk membangkitkan listrik 400 kW.



Gambar 4. Pembangkit listrik gas engine 400 kW

3.3.4. Gas Chromatography

Gas Chromatography (GC) digunakan untuk menganalisa *sample syngas* yang diambil pada *gas sampling valve* setelah *gas holder* sebelum masuk *gas engine* menggunakan kantong *aluminium foil* dengan selang waktu selama 15 menit setiap *sampling*.



Gambar 5. Gas Chromatography (GC)

3.4. Metode

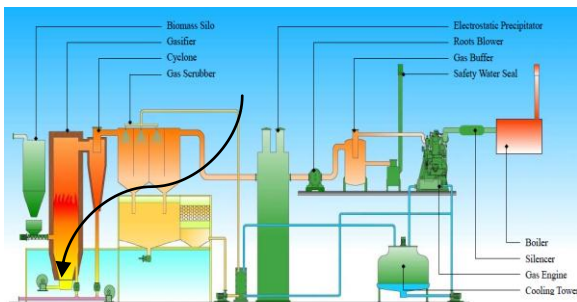
Pengoperasian sistem *gasifier* sekam padi menggunakan media udara+*steam*. Kondisi operasi ditetapkan awbGi berikut dengan rincian umpan sekam padi: 410 kg/jam (250 rpm), putaran *screw conveyor* abu: 200 rpm, putaran *cyclone lock*: 150 rpm, putaran *root blower*: 400 rpm.

Adapun variabel operasi bukaan katup adalah sebagai berikut yaitu:

- *Steam* (25%, 50%, 75%)
- *Blower* udara (7/19, 6/19, 5/19, 4/19)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengoperasian sistem *gasifier* sekam padi menggunakan media udara+*steam* seperti ditunjukkan Gambar 6 dengan kondisi operasi: umpan sekam padi: 410 kg/jam (250 rpm), putaran *screw conveyor* abu: 200 rpm, putaran *cyclone lock*: 150 rpm, putaran *root blower*: 400 rpm; dan injeksi *steam* bukaan valve: (25%, 50%, 75%), injeksi udara bukaan valve *blower* (7/19, 6/19, 5/19, 4/19).



Gambar 6. Diagram alir proses gasifikasi sekam padi PT Natcham

4.1. Hasil

Tabel 7 menunjukkan kondisi temperatur operasi *gasifier* (T_{bottom} , T_{middle} , $T_{top 1}$, $T_{top 2}$, $T_{top 3}$) pada variasi injeksi *steam* bukaan katup (25%, 50%, 75%), injeksi udara bukaan katup *blower* (7/19, 6/19, 5/19, 4/19) dan tekanan *steam* (4–6 bar).

Tabel 7. Kondisi dan variabel operasi fixed-bed updraft *gasifier*

Bukaan Valve		Tekanan Steam (P_{steam} , bar)	Temperatur Gasifier, °C				
Steam	Udara		T_{bottom}	T_{middle}	$T_{top 1}$	$T_{top 2}$	$T_{top 3}$
Udara		6	785	770	737	642	517
75%	7/19	4	783	762	756	657	568
		5	794	784	746	611	484
50%	7/19	4,5	648	634	614	527	438
		4,5	656	636	614	523	436
		4,5	677	650	611	514	430
	6/19	4	645	625	615	538	444
		5	647	633	617	533	441
		6	645	629	617	540	446
	5/19	5,5	642	625	619	544	455
		4	636	623	620	552	462
	4/19	4,5	628	610	610	553	467
		5	617	605	603	551	471
25%	4/19	5	842	809	624	509	429
	5/19	6	772	757	648	542	450
	6/19	4	755	748	639	534	445
	7/19	4,5	733	727	631	530	441
Udara		6	771	767	730	642	527

Tabel 8 menunjukkan komposisi gas standar analisa (menurut label, GC, dan perhitungan) yang digunakan untuk kalibrasi alat Gas Chromatography (GC).

