

Pengaruh Penggunaan Filter dengan Media Arang Tempurung Kelapa, Zeolit, dan Silica Gel terhadap Gas yang Dihasilkan dari Reaktor Gasifikasi

Arifin Fajar Hidayat¹, Nur Aklis²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email : D200120149@student.ums.ac.id

Abstrak

Salah satu pemanfaatan energi biomassa untuk mendapatkan energi alternatif adalah menggunakan teknologi gasifikasi. Untuk mendapatkan gas yang dapat digunakan untuk proses selanjutnya, maka gas produk gasifikasi perlu dibersihkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan filter terhadap gas yang dihasilkan dari reaktor gasifikasi meliputi metode pendidihan air dan kalor yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan reaktor gasifikasi *Fluidized Bed* dengan variasi media filter berupa zeolit, arang tempurung kelapa, dan silica gel. Mengambil data dengan media bed berupa pasir silika sebanyak 10 kg, bahan bakar berupa sekam padi sebanyak 5 kg, dan mendidihkan air sebanyak 2 liter. Data yang diambil adalah temperatur reaktor, temperatur nyala api, dan temperatur pendidihan air dengan pencatatan data setiap 2 menit. Hasil dari penelitian menunjukkan pengaruh penggunaan media filter terhadap gas produk gasifikasi. Pada variasi tanpa filter didapatkan temperatur nyala api tertinggi 589 °C, lama pendidihan 26 menit, dan kalor yang dihasilkan sebesar 1280,584 kJ. Pada variasi filter arang tempurung kelapa didapatkan temperatur nyala api tertinggi 955 °C, lama pendidihan 16 menit, dan kalor yang dihasilkan sebesar 2408,944 kJ. Pada variasi filter zeolit didapatkan temperatur nyala api tertinggi 657 °C, lama pendidihan 16 menit, dan kalor yang dihasilkan sebesar 1844,795 kJ. Pada variasi filter silica gel didapatkan temperatur nyala api tertinggi 634 °C, lama pendidihan 20 menit, dan kalor yang dihasilkan sebesar 2182,861 kJ. Pada variasi filter campuran didapatkan temperatur nyala api tertinggi 561 °C, lama pendidihan 34 menit, dan kalor yang dihasilkan sebesar 1844,665 kJ.

Kata Kunci : Arang tempurung kelapa, *Fluidized Bed Gasifier*, Kalor, Silica gel, Zeolit.

Abstract

One of utilization of biomass energy to get an alternative energy is gasification technology. To get gases that can be use on the next process, the gases need to be cleaned. This study aimed to determine the effect of using filter on the gas produced by fluidized bed gasifier reactor includes boiling water methods and the heat are produced. This research using Fluidized Bed reactor and variation of the filter media with Coconut Shell Charcoal, zeolite and silica gell. Retrieve data with bed media 10 kg of resin sands, 5 kg of rice husks, and boiling 2 litre of waters, and record the reactor temperature, fire temperature, and water boiling temperature every 2 minutes. The research results showed the effect of using filter media on the gas product by gasification. On unfiltered gas obtained the highest fire temperature at 589 °C, boiling water along 26 minutes and producing 1280, 584 kJ of heat. On Coconut Shell Charcoal filter obtained the highest fire temperature at 657 °C, boiling water along 16 minutes and producing 2408,944 kJ of heat. On zeolite filter obtained the highest fire temperature at 955 °C, boiling water along 16 minutes and producing 1844,795 kJ of heat. On silica gell filter obtained the highest fire temperature at 634 °C, boiling water along 20 minutes and producing 2182,861 kJ of heat. On mixtured filter obtained the highest reactor temperature at 341,03 °C, the highest fire temperature at 561 °C, boiling water along 34 minutes and producing 1844,665 kJ of heat.

Keywords: Coconut Shell Charcoal, *Fluidized Bed Gasifier*, Heat, Silica gell, Zeolite.

