

# PENGARUH VARIASI KECEPATAN UDARA TERHADAP KINERJA TUNGKU GASIFIKASI SEKAM PADI TIPE *DOWNDRAFT* KONTINU

**Subroto, Nurhadi Saputra**

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A Yani Tromol Pos 1 Pabelan Surakarta

*E-mail: [subroto@ums.ac.id](mailto:subroto@ums.ac.id)*

## ABSTRAK

*Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas, dengan cara mengendalikan udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan udara pembakaran terhadap kinerja pada tungku gasifikasi tipe downdraft. Kinerja tungku meliputi karakteristik temperatur pembakaran, waktu penyalaan awal dan lamanya waktu pembakaran atau waktu nyala efektif. Penelitian dilakukan dengan cara memvariasikan kecepatan udara yang masuk kedalam tungku dengan variasi kecepatan 6,0 m/s, 7,0 m/s dan 8,0 m/s, data yang diambil meliputi temperatur pembakaran, waktu penyalaan awal dan lama waktu nyala efektif. Hasil penelitian menunjukkan variasi kecepatan udara berpengaruh terhadap temperatur pembakaran, waktu penyalaan awal dan lama waktu nyala efektif yang dihasilkan. Temperatur pembakaran tertinggi pada kecepatan udara 8 m/s, 7 m/s, 6 m/s sedangkan waktu penyalaan tercepat pada kecepatan udara 8 m/s, 7 m/s, 6 m/s dan lama waktu nyala efektif pada kecepatan udara 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s*

**Kata kunci:** *Gasifikasi, downdraft kontinu, kinerja, kecepatan udara*

## PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi menjadi hal yang sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia, sampai saat ini sebagian besar energi yang dibutuhkan masih berasal dari sumber-sumber energi yang tidak terbarukan yang jumlahnya semakin hari semakin menipis.

Cadangan minyak yang dimiliki Indonesia diperkirakan tidak akan bertahan lebih dari 11 tahun. Hal ini terjadi jika laju produksi minyak Indonesia terus berada pada kisaran 800 ribu barel per hari (bph). Sekretaris SKK Migas Gde Pradyana mengatakan, masyarakat seharusnya menyadari Indonesia saat ini tidak lagi kaya akan sumber daya energi fosil seperti minyak bumi. Semakin menipisnya cadangan energi yang dimiliki serta semakin bertambah tingginya tingkat konsumsi dari masyarakat membuat impor terhadap komoditas energi tidak dapat dihindari, pemenuhan kebutuhan energi dengan jalan impor ini tentu memiliki banyak konsekuensi negatif yang harus ditanggung yaitu harga yang tidak stabil dan besarnya tambahan biaya untuk mendatangkan sumber energi tersebut, dampaknya adalah biaya yang harus dikeluarkan untuk memperoleh energi tersebut menjadi tinggi.

Energi alternatif yang terbarukan adalah salah solusi yang bisa membantu untuk mengatasi semakin menipisnya cadangan energi. Banyak sekali metode atau cara yang bisa diterapkan untuk memperoleh sumber-sumber energi alternatif salah satunya yaitu dengan metode

gasifikasi. Gasifikasi adalah proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi bahan bakar gas, dimana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Proses gasifikasi ini dapat memanfaatkan banyak bahan-bahan yang seringkali dikategorikan sebagai sampah/bahan-bahan yang tidak lagi terpakai seperti, sekam padi, serbuk gergaji, batok kelapa, dan lain-lain. Selain bisa menghasilkan sumber energi proses ini juga bisa membantu mengurangi penanggulangan sampah.

Proses gasifikasi menghasilkan gas-gas yang sifatnya mudah terbakar yaitu CH<sub>4</sub> (Metana), H<sub>2</sub> (Hidrogen) dan CO (karbon monoksida), sehingga bisa menggantikan fungsi dari bahan bakar. Oleh karena itu penelitian dan pengembangan teknologi gasifikasi sebagai salah satu sumber energi alternatif harus terus menerus ditingkatkan agar bisa mendapatkan efisiensi dan efektivitas yang paling maksimal.

