

# Pengaruh *Equivalence Ratio* Terhadap Efisiensi Termal Proses Gasifikasi Sistem *Downdraft* Satu Saluran Udara Masuk Dengan Menggunakan Biomassa Sekam Padi

## (*The Effect Of Equivalence Ratio To The Thermal Efficiency Downdraft Gasification Process With One Channel Of Air Entry By Using The Rice Husk*)

Mochammad Heru S<sup>1</sup>, Nasrul Ilminnafik<sup>2</sup>, Tri Mulyono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember J  
In. Kalimantan 37, Jember 68121  
email: nasrul.teknik@unej.ac.id

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian dengan menggunakan reaktor *downdraft* pada gasifikasi sekam padi, menghasilkan nilai kalor 3289 kJ/kg dan efisiensi termal sebesar 43,68%<sup>[2]</sup> dengan bervariasi nilai perbandingan udara bahan bakar. Pada penelitian ini juga menggunakan reaktor gasifikasi *downdraft* dengan satu saluran udara masuk berdiameter 5,08 cm dengan bervariasi nilai *equivalence ratio* untuk mengetahui efisiensi termal dari proses gasifikasi. Variasi nilai *equivalence ratio* pada proses gasifikasi ialah 0,21, 0,26, 0,31, dan 0,36. Hasil penelitian didapatkan nilai kalor bawah (LHV) dan efisiensi paling besar pada nilai *equivalence ratio* 0,26. Besarnya nilai kalor bawah adalah 5370 kJ dan efisiensi termalnya adalah 59,64%. Pada proses gasifikasi memiliki nilai *Equivalence ratio* optimal pada range 0,2-0,3. Semakin menjauh dari range ER yang optimal, akan menurunkan komposisi *flammable gas*, nilai kalor bawah (LHV), dan efisiensi termalnya, dikarenakan LHV berbanding lurus dengan efisiensi termalnya.

**Kata kunci:** sekam padi, efisiensi termal, *downdraft gasification*, *Equivalence Ratio*.

### Abstract

Research has been conducted using gasification *downdraft* of rice husk, resulting LHV 3289 kJ/kg and thermal efficiency in 43,68% with using variation of Air Fuel Ratio. On the research, committed using gasifier *downdraft* one channel air entrance in diameter 5.08 cm with varying the value of *Equivalence Ratio (ER)* to know efficiency thermal of gasification process. The variation of ER in gasification process is 0.21, 0.26, 0.31, and 0.36. Research result obtained the highest lower heating value (LHV) and efficiency is in ER 0.26. The Value of LHV is 5370 kj and the thermal efficiency of Gasification process is 59,64 %. On this process has the optimally value of ER in the range 0,2-0,3. Getting away from the optimal range of ER, will decrease composition of *flammable gas*, value of LHV, and the thermal efficiency of it, because LHV is directly proportional to the thermal efficiency.

**Keywords:** Rice husk, thermal efficiency, *downdraft gasification*, *Equivalence Ratio*.

### Pendahuluan

Indonesia memproduksi 146,7 juta ton biomassa pertahun. Biomassa sekam padi diproduksi sebesar  $\pm 70$  juta ton per tahun. Pada setiap 1 kilogram padi dapat menghasilkan 280 gram sekam. Jadi dihasilkan sekitar 19 juta ton sekam padi pada tahun 2013 [7]. Jumlah yang sangat potensial untuk dikembangkan menjadi energi alternatif. Dengan mengetahui komposisi dan kandungan kimia yang terdapat di dalam sekam padi, bahan tersebut dapat dijadikan sumber energi alternatif melalui proses gasifikasi