1. PENDAHULUAN

Seiring meningkatnya jumlah produksi kendaraan bermotor di Indonesia, tingkat konsumsi bahan bakar fosil dari tahun ke tahun juga terus mengalami peningkatan. Pada tahun 2013 tercatat produksi kendaraan bermotor dalam negeri mencapai angka 8,9 juta unit, meningkat dari tahun sebelumnya yang hanya 8,1 juta unit (GAIKINDO dan AISI). Dengan peningkatan produksi kendaraan bermotor, maka tingkat konsumsi bahan bakar juga semakin meningkat. Indonesia merupakan salah satu Negara dengan konsumsi energi terbesar, khususnya bahan bakar fosil. Tercatat pada tahun 2013 Indonesia menempati urutan kedua di dunia sebagai negara pengimport minyak, sementara produksi minyak nasional semakin turun. Saat ini konsumsi BBM dalam negeri mencapai 1,5 juta barel per hari, sementara produksinya hanya di bawah 800.000 barel per hari (SKK Migas). Untuk itu perlu adanya upaya nyata dan serius untuk mengatasi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

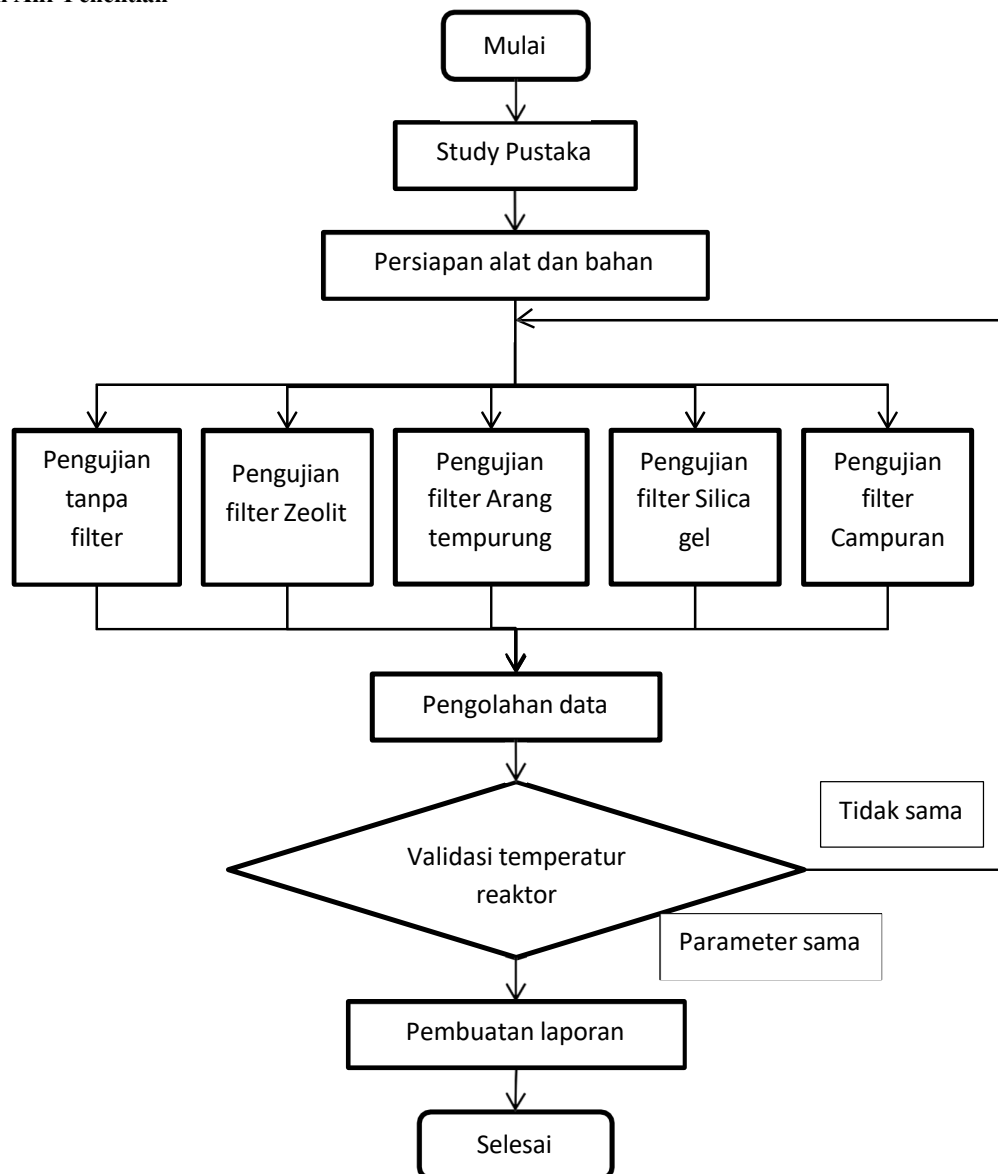
Para peneliti mulai melakukan penelitian untuk mencari sumber bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil. Hasil dari penelitian tersebut diantaranya adalah biomassa. Biomassa merupakan bahan organik yang didapatkan melalui proses fotosintetik pada tumbuhan baik berupa produk maupun buangan. Meliputi tanaman, pepohonan, rumput, limbah pertanian dan kotoran ternak. Energi biomassa merupakan sumber energi yang dapat diperbarui sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkelanjutan. Di Indonesia yang hampir sebagian besar wilayahnya merupakan sektor pertanian memepunyai potensi akan biomassa yang sangat melimpah, diantaranya adalah sekam padi. Salah satu cara pemanfaatan yang bisa dilakukan adalah dengan proses gasifikasi menggunakan *fluidized bed gasifier*. Dengan proses gasifikasi, sekam padi dapat ditingkatkan nilainya menjadi bahan bakar alternatif dengan merubahnya menjadi gas. Telah banyak penelitian mengenai biomassa khususnya gasifikasi, salah satunya yang dilakukan oleh Aklis dkk (2016), melakukan penelitian tentang pengaruh ukuran partikel *bed* terhadap *syngas* yang dihasilkan *bubbling fluidized bed gasifier*. Hasil gas digunakan untuk menyalakan kompor dan memanaskan air, sedangkan temperatur titik api dan temperatur air diukur sebagai indikator dari kinerja reaktor. Pathak (2007), melakukan penelitian yang bertujuan untuk menguji pengaruh penggunaan *sand bed filter* terhadap kinerja motor bensin. Dari hasil pengujian diketahui bahwa gas hasil gasifikasi yang telah difilter mampu menghidupkan motor bensin dengan baik