Berdasarkan arah alirannya gasifikasi dibedakan menjadi gasifikasi *downdraft*, *updraft* dan *crossdraft*, gasifikasi tipe *downdraft* adalah gasifikasi yang memiliki arah padatan dan aliran udara yang sama yaitu ke bawah menuju zona gasifikasi yang panas, hal ini memungkinkan tar yang terdapat pada asap terbakar sehingga gas yang dihasilkan lebih bersih. Keuntungan gasifikasi tipe *downdraft* adalah dapat dioperasikan secara berkesinambungan dengan cara menambahkan bahan bakar melalui bagian atas reaktor.

Udara merupakan komponen utama dalam proses pembakaran gasifikasi, kecepatan udara yang masuk tungku sangat berpengaruh terhadap efektivitas pembakaran untuk itu perlu dilakukan penelitian terhadap kecepatan udara yang paling efektif untuk digunakan.

## TUJUAN PENELITIAN

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan udara terhadap temperatur pembakaran.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan udara terhadap waktu penyalaan awal.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan udara terhadap waktu nyala efektif.

## TINJAUAN PUSTAKA

Lailun Najib, Sudjud Darsopuspito (2012), melakukan penelitian Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem *Downdraft* Kontinu Dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (*AFR*) Dan Ukuran Biomassa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar *AFR* (*Air Fuel Ratio*) maka semakin kecil komposisi *flammable gas* (gas yang mudah terbakar), hal ini dikarenakan besarnya laju aliran udara yang masuk ke dalam tungku tidak sebanding dengan laju aliran biomassa yang dihasilkan sehingga udara yang masuk ke dalam tungku gasifikasi menjadi berlebih, maka akan terbentuk banyak gas O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> dan *Flammable gas* (H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>) berkurang [1].

Budi Setiawan (2014), melakukan pengujian gasifikasi batu bara dengan menggunakan tungku gasifikasi tipe *up draft* dengan variasi kecepatan udara untuk keperluan karbonasi. Pengujian menggunakan variasi kecepatan udara 2,0 m/s, 4,0 m/s dan 6,0 m/s, hasil pengujian menyatakan bahwa variasi udara berpengaruh terhadap temperatur pembakaran, dari pengujian diperoleh data bahwa kecepatan udara 6,0 m/s yaitu memiliki temperatur sebesar 369°C, kecepatan udara 4,0 m/s memiliki temperatur sebesar 294°C dan kecepatan udara 2,0 m/s sebesar 232°C [2].

Handoyo (2013), melakukan pengujian gasifikasi sekam padi dengan menggunakan tungku tipe *up draft* dengan variasi kecepatan udara terhadap temperatur pembakaran dengan bahan bakar sekam padi. Pengujian menggunakan variasi kecepatan udara 3,5 m/s, 4,0 m/s dan 4,5 m/s, dari ketiga variasi kecepatan tersebut hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan udara yang digunakan maka semakin tinggi temperatur yang dihasilkan [3].

## Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah daun tanaman, pepohonan, rumput, 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). Yang digunakan untuk bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya.

Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi) karena beberapa sifatnya yang menguntungkan yaitu, dapat dimanfaatkan secara lestari karena sifatnya yang dapat diperbaharui (*renewable resources*), relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian [4].

## Gasifikasi

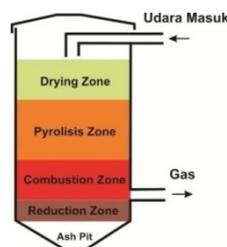
Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas, dimana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Produk yang dihasilkan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian utama, yaitu: padatan, cairan dan gas permanen.

Gas hasil gasifikasi terdiri dari gas-gas yang dapat/mudah dibakar yaitu  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  dan  $\text{CH}_4$ , pengotor *inorganic* berupa gas-gas yang tidak dapat terbakar seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  serta debu halus dan pengotor organik yaitu Tar. Komposisi gas yang terkandung sangat tergantung pada komposisi dari unsur yang digunakan sebagai bahan bakar.

## Jenis-jenis Gasifikasi

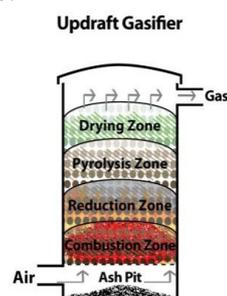
Berdasarkan arah aliran Gasifikasi dapat dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu:

- Gasifikasi aliran searah (*Downdraft gasification*) yaitu arah aliran padatan dan gas sama-sama kebawah.