Tabel 8 Komposisi gas standar analisa

Komponen	Kandungan Gas Standar, %		
	Label	GC	Perhitungan
N ₂	83,00	82,5347	55,0000
H ₂	5,09	5,6689	14,6061
CO	5,18	5,1433	13,2519
CH ₄	1,05	1,0379	2,6742
CO ₂	5,68	5,6152	14,4678
Total	100	100	100

Tabel 9 menunjukkan komposisi *syngas* hasil gasifikasi sekam padi menggunakan media udara tanpa *steam*.

Tabel 9. Komposisi Syngas (Media: Udara tanpa Steam)

Komponen	Kandungan Syngas, %	
	GC	Perhitungan
N ₂	79,3842	55,0000
H ₂	1,2939	2,8243
CO	3,7162	8,1117
CH ₄	2,6890	5,8695
CO ₂	12,9168	28,1947
Total	100	100
Rasio H ₂ /CO		0,35

Tabel 10 dan Tabel 11 masing-masing menunjukkan komposisi syngas hasil gasifikasi sekam padi menggunakan media udara+steam pada bukaan katup steam 25%, dan 50%.

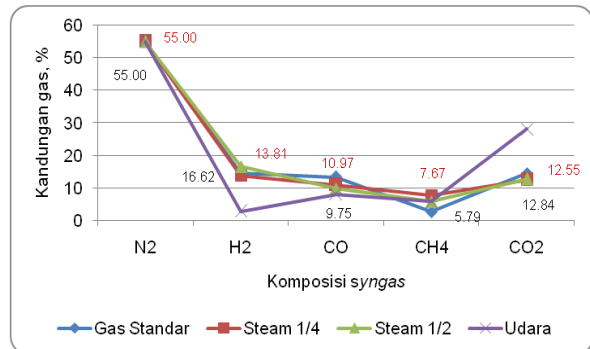
Tabel 10. Komposisi Syngas Media: Udara+ Steam Bukaan valve steam: 25%

Komponen	Kandungan Syngas, %	
	GC	Perhitungan
N ₂	81,2289	55,0000
H ₂	5,7624	13,8142
CO	4,5745	10,9665
CH ₄	3,1977	7,6659
CO ₂	5,2365	12,5535
Total	100	100
Rasio H ₂ /CO		1,26

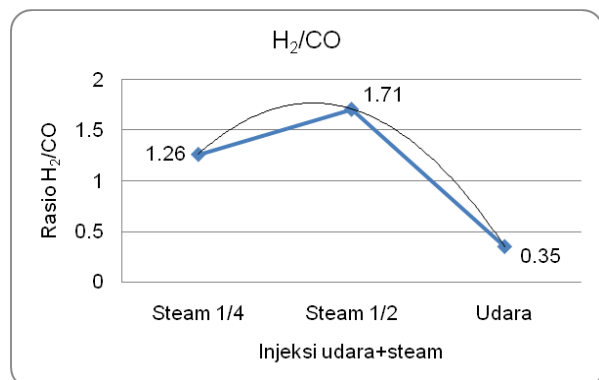
Tabel 11. Komposisi Syngas Media: Udara+ Steam Bukaan valve steam: 50%

Komponen	Kandungan Syngas, %	
	GC	Perhitungan
N ₂	74,0395	55,0000
H ₂	9,5897	16,6228
CO	5,6255	9,7513
CH ₄	3,3397	5,7890
CO ₂	7,4056	12,8369
Total	100	100
Rasio H ₂ /CO		1,71