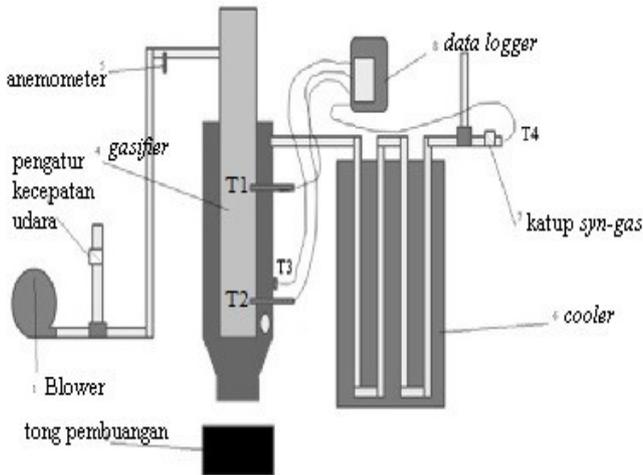
Beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan reaktor jenis *downdraft* telah dilakukan. Salah satunya yang telah dilakukan oleh Putri, yang menggunakan biomassa tongkol jagung sebagai bahan baku proses gasifikasi *downdraft* dengan variasi AFR (*Air Fuel Ratio*), menunjukkan bahwa AFR sebesar 1,05 menghasilkan

efisiensi terbaik dari *syn-gas* sebesar 30,44% [1]. Setiawan, yang menggunakan biomassa sekam padi sebagai bahan baku proses gasifikasi aliran searah dengan variasi AFR juga menghasilkan efisiensi terbaik sebesar 43,68% dengan nilai LHV sebesar 3289,38 kJ/kg [2]. Atok, melakukan penelitian gasifikasi menggunakan *gasifier* tipe *downdraft* dengan satu saluran masuk dengan bervariasi berat dari sekam padi yang digunakan, tetapi tidak melakukan pengontrolan kecepatan udara yang masuk ke gasifier. Udara yang masuk ke dalam *gasifier* berasal dari blower. Sekam padi divariasi pada berat 3 kg, 6 kg, 9 kg dan 12 kg. Efisiensi terbaik adalah pada berat sekam padi 9 kg sebesar 10,1% [3]. Moni dan Sulaiman, melakukan penelitian menggunakan biomassa daun kelapa sawit menggunakan variasi operasi waktu dan temperatur reaktor gasifikasi menghasilkan LHV terbaik sebesar 5000 kJ/Nm<sup>3</sup> [5]. Kidoguchi, melakukan penelitian untuk mengembangkan nilai efisiensi termal terbaik

menggunakan perhitungan dari performa dari reaktor gasifikasi [6].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai *equivalence ratio* proses gasifikasi terhadap komposisi *syn-gas*, LHV *syn-gas* dan efisiensi termal proses gasifikasi. Dengan memperhatikan analisa *proximate* dan *ultimate* sekam padi yang meliputi presentase *moisture* (9,47%), C(42,54%), H(4,99%), O(37,75%), N(0,2%), S(0,04%) dan nilai LHV sebesar 17,6 MJ/kg [2] sebagai parameter pendukung bahwa sekam padi efektif dan cocok untuk dikonversi melalui proses gasifikasi.

### Metode Penelitian



Gambar 1 Skema kerja proses gasifikasi

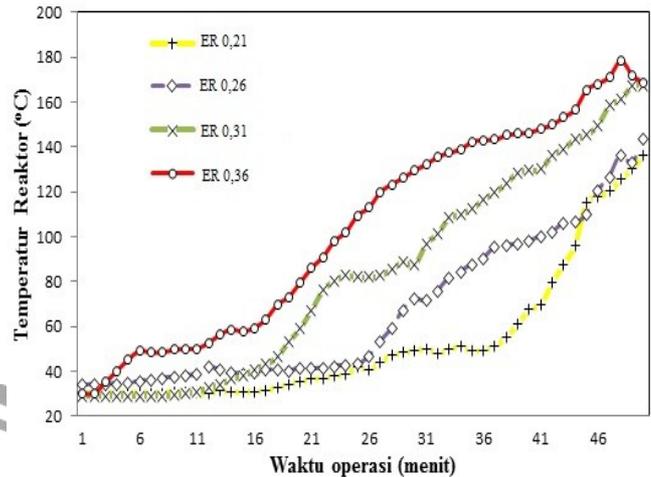
Gambar 1 menunjukkan reaktor gasifikasi tipe *downdraft*. Untuk mengetahui distribusi temperatur dalam reaktor gasifikasi, maka dipasang 2 termokopel dalam reaktor.