Sebelum digunakan lebih lanjut, gas produk gasifikasi perlu dimurnikan terlebih dahulu untuk meningkatkan kualitas gasnya. Beberapa proses yang dilakukan untuk meningkatkan kadar gas pada gas produk adalah dengan membuang zat-zat pengotor seperti CO₂ yang dapat mengurangi nilai pembakaran, H₂S yang bersifat korosif terhadap logam, dan tar yang dapat mengurangi nilai kalor gas yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, masih terdapat beberapa kekurangan salah satunya dalam hal pembersihan produk gas. Agar didapatkan gas yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai bahan bakar alternatif, maka pada tugas akhir ini peneliti akan mencoba melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan filter dengan media filter arang tempurung kelapa, zeolit, dan silica gel terhadap gas yang dihasilkan dari reaktor gasifikasi.

Dengan penggunaan filter tersebut, diharapkan mampu untuk mereduksi gas pengotor dan tar sehingga gas yang keluar dari filter bisa digunakan sebagai energi alternatif yang aman tanpa menimbulkan kerusakan pada perangkat. Sebagai indikasi keberhasilan penggunaan filter tersebut, gas yang dihasilkan akan digunakan untuk mendidihkan air. Dengan metode tersebut diharapkan akan diketahui media apa saja yang dapat meningkatkan kualitas gas hasil gasifikasi, mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan 2 liter air, serta nilai kalor dari nyala api yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian

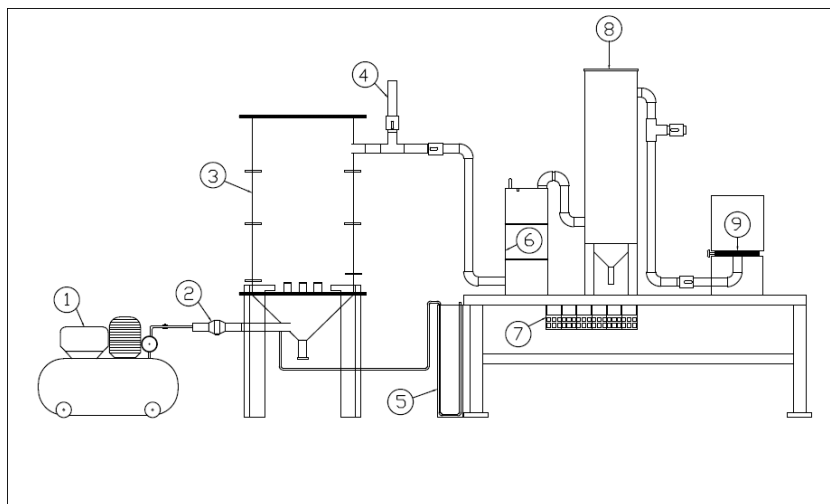


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian, tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah perancangan, pembuatan alat pembersih gas dan pengujian. Hal ini dimaksudkan untuk membandingkan gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi dengan dan tanpa alat pembersih. Kemudian dilakukan analisa berdasarkan data tersebut untuk mendapatkan nyala api terbaik dari gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi. Berikut ini adalah uraian dari tahap perancangan alat pembersih gas :

- 1) Menentukan awal dari pembuatan alat pembersih gas yang akan dibuat meliputi material bahan dan dimensi serta media yang akan digunakan sebagai pembersih gas.
- 2) Merancang seluruh bagian dari alat pembersih gas.
- 3) Membuat alat pembersih gas.
- 4) Melakukan pengujian dengan dan tanpa alat pembersih gas menggunakan reaktor gasifikasi tipe *fluidized bed*.