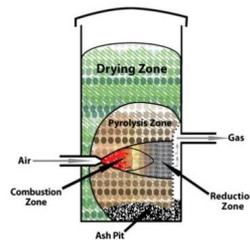
Gambar 1. Gasifikasi *Downdraft* [5]

- Gasifikasi aliran berlawanan (*Updraft gasification*) yaitu arah aliran padatan kebawah sedangkan arah aliran gas keatas.



Gambar 2. Gasifikasi *Updraft* [5]

- c. Gasifikasi *Croscraft* yaitu arah aliran gas dijaga mengalir mendatar dengan aliran padatan kebawah.



Gambar 3. Gasifikasi *Croscraft* [5]

### Tahapan Proses Gasifikasi

- a. *Drying* atau pengeringan ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ )

Pada tahap pengeringan, kandungan air pada bahan bakar padat diuapkan oleh panas yang diserap dari proses oksidasi.

- b. *Pirolisis* atau *devolatilisasi* ( $150^{\circ}\text{C} < T < 550^{\circ}\text{C}$ )

*Pirolisis* atau *devolatilisasi* disebut juga sebagai gasifikasi parsial. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses *Pirolisis* yang dimulai secara lambat pada  $T < 100^{\circ}\text{C}$  dan terjadi secara cepat pada  $T > 200^{\circ}\text{C}$ . Proses *Pirolisis* dimulai pada temperatur sekitar  $230^{\circ}\text{C}$ . Produk *Pirolisis* umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{CH}_4$ ), tar dan arang.

- c. Oksidasi atau pembakaran ( $70^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ )

Oksidasi atau pembakaran arang merupakan reaksi terpenting yang terjadi didalam *gasifier*. Oksigen yang dipasok kedalam *gasifier* bereaksi dengan bahan yang mudah terbakar. Hasil reaksi tersebut adalah  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada *pirolisis*.

- d. Reduksi ( $50^{\circ}\text{C} < T < 120^{\circ}\text{C}$ )

Reduksi merupakan tahapan gasifikasi yang melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang didukung oleh panas, serta diproduksi dari reaksi pembakaran. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah gas bakar, seperti:  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ .

### Sekam Padi

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi bulir beras yang terdiri dari dua belahan yang disebut *lemma* dan *palea* yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomasa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar.

Sekam padi adalah salah satu energi alternatif yang dapat digunakan untuk menanggulangi krisis energi yang terjadi saat ini khususnya di daerah pedesaan. Energi sekam padi tidak hanya jumlahnya berlimpah tetapi juga merupakan energi terbarukan, tidak seperti sumber bahan bakar fosil yang jumlahnya terbatas dan bukan merupakan energi terbarukan. Ketersediaan sekam padi di hampir 75 negara di dunia diperkirakan sekitar 100 juta ton dengan energi potensial berkisar  $1,2 \times 10^9$  GJ/tahun dan mempunyai nilai kalor rata-rata 15 MJ/kg [6].

### Pembakaran

Pembakaran adalah proses oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar dan oksidator dengan menimbulkan nyala dan panas. Bahan bakar merupakan substansi yang melepaskan

panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung karbon, hidrogen, oksigen dan sulfur. Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen yang akan bereaksi dengan bahan bakar [7].

Tujuan dari pembakaran adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Berdasarkan gas sisa yang dihasilkan, pembakaran dibedakan menjadi dua macam yaitu:

1. Pembakaran sempurna, yaitu pembakaran yang terjadi dimana seluruh bahan yang terbakar membentuk gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) sehingga tidak ada lagi bahan yang tersisa.
2. Pembakaran tidak sempurna, yaitu pembakaran yang terjadi apabila hasil dari pembakaran berupa gas karbon monoksida ( $\text{CO}$ ) dan gas lain, dimana salah satu penyebabnya adalah kekurangan oksigen.

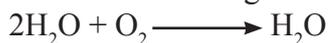
Reaksi dari unsur-unsur bahan bakar dalam proses pembakaran sempurna adalah:

- a. Pembakaran karbon menjadi karbon dioksida



Untuk membakar 12 kg karbon memerlukan 32 kg oksigen untuk membentuk karbon dioksida, oleh karena itu 1 kg karbon memerlukan  $32/12$  atau 2,67 kg mol oksigen dalam pembakaran.