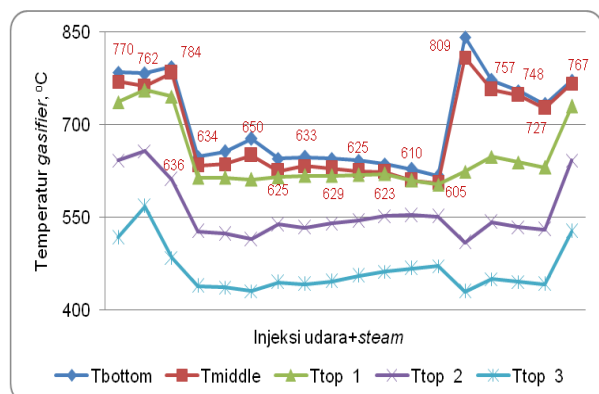
Gambar 7 menunjukkan korelasi antara injeksi udara+steam dan temperatur *gasifier*, sementara Gambar 8 menunjukkan korelasi antara injeksi udara+steam dan rasio H₂/CO, sedangkan Gambar 9 menunjukkan kualitas syngas.



Gambar 7. Korelasi antara injeksi udara+steam dan temperatur *gasifier*



Gambar 8. Korelasi antara injeksi udara+steam dan rasio H₂/CO



Gambar 9. Kualitas syngas

4.2. Pembahasan

Kualitas produk syngas hasil gasifikasi sekam padi yang menggunakan *fixed bed updraft gasifier* sangat dipengaruhi oleh injeksi udara+steam.

4.2.1. Temperatur *gasifier*

Pada awalnya, kondisi operasi *gasifier* seperti ditunjukkan Tabel 7 dan Gambar 7 pada tekanan 6 bar dan temperature *gasifier* (T_{middle}) 767°C, kemudian steam diinjeksikan pada tekanan 4 bar dengan bukaan valve steam 75% dan injeksi udara dengan bukaan valve udara 7/19,

temperatur *gasifier* (T_{middle}) meningkat hingga mencapai 784°C.

Saat injeksi udara+steam (bukaan *valve steam* 50% dan *valve* udara 7/19), T_{middle} *gasifier* secara bertahap mengalami penurunan hingga 650°C pada tekanan 4,5 bar. Bahkan dicoba mengubah bukaan *valve* udara 6/19, 5/19, 4/19 justru (T_{middle}) *gasifier* drastis turun hingga mencapai 605°C pada tekanan 5 bar. Selanjutnya, bukaan *valve steam* diatur 25% sementara bukaan *valve* udara tetap 4/19, (T_{middle}) *gasifier* meningkat kembali hingga 809°C. Namun setelah bukaan *valve* udara secara berturut-turut diubah dari (5/19, 6 bar), (6/19, 4 bar), dan (7/19, 4,5 bar) dengan bukaan *valve steam* tetap 25%, (T_{middle}) *gasifier* mengalami penurunan hingga mencapai 727°C. Akhirnya, pengoperasian *gasifier* dilakukan dengan menginjeksikan udara tanpa *steam* pada tekanan 6 bar sehingga temperatur *gasifier* (T_{middle}) kembali naik hingga 767°C.

Kecenderungan fenomena pengaruh injeksi udara+steam terhadap temperatur *gasifier* tersebut juga dialami oleh seluruh zona temperatur *gasifier* (T_{bottom} , $T_{top 1}$, $T_{top 2}$, $T_{top 3}$).

4.2.2. Rasio H_2/CO

Tabel 9, Tabel 10, Tabel 11 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa dengan injeksi *steam* sebagai media gasifikasi campuran udara akan meningkatkan rasio H_2/CO dari 0,35 (udara), 1,26 (udara+steam 25% bukaan *valve*), dan 1,71 (udara+steam 50% bukaan *valve*), sehingga meningkatkan kualitas *syngas* yang dihasilkan. Dengan demikian, penambahan *steam* sebagai media gasifikasi campuran udara pada kondisi tertentu diprediksi meningkatkan rasio H_2/CO .

4.2.3. Kualitas *syngas*

Tabel 10, Tabel 11 dan Gambar 9 menunjukkan bahwa komposisi dan kandungan *syngas* dengan rasio $H_2/CO = 1,26-1,71$ telah cukup memenuhi persyaratan kualitas umpan proses sintesa *Fischer-Tropsch* (rasio $H_2/CO > 1$) untuk diolah lanjut menjadi bahan bakar cair sintesis.