2.2 Instalasi Penelitian



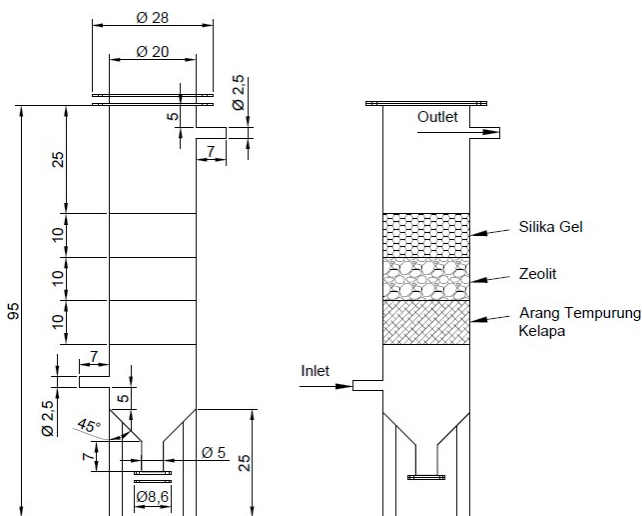
Gambar 2 Instalasi Penelitian

Keterangan :

- | | | |
|-----------------------|----------------|---------------------|
| 1. Kompresor | 4. Pipa Buang | 7. Thermoreader |
| 2. Anemometer | 5. Manometer U | 8. Cleanup Gasifier |
| 3. Reaktor Gasifikasi | 6. Filter Air | 9. Kompor |

Gambar 2 menunjukkan instalasi alat pengujian, selain komponen yang telah disebutkan di atas dalam pengujian ini memerlukan beberapa alat dan bahan antara lain stopwatch, thermometer, timbangan, gelas ukur, sekam padi dan pasir silika serta arang sebagai umpan *burner*.

2.3 Desain Filter



Gambar 3 Desain Filter

Gambar 3 menunjukkan desain alat pembersih gas. Setelah keluar dari reaktor, gas produk gasifikasi dilewatkan ke filter dengan media air untuk membersihkan gas dari partikel debu dan tar, kemudian gas dialirkan masuk ke filter melalui saluran inlet yang kemudian akan dilewatkan pada beberapa variasi media filter berupa arang tempurung kelapa, zeolit, silica gel dan campuran dari ketiga media selanjutnya gas akan mengalir keluar melalui saluran outlet dan mengalir melalui pipa menuju ke kompor.

2.4 Langkah Penelitian

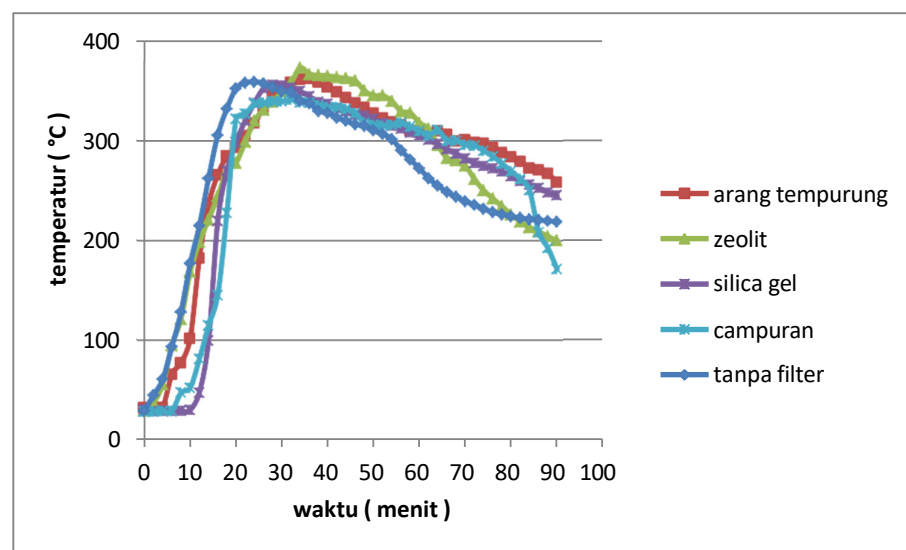
1. Menyiapkan alat, bahan dan alat ukur yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Memasukkan pasir silika ke dalam reaktor sebanyak 10 kg.
3. Memasukkan bahan filter kemudian menutup filter dengan rapat.
4. Memasukkan umpan berupa bara api ke dalam reaktor.
5. Memasukkan bahan bakar sekam padi sebanyak 5 kg ke dalam reaktor.
6. Menutup reaktor serapat mungkin.
7. Menyalakan kompresor dengan kecepatan udara 4 m/s.
8. Mencatat perubahan data yang terjadi setiap 2 menit.
9. Setelah bahan bakar di dalam reaktor habis, kompresor dimatikan.
10. Membuka tutup reaktor dan menunggu temperatur turun sampai temperatur ruangan.
11. Membersihkan reaktor dari bahan bakar yang telah terbakar.
12. Membersihkan filter dari bahan filter yang telah terpakai.
13. Mengulangi langkah yang sama sesuai variabel yang akan diuji.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Validasi Temperatur Reaktor