- b. Pembakaran hidrogen menjadi air



Untuk membakar 4 kg hidrogen memerlukan 32 kg oksigen, oleh karena itu 1 kg hidrogen memerlukan  $32/4$  atau 8 kg oksigen untuk membentuk air.

Reaksi pembakaran dalam proses gasifikasi sekam padi (pembakaran tidak sempurna karena kekurangan oksigen) adalah:

### Reaksi Pembakaran Sekam Padi ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )

Sekam padi ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) direaksikan dengan oksigen murni ( $\text{O}_2$ ) akan melepaskan satu molekul karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), empat molekul karbon monoksida ( $4\text{CO}$ ), satu molekul metana ( $\text{CH}_4$ ) dan tiga molekul air ( $3\text{H}_2\text{O}$ ).



Sekam padi ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) direaksikan dengan udara ( $\text{O}_2 + 3,76\text{N}_2$ ) akan melepaskan empat molekul karbon monoksida ( $4\text{CO}$ ), dua molekul hidrogen ( $2\text{H}_2$ ), satu molekul metana ( $\text{CH}_4$ ), satu molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), satu molekul karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan 3,76 molekul nitrogen ( $3,76\text{N}_2$ ).



### Gas metana

Metana adalah hidrokarbon yang berbentuk gas dengan rumus kimia  $\text{CH}_4$ . Metana murni tidak berbau, tapi jika digunakan untuk keperluan komersial, biasanya ditambahkan sedikit bau belerang untuk mendeteksi kebocoran yang mungkin terjadi.

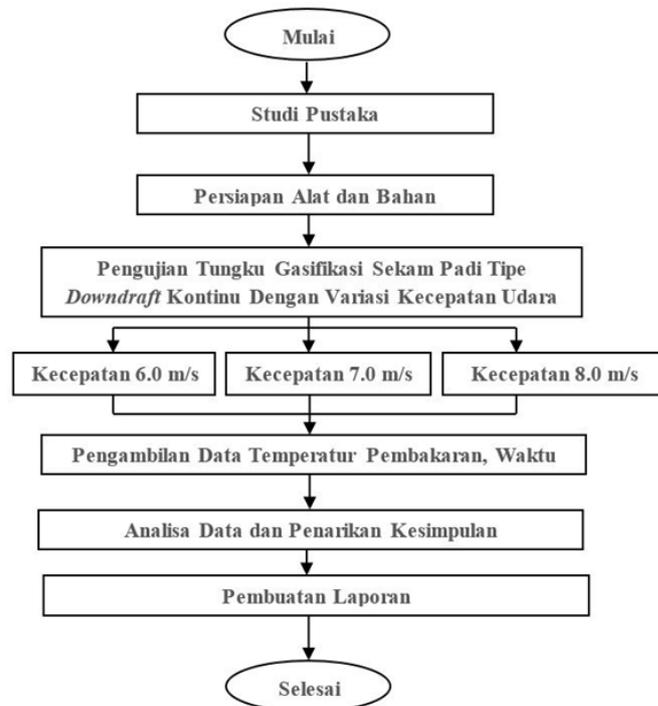
Reaksi pembakaran gas metana dengan oksigen murni.



Reaksi pembakaran gas metana dengan udara di alam.