Penelitian dilakukan dengan memasukkan sekam padi sebanyak 5 kg ke dalam reaktor gasifikasi (*gasifier*). Pengambilan data komposisi *syn-gas* dengan cara memasukkan gas ke dalam balon pada saat gas memiliki kandungan *flammable gas* yang tinggi dibuktikan ketika dipantik dengan korek api, menghasilkan api dengan nyala yang stabil. Pengambilan gas tersebut dilakukan sampai api tidak menyala dengan stabil. *Syn-gas* yang sudah diambil dari penelitian ini diuji komposisi CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub> menggunakan *gas chromatography*. Dilakukan penelitian dengan variasi nilai ER yang lain yakni menggunakan variasi nilai ER 0,21, 0,31, 0,36.

Komposisi yang didapatkan melalui pengujian gas digunakan untuk mencari nilai kalor (LHV) yang terkandung dalam *syn-gas*.

## Hasil Dan Pembahasan

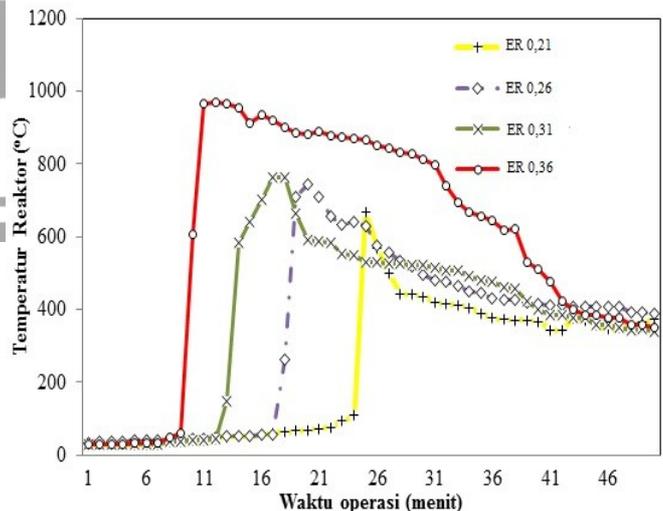
### A. Distribusi Temperatur Pada Reaktor



Gambar 2. Distribusi temperatur pada T1

Pada Gambar 1, untuk zona yang pertama (T1) zona yang letaknya paling atas dinamakan zona drying dengan range temperatur 100-200°C. Zona ini menerima panas dari zona oksidasi. T1 diindikasikan sebagai zona drying dikarenakan temperturnya memiliki range 30-190°C.

Pada ER 0,36, di menit ke-12 T2 mencapai temperatur 600°C dan selama 10 menit yaitu pada menit 22, zona *drying* menerima panas sehingga mulai menaikkan temperatur T1 mencapai 91°C. Pada temperatur ±100°C ikatan H<sub>2</sub>O (*moisture*) bebas yang berada dalam biomassa dihilangkan. Kemudian akan naik temperturnya dan dimulailah proses pemecahan *volatile matter* (*volatilizing*).