Namun demikian, belum diperoleh kondisi operasi gasifikasi sekam padi yang optimum di dalam *fixed bed updraft gasifier* untuk menghasilkan *syngas* dengan *yield* tinggi (>30%), mengingat temperatur operasi yang masih memungkinkan >650°C.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas dapat ditarik beberapa hal sebagai berikut.

Fluktuasi temperatur gasifikasi di dalam masing-masing zona *gasifier* dipengaruhi oleh

variasi tekanan injeksi udara+steam, maupun variasi bukaan *valve steam* dan udara.

Injeksi *steam* yang maksimum hanya dapat dilakukan pada bukaan *valve steam* 50% dan bukaan *valve* udara 7/19 (rasio volumetrik *steam*/udara = 0.6–0.7) dengan capaian temperatur *gasifier* $T_{bottom} = 650^\circ C$ pada tekanan 4,5 bar.

Injeksi *steam* pada bukaan *valve steam* 75% dan bukaan *valve* udara 7/19 terjadi penurunan temperatur *gasifier* secara drastis.

injeksi *steam* sebagai media gasifikasi campuran udara meningkatkan rasio H_2/CO , sehingga kualitas *syngas* meningkat.

Kualitas *syngas* dengan rasio $H_2/CO = 1,26-1,71$ telah cukup memenuhi persyaratan umpan proses sintesa *Fischer-Tropsch* (rasio $H_2/CO > 1$) untuk diolah lanjut menjadi bahan bakar cair sintesis.

Perlu penambahan *flowmeter steam* dan udara, agar dapat teramati masing-masing laju alirannya untuk mengetahui rasio volumetrik *steam*/udara.

Mengingat kondisi temperatur operasi gasifikasi sekam padi di dalam *fixed-bed updraft gasifier* yang masih memungkinkan >650°C, maka masih perlu pengujian lanjutan untuk menghasilkan *syngas* yang optimum dengan *yield* tinggi (>30%).

DAFTAR PUSTAKA

- Bridgwater A.V., Evans G.D., 1993. *An Assessment of Thermochemical Conversion Systems for Processing Biomass and Refuse*. Energy Technology Support Unit (ETSU) on Behalf of the Department of Trade, ETSU B/T1/00207/REP.
- Carlos L. 2005. *High temperature air/steam gasification of biomass in an updraft fixed batch type gasifier*. PhD thesis. Royal Institute of Technology, Energy Furnace and Technology, Stockholm, Sweden.
- Chopra S., Jain A., 2007. *A Review of Fixed Bed Gasification Systems for Biomass*. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Invited Overview No. 5. Vol. IX. April, 2007.
- Clarke S.J., 1981. *Thermal biomass gasification*. Agricultural Engineering 62(5):14–15.
- Garcia-Bacaicoa, P., Bilbao, R., Arauzo, J., Salvador, M. L. 1994. *Scale-Up of Downdraft Moving-bed Gasifiers (25–300 kg/h) – Design Experimental Aspects and Results*, Bioresource Technology Vol. 48, 229–235.

Hefei Debo Bioenergy Science & Technology
Co.,Ltd. <http://www.hfdepo.com>

Mukunda H.S., Dasappa S., Paul P.J., Rajan N.K.S., Shrinivasa U., 1994. *Gasifiers and Combustors for Biomass – Technology and Field Studies*. Energy for Sustainable Development. 1(3):27–38

Olofsson I., Nordin A., Sonderlimd U., 2005. *Initial Review and Evaluation of Process Technologies and Systems Suitable for Cost-Efficient Medium-Scale Gasification for Biomass to Liquid Fuels*, ISSN 1653-0551 ETPC Report 05–02, Energy Technology & Thermal Process Chemistry, University of Umeå, Sweden.

Stassen H.E.M., Knoef H.A.M., 1993. *Small-scale Gasification Systems*. The Netherlands: Biomass Technology Group, University of Twente.