Gambar 3.4 menunjukkan profil temperatur reaktor pada kelima variasi filter. Temperatur awal reaktor pada pengujian tanpa filter adalah 28,87 °C, dan mencapai temperatur tertinggi pada menit ke 24 sebesar 358,97 °C. Temperatur awal reaktor pada pengujian filter arang tempurung kelapa adalah 31,87 °C, dan mencapai temperatur tertinggi pada menit ke 36 sebesar 362,2 °C. Temperatur awal reaktor pada pengujian filter zeolit adalah 28,87 °C, dan mencapai temperatur tertinggi pada menit ke 36 sebesar 366,57 °C. Temperatur awal reaktor pada pengujian filter silica gel adalah 29,93 °C, dan mencapai temperatur tertinggi pada menit ke 28 sebesar 355,8 °C. Temperatur awal reaktor pada pengujian filter campuran adalah 27,96 °C, dan mencapai temperatur tertinggi pada menit ke 32 sebesar 341,03 °C.

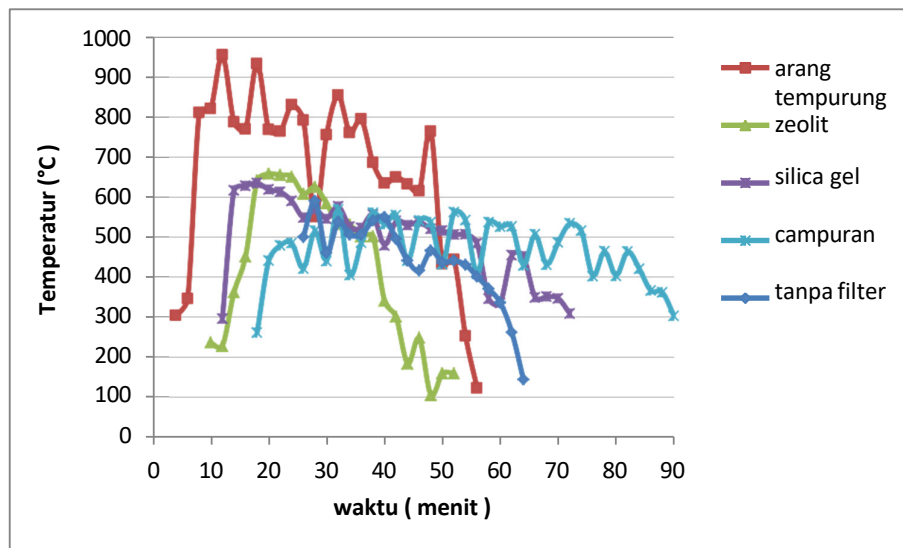
Dari kelima variasi, distribusi temperatur cenderung naik pada awal proses pembakaran kemudian mulai mencapai temperatur maksimal pada menit ke 20 sampai 40. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa gas yang dihasilkan oleh proses gasifikasi sekam padi mengalami kemiripan atau dapat dikatakan cenderung sama, sehingga parameter gas yang akan diteliti juga sama.



Gambar 4 Grafik validasi temperatur reaktor.