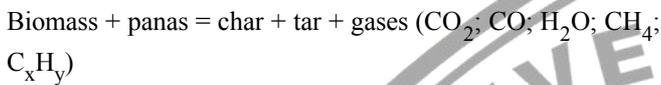


Gambar 3. Distribusi Temperatur pada T2

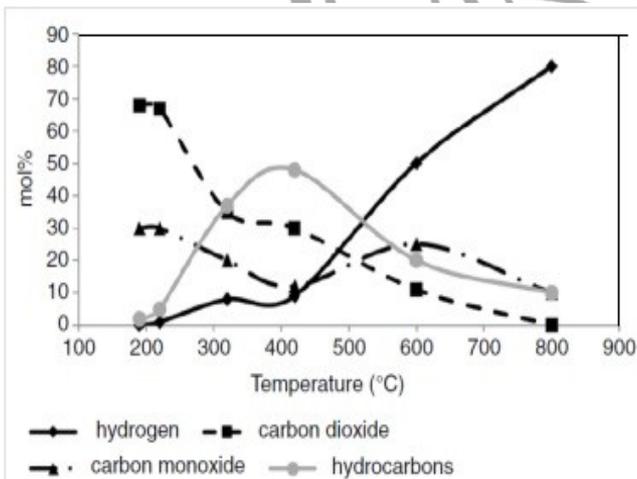
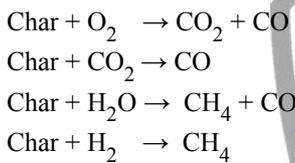
Temperatur reaktor posisi 2 (T2) merupakan indikator untuk proses pirolisis karena terletak pada range 300-900°C. Menurut Putri (2009), bahwa proses pirolisis prosesnya dimulai pada temperatur sekitar 300°C–900°C. Pada T2 terjadi kenaikan temperatur yang signifikan dikarenakan

udara melakukan reaksi eksoterm pada zona oksidasi sehingga membuat temperatur meningkat terus. Kemudian panas tersebut terdistribusi ke zona pirolisis sehingga membuat T2 mengalami peningkatan yang signifikan. Setelah menerima panas, terjadi reaksi endoterm sehingga temperatur menurun secara perlahan selama proses berlangsung.

Pada daerah ini, bahan baku kering yang sudah berkurang kadar airnya, dipanaskan secara terus-menerus, sehingga Hemmicelulosa, Cellulose dan lignin pada biomassa serta volatile matter dapat terpecah dan menguap. Hemmicelulosa menguap pada range temperatur 150-350°C menghasilkan gas yang tidak dapat diembunkan (noncondensable gas), Cellulose menguap pada range temperatur 275-350°C menghasilkan uap dan tar, lignin berkurang secara perlahan pada range 250-500°C menghasilkan char (Basu,2010). Secara umum produk dari pirolisis adalah H<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, arang dan tar. Yang dapat direaksikan seperti berikut :



Char hasil dari proses pirolisis akan direaksikan pada zona berikutnya, reaksi yang terjadi antara lain adalah.

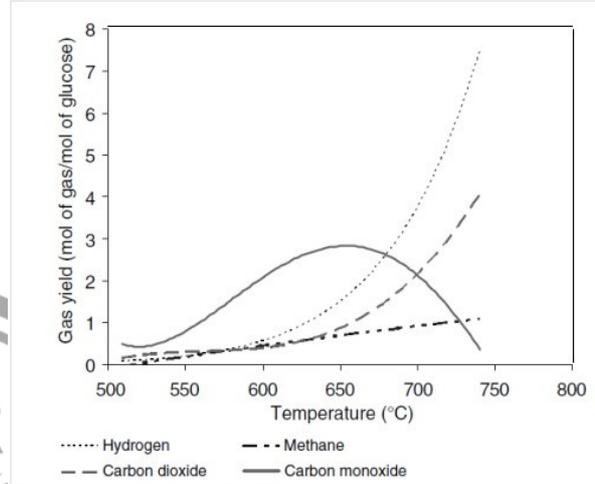


Gambar 4. Pengaruh temperatur proses pirolisis terhadap syngas<sup>[4]</sup>

Jadi, flammable gas yang diproduksi pada proses gasifikasi ditentukan juga dengan hasil char saat proses pirolisisnya. Pada ER 0,36, T2 mencapai range 600-800°C sehingga char yang dihasilkan lebih sedikit daripada kecepatan udara masuk lain. Kandungan CO, H<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub> dari gasifier juga paling sedikit persentasenya, dikarenakan hasil char yang akan dikonversikan menjadi gas CO, H<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub> sedikit jumlahnya. T2 pada ER 0,36 memiliki range temperatur yang lebih tinggi daripada nilai ER yang lainnya. Nilai ER