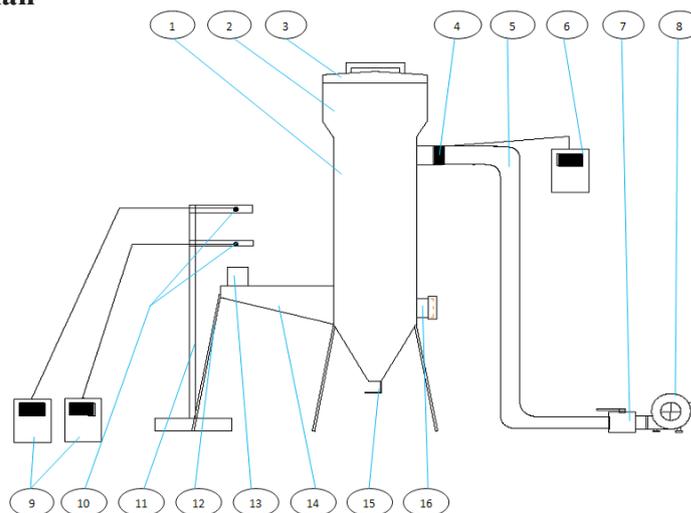


## METODE PENELITIAN



Gambar 4. Diagram alir penelitian

## Instalasi Pengujian



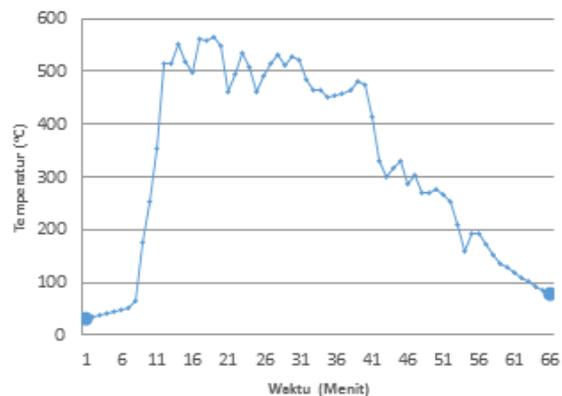
Gambar 5. Instalasi Pengujian

Keterangan:

1. Tungku pembakaran utama, sebagai tempat pembakaran bahan bakar untuk proses gasifikasi.
2. *Storage* (tangki pengisian), penampung suplai bahan bakar ke tungku utama.
3. Penutup tangki.

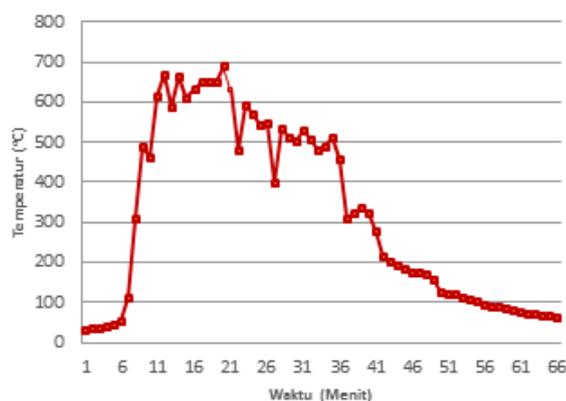
4. Anemometer, digunakan untuk mengukur kecepatan udara yang akan masuk ke dalam tungku.
5. Saluran udara.
6. *Anemometer reader*, alat untuk membaca dan mendisplai hasil dari yang ditangkap sensor *anemometer*.
7. Katub pengatur, untuk mengatur dan mengunci kecepatan udara.
8. *Blower*, sebagai penyuplai udara.
9. *Thermocouple reader*, alat yang berfungsi untuk membaca dan mendisplai hasil yang didapat *thermocouple*.
10. *Thermocouple*, untuk mengukur temperatur dari nyala api yang dihasilkan.
11. Dudukan *thermocouple*.
12. Kaki penyangga tungku.
13. Saluran keluar gas, sebagai tempat keluar gas hasil gasifikasi.
14. Saluran penghubung.
15. Penahan *ash chamber*, menahan sekam sisa hasil gasifikasi .
16. Saluran *ignition*, untuk penyalaan awal

## HASIL DAN PEMBAHASAN



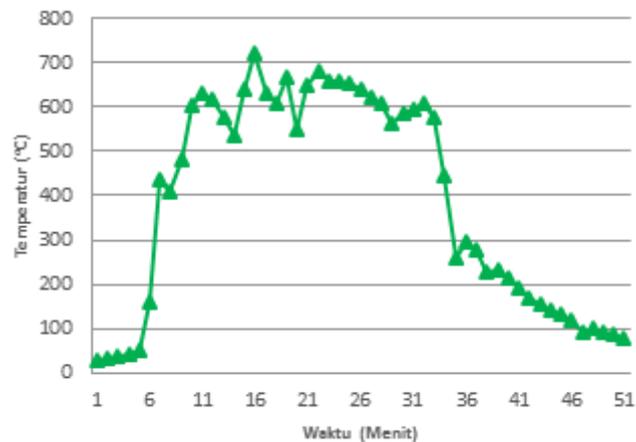
Gambar 6. Hubungan antara temperatur pembakaran dengan waktu pada kecepatan udara 6,0 m/s

Pada gambar 6 diatas menunjukkan bahwa, pada pengujian dengan menggunakan kecepatan udara 6,0 m/s gas hasil gasifikasi mulai menyala pada menit ke- 9.5, rata-rata temperatur nyala tertinggi yang dihasilkan adalah sebesar 500.47 °C. Setelah melewati menit ke-44 terjadi penurunan temperatur hal ini terjadi dikarenakan pembakaran gas hasil gasifikasi bahan bakar sekam padi telah habis, sehingga temperatur mulai turun.