3.2 Perbandingan Temperatur Nyala Api

Gambar 5 menunjukkan perbandingan temperatur nyala api pada kelima variasi. Perbandingan lama reaksi dapat dilihat dari grafik temperatur nyala api melalui kompor yang dinyalakan. Pada percobaan tanpa filter api mulai menyala pada menit ke 26 dan mencapai temperatur tertinggi yaitu 589 °C pada menit ke 40 dan api mati pada menit ke 64. Pada percobaan filter arang tempurung kelapa api mulai menyala pada menit ke 4 dan mencapai temperatur tertinggi yaitu 854 °C pada menit ke 32 dan api mati pada menit ke 56. Pada percobaan filter arang zeolit api mulai menyala pada menit ke 10 dan didapatkan temperatur tertinggi yaitu 675 °C pada menit ke 20 dan api mati pada menit ke 52. Pada percobaan filter silica gel api mulai menyala pada menit ke 12 dan mencapai temperatur tertinggi yaitu 634 °C pada menit ke 18 dan api mati pada menit ke 72. Pada percobaan filter campuran api mulai menyala pada menit ke 18 dan mencapai temperatur tertinggi yaitu 568°C pada menit ke 32 dan api mati pada menit ke 90.

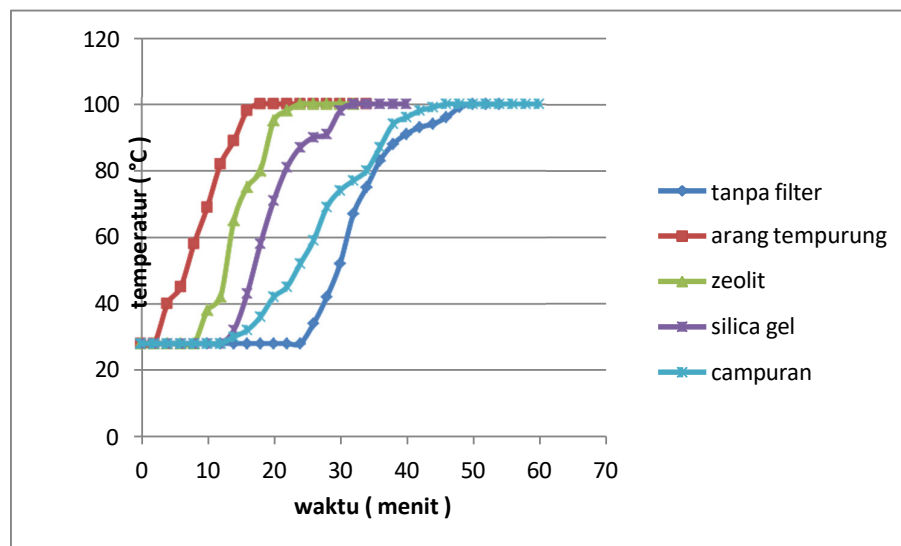


Gambar 5 Grafik perbandingan temperatur nyala api.

Dari grafik perbandingan temperatur nyala api dapat diketahui bahwa temperatur nyala api terbaik adalah media filter arang tempurung kelapa karena didapatkan nyala awal yang lebih cepat dan didapatkan temperatur nyala api yang cenderung lebih tinggi dibandingkan variasi media filter yang lain. Ini terjadi diduga karena arang tempurung kelapa menyerap lebih banyak gas pengotor dari gas hasil gasifikasi.

3.3 Perbandingan Temperatur Pendidihan Air

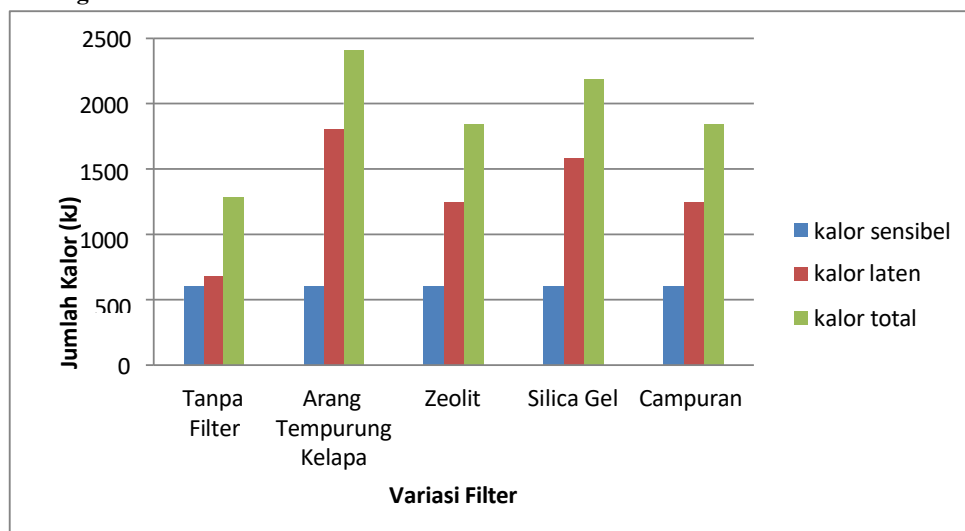
Gambar 6 menunjukkan perbandingan temperatur pendidihan air pada kelima variasi. Perbandingan waktu pendidihan air dapat dilihat dari grafik temperatur pendidihan 2 liter air. Pada percobaan tanpa filter didapatkan pendidihan awal terjadi pada menit ke 48 sampai menit ke 56 dengan sisa air 1700 ml. Pada percobaan filter arang tempurung kelapa didapatkan pendidihan awal terjadi pada menit ke 18 sampai menit ke 34 dengan sisa air 1200 ml. Pada percobaan filter zeolit didapatkan pendidihan awal terjadi pada menit ke 24 sampai menit ke 32 dengan sisa air 1450 ml. Pada percobaan filter silica gel didapatkan pendidihan awal terjadi pada menit ke 32 sampai menit ke 40 dengan sisa air 1300 ml. Pada percobaan filter campuran didapatkan pendidihan awal terjadi pada menit ke 44 sampai menit ke 60 dengan sisa air 1250 ml.



Gambar 6 Grafik perbandingan waktu pendidihan air.

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa pada variasi filter arang tempurung kelapa dapat mendidihkan air lebih cepat dibandingkan variasi yang lain.

3.4 Perbandingan Nilai Kalor



Gambar 7 Grafik perbandingan nilai kalor.

Gambar 7 menunjukkan perbandingan nilai kalor pada kelima variasi. Nilai kalor pembakaran gas hasil gasifikasi dapat dilihat pada grafik perhitungan nilai kalor. Pada percobaan tanpa filter didapatkan kalor sensibel sebesar 603,664 kJ, kalor laten sebesar 676,920 kJ, dan kalor total sebesar 1280,584 kJ. Pada percobaan filter arang tempurung kelapa didapatkan kalor sensibel sebesar 603,824 kJ, kalor laten sebesar 1805,120 kJ, dan kalor total sebesar 2408,994 kJ. Pada percobaan filter zeolit didapatkan kalor sensibel sebesar 603,775 kJ, kalor laten sebesar 1241,020 kJ, dan kalor total sebesar 1844,795 kJ. Pada percobaan filter silica gel didapatkan kalor sensibel sebesar 603,381 kJ, kalor laten sebesar 1579,480 kJ, dan kalor total sebesar 2182,861 kJ. Pada percobaan filter campuran didapatkan kalor sensibel sebesar 603,645 kJ, kalor laten sebesar 1241,020 kJ, dan kalor total sebesar 184,665 kJ.

Dari kelima variasi filter, variasi filter arang tempurung kelapa cenderung mempunyai kalor sensibel, kalor laten dan kalor total yang lebih tinggi dibandingkan pada variasi lainnya. Hal ini diduga karena arang tempurung kelapa menyerap lebih banyak tar dan gas pengotor dari gas hasil gasifikasi.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menggunakan reaktor gasifikasi *Fluidized Bed* dengan ukuran diameter reaktor 454,38 mm, tinggi reaktor 1368,5 mm, tinggi ruang bakar 908,5 mm dan diameter lubang gas keluar 50 mm, pengujian menggunakan material *bed* berupa pasir silika sebanyak 10 kg, bahan bakar sekam padi sebanyak 5 kg, kecepatan udara 4 m/s dengan variasi media filter berupa arang tempurung kelapa, zeolit, silica gel dan campuran, dapat disimpulkan bahwa:

1. Media filter mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap temperatur nyala api dari gas produk yang dihasilkan oleh reaktor gasifikasi. Dari data yang didapatkan, temperatur nyala api tertinggi didapatkan oleh media filter arang tempurung kelapa dengan temperatur tertinggi sebesar 955 °C dan waktu nyala selama 52 menit.
2. Lama pendidihan air tercepat diperoleh pada percobaan filter arang tempurung kelapa yaitu selama 16 menit.
3. Nilai kalor tertinggi didapatkan pada percobaan filter arang tempurung kelapa dengan kalor total sebesar 2408,944 kJ.

4.2 Saran

Adapun saran – saran untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebaiknya penelitian dilakukan di ruangan tertutup agar didapatkan temperatur nyala api yang stabil.
2. Agar mendapatkan hasil yang maksimal sebaiknya dilakukan uji kandungan gas untuk mengetahui kualitas dan kuantitas gas hasil gasifikasi.
3. Agar mendapatkan hasil maksimal pada percobaan variasi tanpa filter, sebaiknya melakukan percobaan dengan variasi susunan dan ukuran media filter.
4. Lakukanlah penelitian dengan teliti dan penuh tanggung jawab.

4.3 Persantunan

Alhamdulillah puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. Yang telah memberikan rahmat-Nya kepada penulis sehingga laporan penelitian tugas akhir berjudul “*Pengaruh Penggunaan Filter Dengan Media Arang Tempurung Kelapa, Zeolit Dan Silica Gel Terhadap Gas Yang Dihasilkan Dari Reaktor Gasifikasi*” dapat terselesaikan atas dukungan dari berbagai pihak.

Untuk itu pada kesempatan ini penulis dengan ketulusan dan kerendahan hati ingin menyampaikan terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak dan ibu tercinta yang selalu memberikan doa beserta dukungannya, perhatian serta kasih sayang yang begitu istimewa dan sangat luar biasa sehingga penulis bisa menyelesaikan gelar Sarjana Teknik ini.
2. Bapak Ir. Sri Sunarjono, MT., Ph.D. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Tri Widodo Besar Riyadi, ST., Msc., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
4. Bapak Nur Aklis, ST., M.Eng. Selaku pembimbing utama yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dan saran hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
5. Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberi ilmu pengetahuan kepada penulis selama mengikuti kegiatan kuliah.
6. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah ikut memberikan saran dan motivasi dalam penelitian tugas akhir ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan terima kasih atas dukungannya.

DAFTAR PUSTAKA

Aklis. Nur, 2013. *Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Lubang Distributor Udara Terhadap Karakteristik Gelembung Pada Bubbling Fluidized Bed Dengan Variasi Partikel Bed* (Tesis). Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

- Aklis, Nur., Riyadi, M.A., Rosyadi. G., Cahyanto, W.T. 2015. *Studi Eksperimen Konversi Biomassa Menjadi Syngas Pada Reaktor Bubbling Fluidized Bed*, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2015, 19 Desember 2015. STTNas Yogyakarta. Hal 973-978.
- Alenisa, G et al, 2003, *Porous Filtering media comparison through wet and dry sampling of fixed bed gasification products*, Journal of Physics: Conference Series 547.
- Basu. Prabir, 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory*. USA: Elsevier.
- Ciferno, JP and Marano, JJ, 2002, *Benchmarking Biomass Gasification Technologies For Fuels, Chemicals, and Hydrogen Production*. U.S. Departmen Of Energy, National Energy Technology Laboratory.
- Grabowski, Paul, 2004, *Biomass Thermochemical Conversion OBD Efforts*. Technical Advisory, Washington D.C.
- Handoyo, 2013, *Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Temperatur Pembakaran Pada Tungku Gasifikasi Sekam Padi*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Junaedi, Nurul Fadhilah dkk, *Pemanfaatan Arang Sekam Padi Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Ion Logam Berat Dalam Air Limbah Timbal (Pb)*. Jurusan Teknik Sipil, Univesitas Hasanudin.
- Nurman, Alwin, 2011, *Studi Karakteristik Pembakaran Biomassa Tempurung Kelapa Pada Fluidized Bed Combustor Universitas Indonesia Dengan Partikel Bed Berukuran Mesh 40-50*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Pathak, B.S et al, 2007, *Design and Development of Sand Bed Filter for Upgrading Producer Gas to IC Engine Quality Fue*. International Energy Journal 8.
- Rezaiyan, John, 2005, *Gasification Technologies A premier For Engineers And Scientists*. USA :Taylor & Francis Group
- Samsudin, Anis dkk, *Studi Eksperimen Pemanfaatan Sekam Padi Sebagai Bahan Bakar Gasifikasi Penghasil Syngas*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Surono, Budi Untoro, 2014, *Peningkatan Kualitas Biogas Dengan Metode Absorpsi Dan Pemakaiannya Sebagai Bahan Bakar Mesin Generator Set (genset)*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra.
- Tijmensen, MJA et al, 2002, *Exploration Of The Possibilities For Production Of Fischer Tropsch Liquids And Power Via Biomass Gasification*. Biomass and Bioenergy 23 (129-152).
- Wicaksono, Uta Lutfi, 2015. *Pengembangan Teknologi Alat Produksi Gas Metana Dari Pembakaran Sampah Organik Menggunakan Media Pemurnian Batu Kapur, Arang Batok Kelapa, Batu Zeolit Dengan Satu Tabung*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.