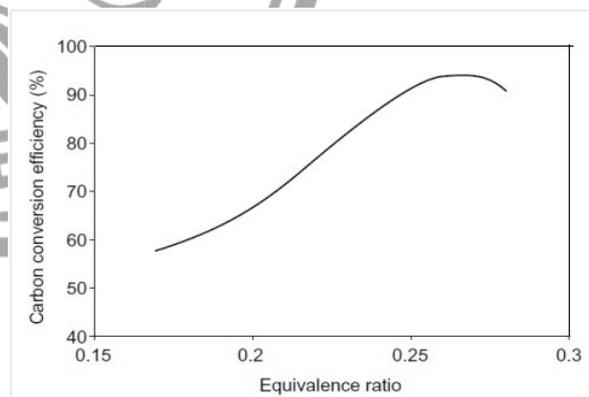
yang besar berbanding lurus dengan laju alir udara yang menyebabkan suplai udara yang masuk ke dalam gasifier lebih banyak daripada variasi nilai ER yang lainnya, sehingga oksigen yang bereaksi juga lebih banyak dan mampu untuk menaikkan temperatur pada zona oksidasi lebih tinggi daripada kecepatan udara masuk lainnya.

B. Data Perhitungan ER.



Gambar 5. Pengaruh temperatur reaktor terhadap kandungan syngas<sup>[4]</sup>

Range ER yang optimal 0,2-0,3. Pada ER <0,2 terdapat beberapa masalah yakni proses gasifikasi yang tidak lengkap, berlebihan dalam pembentukan char dan nilai kalor syngasnya rendah. Sedangkan jika ER terlalu tinggi (>0,4) lebih banyak menghasilkan produk dari pembakaran sempurna [4]. Dalam penelitian ini nilai ER dari keempat variasi kecepatan berturut-turut adalah 0,21, 0,26, 0,31, dan 0,36.



Gambar 6. pengaruh nilai ER terhadap efisiensi konversi karbon<sup>[4]</sup>

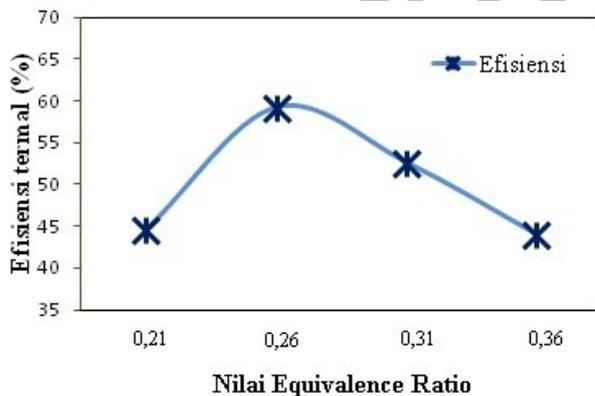
Keadaan dengan nilai ER 0,21 karbon yang terkonversi sekitar 60%, sehingga menghasilkan nilai CO sebesar 9,66%, karena masih termasuk zona gasifikasi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan kecil (6%), dan kandungan CH<sub>4</sub> tinggi (11,9%) sehingga menghasilkan LHV 4733 kJ. Presentase kandungan syngas nanti digunakan untuk mencari nilai densitas dari syngas yang akan digunakan sebagai pembagi antara massa syngas dan LHV syngas. Efisiensinya sebesar 44,96 %.

Pada keadaan  $ER$  0,26, pada Gambar 6 karbon yang terkonversi sekitar 90% sehingga nilai  $CO$  dan  $CH_4$  paling tinggi daripada variasi kecepatan udara masuk lainnya. Efisiensinya sebesar 59,64%.

Pada keadaan dengan nilai  $ER$  sebesar 0,31, karbon yang terkonversi menurun diangka 65%. Kandungan  $CO$  mengalami penurunan sedikit (12,35%). Pada keadaan ini temperatur reaktor lebih tinggi daripada temperatur reaktor pada  $ER$  0,21 dan 0,26, dikarenakan suplai udara yang lebih banyak, sehingga menghasilkan  $CO_2$  yang lebih banyak. Efisiensinya sebesar 53,05%.

Pada keadaan dengan nilai  $ER$  0,36. Karbon yang terkonversi turun dan pada penelitian ini hanya menghasilkan 10,39%.  $CO_2$  naik jumlah kandungannya karena pada nilai  $ER$  mendekati 0,4 proses pembakaran sudah mendekati pembakaran sempurna, sehingga kandungan  $CO_2$  pada keadaan ini lebih banyak daripada variasi kecepatan udara masuk lainnya. Efisiensinya sebesar 44,43%.

### C. Pengaruh Equivalence Ratio terhadap Efisiensi thermal



Gambar 7. Nilai efisiensi pada variasi kecepatan udara masuk

Dari Gambar 7 terlihat bahwa nilai efisiensi tertinggi didapatkan pada nilai  $ER$  0,26 sebesar 59,64%.  $ER$  yang optimal untuk proses gasifikasi adalah 0,2-0,3. karbon yang dihasilkan mampu terkonversi dengan baik sehingga kandungan *flammable gas* tinggi, nilai LHV-nya tinggi, energi syn-gas juga tinggi.

Pada  $ER$  0,31 komposisi *flammable gas* turun, karbondioksida naik. Pada nilai  $ER$  adalah 0,36 juga sama yaitu komposisi *flammable gas* turun, produksi karbondioksida sangat banyak.

Semakin menjauhnya nilai  $ER$  dari nilai optimalnya, akan menurunkan komposisi *flammable gas*, sehingga akan menurunkan nilai kalor dan efisiensinya.

## Kesimpulan

Dari penelitian dengan bervariasi nilai  $ER$  didapatkan kesimpulan bahwa semakin menjauhnya nilai  $ER$  dari nilai optimalnya (0,2-0,3), akan menurunkan nilai kalor rendah

(LHV). Nilai efisiensi termalnya juga ikut turun, karena nilai efisiensi berbanding lurus dengan nilai kalor rendahnya.

## Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi kecepatan udara masuk yang lain, atau memvariasikan nilai  $ER$  dibawah 0,2 atau dapat juga di atas 0,3. Untuk lebih meyakinkan pengaruh nilai  $ER$  terhadap komposisi *flammable gas*, nilai kalor rendah dan efisiensinya.

## Daftar Pustaka

- [1] Putri, G.A. 2009. *Pengaruh Variasi Temperatur Gasifying Agent II Media Gasifikasi Terhadap Warna Dan Temperatur Api Paada Gasifikasi Reaktor Downdraft Dengan Bahan Baku Tongkol Jagung*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [2] Setiawan, D. 2011. *Karakterisasi Proses Gasifikasi Downdraft Berbahan Baku Sekam Padi dengan Desain Sistem Biomassa Secara Kontinyu dengan Variasi AFR*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin, Teknologi Industri, ITS.
- [3] Atok, M.A. 2013. *Uji Performa Reaktor Gasifikasi Tipe Downdraft Pada Berbagai Berat Biomassa*. Universitas Jember. Jember.
- [4] Basu, P. *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory*. Elsevier inc.
- [5] Moni, M.N.Z. 2013. *Downdraft Gasification of Oil Palm Frond Effect of Temperature and Operation Time*. Department of Mechanical Engineering. University Technology PETRONAS. Malaysia.
- [6] K. Kidoguchi et al., July 2004. *Development of high thermal efficient gasification technology of biomass and waste - Proposal of gasification method by calculation for forecasting gasification performance*. CRIEPI Report, W03026. Japan.
- [7] Belonio, A.T. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Department of Agriculture Engineering and Environment Management Collage of Agriculture Central Philippine University. Iloilo City. Philippine