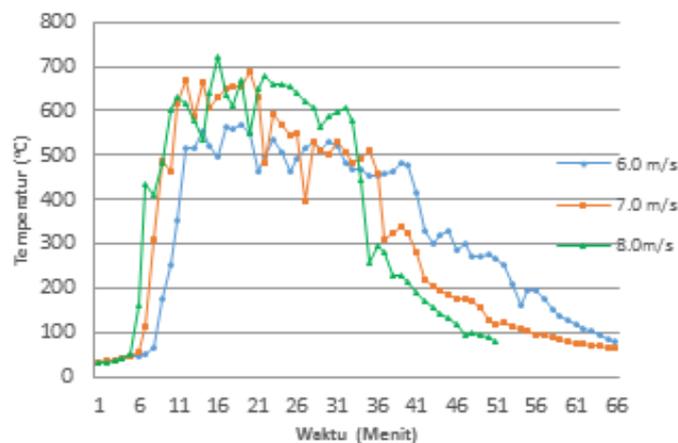
Gambar 7. Hubungan antara temperatur pembakaran dengan waktu pada kecepatan udara 7,0 m/s

Pada gambar 7 menjelaskan tentang pengujian pembakaran gasifikasi dengan menggunakan kecepatan udara 7,0 m/s gas hasil gasifikasi mulai menyala pada menit ke-7, temperatur rata-rata tertingginya mencapai 559.51 °C. Terjadi penurunan temperatur secara berangsur-angsur setelah melewati menit ke-39 ini terjadi dikarenakan gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi bahan bakar sekam padi telah habis.



Gambar 8. Hubungan antara temperatur pembakaran dengan waktu pada kecepatan udara 8,0 m/s

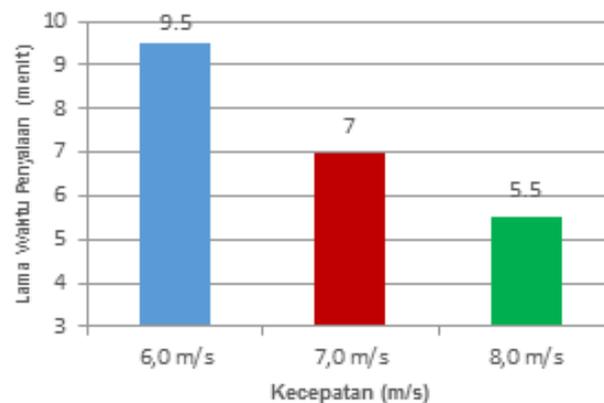
Pada gambar 8 hubungan temperatur dan waktu pada kecepatan 8,0 m/s diatas didapat beberapa data yaitu pada pengujian dengan menggunakan kecepatan tersebut gas yang dapat terbakar mulai dihasilkan dan dapat menyala saat dibakar pada menit ke-5.5, temperatur nyala rata-rata tertinggi yang dihasilkan pada pengujian dengan kecepatan ini sebesar 595,32 °C. Setelah melewati menit ke-33.5 terjadi penurunan temperatur.



Gambar 9. Perbandingan temperatur pembakaran pada kecepatan udara 6,0 m/s, 7,0 m/s, 8,0 m/s

Pada gambar 9 grafik perbandingan antara ketiga variabel kecepatan yang digunakan dalam pengujian menunjukkan bahwa temperatur rata-rata tertinggi didapat pada kecepatan 8,0 m/s yaitu sebesar 595,32 °C, kemudian temperatur tertinggi setelahnya didapat pada pengujian dengan menggunakan kecepatan 7,0 m/s yaitu sebesar 559,51 °C sedangkan temperatur yang terendah diantara ketiga variabel yang digunakan adalah pada kecepatan 6,0 m/s yaitu sebesar 500,47 °C. Semakin besar kecepatan udara yang digunakan maka temperatur rata-rata yang dihasilkan juga akan semakin tinggi.

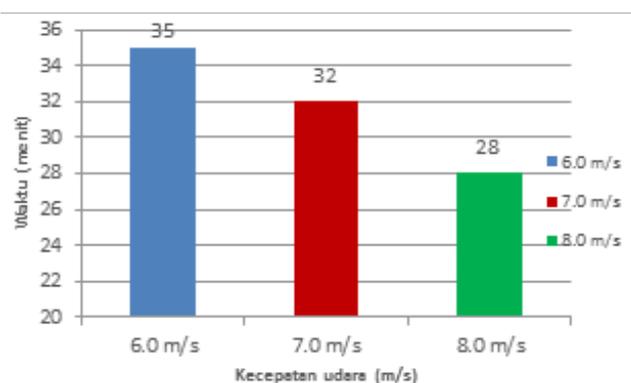
## Perbandingan Lama Waktu Penyalaan



Gambar 10. Perbandingan lama waktu penyalaan pada kecepatan udara 6,0 m/s, 7,0 m/s, 8,0 m/s

Gambar 10 menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk dapat menghasilkan gas yang dapat terbakar dan dapat menyala paling cepat adalah pada kecepatan 8,0 m/s yaitu selama 5,5 menit, kemudian pada kecepatan 7,0 m/s yaitu selama 7 menit dan yang paling lama diantara ketiga variabel yang digunakan adalah pada kecepatan udara 6,0 m/s yaitu selama 9,5 menit. Semakin besar kecepatan udara yang digunakan maka waktu yang dibutuhkan untuk dapat menyala akan semakin cepat, sebaliknya semakin kecil kecepatan udara yang digunakan maka waktu penyalaan yang dibutuhkan akan semakin lama.

## Perbandingan Lama Nyala Efektif



Gambar 11. Perbandingan nyala efektif pada kecepatan udara 6,0 m/s, 7,0 m/s, 8,0 m/s

Pada gambar 11 diagram batang menunjukkan bahwa, pada kecepatan udara 6,0 m/s adalah kecepatan dengan nyala efektif paling panjang yaitu 35 menit kemudian kecepatan udara 7,0 m/s selama 32 menit dan yang terpendek diantara ketiga variabel yang digunakan yaitu pada kecepatan udara 8,0 m/s selama 28 menit. Semakin kecil kecepatan udara yang digunakan maka waktu nyala efektifnya akan lebih panjang, begitu pula sebaliknya semakin besar kecepatan udara yang digunakan maka waktu nyala efektifnya akan semakin pendek.

## KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan analisa data dari pengujian tungku gasifikasi tipe *downdraft* kontinu dengan variasi kecepatan udara 6,0 m/s, 7,0 m/s dan 8,0 m/s, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi kecepatan udara berpengaruh terhadap temperatur pembakaran gas hasil

- gasifikasi, temperatur rata-rata tertinggi yaitu pada kecepatan udara 8,0 m/s kecepatan 7,0 m/s dan kecepatan 6,0 m/s .
2. Variasi kecepatan udara berpengaruh terhadap lama waktu penyalaan awal, waktu penyalaan tercepat yaitu pada kecepatan udara 8,0 m/s, kecepatan udara 7,0 m/s dan kecepatan udara 6,0 m/s
  3. Variasi kecepatan udara berpengaruh terhadap waktu nyala efektif yang dihasilkan, nyala efektif terpanjang yaitu pada kecepatan udara 6,0 m/s , kecepatan udara 7,0 m/s dan kecepatan udara 8,0 m/s

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Najib, Lailun, Darsopuspito, Sudjud, 2012, “Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem *Downdraft* Kontinyu Dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (*Afr*) Dan Ukuran Biomassa”, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- [2] Setiawan, Budi, 2014, “Studi Gasifikasi Batu Bara *Lignite* Dengan Variasi Kecepatan Udara Untuk Keperluan Karbonasi”, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
- [3] Handoyo, 2013, “Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Temperatur Pembakaran Pada Tungku Gasifikasi Sekam Padi”, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
- [4] Febijanto, Irhan, 2007, “Potensi Biomasa Indonesia Sebagai Bahan Bakar Pengganti Energi Fosil”, BPPT, Jakarta
- [5] <http://www.enggcyclopedia.com>
- [6] Samsudin, Anis, dkk., 2009, “Studi Eksperimen Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Bahan Bakar Gasifikasi Penghasil Syngas”, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, Semarang
- [7] Agung W, Wusan, dkk., 2010, “Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan *Updraft Gasifier* pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran”, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta