

UJI BERBAGAI JENIS BAHAN BAKAR BIOMASSA PADA ALAT PENGOLAHAN LIMBAH POLIMER PERTANIAN

(Test of Some Kind of Biomass Fuels on Processed Waste Polymer Agriculture Tool)

Herdianze Novalina Pasaribu^{1,2}, Saipul Bahri Daulay¹, Adian Rindang¹

¹Program Studi Keteknikan Pertanian, Fakultas Pertanian USU

Jl. Prof. Dr. A. Sofyan No. 3 Kampus USU Medan 20155

²email : herdianzenovalina@yahoo.co.id

Diterima : 3 November 2014 / Disetujui : 1 Desember 2014

ABSTRACT

Indonesia has many sources of renewable energy. One of them is biomass. This research was carried out to try some fuel from biomass to be used in agricultural polymer waste equipment. Biomass which used in this research were candlenut shell, coconut shell, and wood. Parameters used were equipment effective capacity, the percentage of polypropylene plastic residue, the percentage of fuel residue, oil volume, melting point, and the melting time. The results were: equipment effective capacity for candlenut shell fuel, coconut shell fuel, and wood fuel were 0 ml/hour, 62,22 ml/hour, and 77,66 ml/hour respectively. The percentage of plastic residue generated for candlenut shell, coconut shell, and wood fuel were 53.33%, 22.67%, and 20% respectively. The percentage of residue fuel for candlenut shell fuel, coconut shell fuel, and wood fuel were 35.67%, 16.87%, and 16% respectively. The volume of oil produced for candlenut shell fuel, coconut shell fuel, and wood fuel were 0 ml, 93.33 ml, and 110 ml respectively. The melting point obtained from the burning of fuel wood and coconut shell was 250 °C and the candlenut shell fuel was 175 °C. Melting time resulted in fuel of candlenut shell, coconut shell, and wood were 3.1 hours, 1.5 hours, and 1.44 hours respectively.

Keywords : Biomass fuel, Plastic waste, and Pyrolysis.

PENDAHULUAN

Indonesia sesungguhnya banyak memiliki sumber energi terbarukan dalam jumlah yang besar. Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi di Indonesia adalah biomassa. Momentum krisis BBM saat ini merupakan waktu yang tepat untuk menata dan menerapkan dengan serius potensi tersebut. Indonesia sebagai negara agraris memiliki lahan yang luas untuk membudidayakan tanaman-tanaman yang potensial sebagai bahan baku biomassa seperti kelapa dan kemiri.

Krisis bahan bakar minyak kini sedang mengancam Indonesia. Salah satu penyebabnya tidak lain karena pertumbuhan konsumsi yang sangat cepat. Hal ini membuat pemerintah kian terjepit karena secara otomatis dana subsidi BBM akan semakin melangit. Di Indonesia, sumber utama energi dalam negeri masih bertumpu pada jenis bahan bakar minyak, padahal banyak sumber energi alternatif lainnya yang dapat dimanfaatkan bahkan mampu menggantikan peran energi fosil tersebut.

Pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar cair dapat memberikan suatu solusi permasalahan limbah plastik yang selama ini menjadi masalah yang serius terhadap

lingkungan. Untuk itu dalam penelitian ini dikembangkan alat pengolah limbah plastik sederhana berbasis teknologi pirolisis. Proses pengolahan limbah plastik menjadi produk yang bernilai ekonomi melalui beberapa tahapan proses utama. Tahapan proses penting dalam konversi limbah plastik adalah proses pirolisis. Pirolisis merupakan teknik pembakaran sampah sekaligus penyulingan bahan tanpa O₂ dengan suhu tinggi (800°C hingga 1000°C), dan gas yang dihasilkan berguna dan aman bagi lingkungan, karena produk akhir yang dihasilkan berupa CO₂ dan H₂O.

Polimer adalah senyawa kimia yang disusun oleh sejumlah besar monomer dan dihubungkan oleh ikatan kimia di sepanjang rantainya. Polimer banyak dibuat dan dikembangkan karena memiliki sifat-sifat fisik dan kimia yang sangat baik seperti tahan korosi, kuat, ringan, relative tahan terhadap suasana asam, bahkan beberapa polimer tahan pada temperatur tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menguji berbagai bahan bakar dari biomassa pada alat pengolahan limbah polimer pertanian. Biomassa yang digunakan dalam penelitian ini adalah Cangkang kemiri, Tempurung kelapa, dan Kayu.

BAHAN DAN METODE

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah plastik, cangkang kemiri, tempurung kelapa, kayu, air, es batu dan minyak tanah. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pengolahan limbah plastik pertanian digunakan untuk proses pirolisis dan destilasi, ember digunakan untuk menampung air, selang digunakan mengalirkan air dari tabung kondensasi atas ke tabung kondensasi bawah, pompa air digunakan sebagai mensirkulasikan air dari bak penampung air menuju ke tabung kondensasi agar air yang terdapat didalam tabung suhunya konstan, alat tulis digunakan untuk mencatat data, komputer digunakan untuk mengolah data, dan kamera digunakan sebagai alat dokumentasi.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) non faktorial. Perlakuan dilakukan dengan membandingkan berbagai jenis bahan bakar (Cangkang kemiri, Tempurung kelapa, dan Kayu) yang bertujuan untuk mengamati pengaruh proses pembakaran terhadap hasil yang akan diperoleh. Jenis bahan bakar cangkang kemiri dinotasikan dengan simbol A, jenis bahan bakar tempurung kelapa dinotasikan dengan simbol B, dan jenis bahan bakar kayu dinotasikan dengan simbol C. Banyaknya ulangan pada masing-masing perlakuan sebanyak tiga kali ulangan.

Prosedur persiapan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Persiapan bahan bakar
 - a. Mencari bahan bakar biomassa berupa cangkang kemiri, tempurung kelapa, dan kayu.
 - b. Menjemur bahan bakar hingga kering untuk mempermudah dalam proses pembakaran.
 - c. Menimbang bahan bakar yang akan digunakan, masing-masing bahan bakar seberat 10 kg dalam sekali percobaan.
 - d. Bahan siap untuk dibakar.
2. Persiapan bahan plastik
 - a. Mencari bahan yang akan dipanaskan yaitu plastik jenis *Polypropylene* berupa limbah *aqua cup*.
 - b. Membersihkan plastik dari semua kotoran yang ada.
 - c. Memotong plastik sehingga memiliki ukuran yang lebih kecil.
 - d. Menimbang plastik sebanyak 500 gram pada setiap perlakuan.
 - e. Bahan siap untuk dipanaskan
3. Persiapan alat

- a. Menyiapkan alat pengolahan limbah polimer pertanian yang akan diuji.
- b. Membersihkan alat dari berbagai kotoran-kotoran agar proses pengolahan limbah plastik dapat berjalan dengan baik.
- c. Memastikan posisi termometer telah pada tempatnya masing-masing.
- d. Menyediakan ember dan wadah-wadah penampungan serta menempatkannya pada posisi masing-masing.
- e. Alat siap untuk digunakan.

Prosedur Penelitian

1. Disediakan alat dan bahan untuk proses pendestilasian minyak dari limbah pengolahan plastik.
2. Ditumpuk bahan bakar pada bagian bawah tungku pembakaran bahan bakar alat pengolahan limbah plastik.
3. Dimasukkan limbah plastik yang telah dipotong ke dalam tungku pemanasan.
4. Disiram dengan sedikit minyak tanah sebagai *starter*.
5. Dinyalakan api untuk membakar bahan bakar.
6. Dihasilkan minyak dari bahan limbah polimer dan ditampung dalam wadah yang tersedia.
7. Dihasilkan asap cair dari bahan bakar dan ditampung dalam wadah yang tersedia.
8. Dicatat lama waktu pengolahan sampai menghasilkan minyak.
9. Dilakukan pengulangan prosedur terhadap bahan bakar lainnya.
10. Dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali pada setiap bahan bakar yang digunakan.
11. Dilakukan pengamatan parameter.

Parameter Penelitian

1. Kapasitas kerja alat
Kapasitas kerja alat dilakukan dengan menghitung volume minyak yang dihasilkan (milliliter) tiap satuan waktu yang dibutuhkan selama proses pengolahan limbah polimer berlangsung (jam).

$$\text{Kapasitas Kerja Alat} = \frac{\text{Berat minyak yang dihasilkan}}{\text{Waktu Pembakaran}}$$

2. Persentase residu bahan
Residu Bahan adalah polimer plastik yang tidak dapat terolah menjadi minyak dalam proses pirolisis dan masih terdapat pada ruang pembakaran.

$$\text{Residu bahan bakar} = \frac{\text{Berat plastik yang tersisa}}{\text{Berat plastik awal}} \times 100 \%$$

3. Persentase residu bahan bakar

Residu Bahan bakar adalah bahan bakar yang tidak habis terbakar saat proses pengolahan limbah polimer menjadi minyak. Dilakukan pada tiga jenis bahan bakar yaitu cangkang kemiri, tempurung kelapa, dan ampas tebu.

$$\text{Residu bahan bakar} = \frac{\text{Berat bahan bakar yang tersisa}}{\text{berat bahan bakar awal}} \times 100\%$$

4. Volume minyak
Volume minyak adalah banyaknya minyak yang dihasilkan melalui proses destilasi pada alat pengolahan limbah polimer untuk masing-masing bahan bakar dalam satuan milliliter (ml).
5. Temperatur ruang pembakaran
Temperatur ruang pembakaran adalah temperatur dimana suatu zat padat berubah wujud menjadi zat cair pada tekanan 1 atmosfer atau batas temperatur dimana

bahan plastik mulai meleleh dalam satuan derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$).

6. Waktu pembakaran
Waktu pembakaran adalah waktu yang diperlukan setiap bahan bakar untuk mencapai titik leleh hingga keseluruhan bahan plastik yang ada dalam ruang pemanas benar-benar telah meleleh dalam satuan waktu (jam).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa perbedaan berbagai jenis bahan bakar dapat memberi pengaruh terhadap kapasitas alat, residu bahan plastik, residu bahan bakar, volume minyak, temperatur leleh, dan waktu leleh. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh berbagai jenis bahan bakar biomassa terhadap parameter yang diamati.

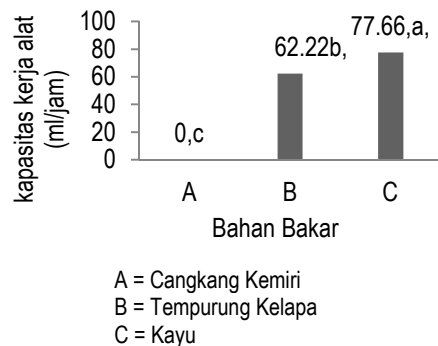
Bahan Bakar	Kapasitas efektif alat (ml/jam)	Residu plastik (%)	Residu bahan bakar (%)	Volume minyak (ml)	Titik Leleh ($^{\circ}\text{C}$)	Waktu Leleh (jam)
A	0	53.33	35.67	0	175	3,1
B	62.22	22.67	16.87	93.33	250	1,5
C	77.66	20	16	110	250	1,44

Keterangan: A (Cangkang kemiri), B (Tempurung Kelapa), dan C (Kayu).

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kapasitas kerja alat pengolahan limbah polimer pertanian tertinggi diperoleh dengan menggunakan bahan bakar kayu yaitu 76,4 ml/jam, dan yang terendah adalah pada penggunaan bahan bakar cangkang kemiri yaitu 0 ml/jam. Persentase residu plastik tertinggi terdapat pada penggunaan bahan bakar cangkang kemiri yaitu 54 % dan terendah pada penggunaan bahan bakar kayu yaitu 20 %. Sedangkan persentase residu bahan bakar tertinggi terdapat pada bahan bakar cangkang kemiri yaitu 36 % dan yang terendah adalah pada bahan bakar kayu yaitu 16 %. Volume minyak terbanyak yang dihasilkan adalah pada penggunaan bahan bakar kayu yaitu 110 ml dan volume minyak terendah yang dihasilkan adalah pada penggunaan bahan bakar cangkang kemiri yaitu 0 ml. Temperatur leleh tertinggi yang diperoleh dalam penelitian ini adalah pada penggunaan bahan bakar kayu dan tempurung kelapa yaitu 250 $^{\circ}\text{C}$, dan temperatur leleh terendah terdapat pada penggunaan bahan bakar cangkang kemiri yaitu 175 $^{\circ}\text{C}$. Waktu tertinggi yang digunakan untuk proses pengujian adalah pada penggunaan bahan bakar cangkang kemiri yaitu sekitar 3,1 jam, dan waktu terendah adalah pada penggunaan bahan bakar kayu yaitu sekitar 1,4 jam.

Kapasitas Kerja Alat

Hasil analisis ragam menunjukkan penggunaan bahan bakar yang berbeda dapat mempengaruhi kapasitas kerja alat dalam menghasilkan minyak plastik. Gambar 1 menunjukkan perlakuan A yaitu cangkang kemiri menghasilkan kapasitas kerja alat yang jauh lebih rendah dibanding pada perlakuan B yaitu tempurung kelapa maupun pada perlakuan C yaitu kayu.

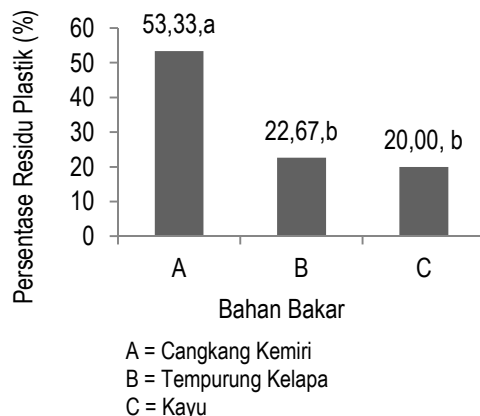


Gambar 1. Pengaruh bahan bakar terhadap kapasitas kerja alat (ml/jam).

Gambar 1 di atas menunjukkan bahwa semakin baik pembakaran suatu bahan bakar tersebut yakni nyala api yang dihasilkan besar, bahan bakar kering dan mudah terbakar, dan hal berpengaruh lainnya maka kapasitas kerja alat pengolahan limbah polimer pertanian semakin besar, sebaliknya semakin kurang baik pembakaran suatu bahan bakar tersebut, maka kapasitas alat pengolahan limbah polimer pertanian semakin kecil pula, hal ini disebabkan oleh bahan bakar dengan nyala api yang maksimal akan memudahkan plastik dalam memperoleh hasil berupa minyak plastik.

Persentase Residu Plastik

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar yang berbeda dapat memberi pengaruh terhadap persentase residu plastik yang dihasilkan saat dilakukan pengujian. Gambar 2 menunjukkan pada taraf 5% perlakuan C yaitu kayu menghasilkan persentase residu plastik yang lebih sedikit daripada perlakuan B yaitu tempurung kelapa dan perlakuan A yaitu cangkang kemiri. Tetapi persentase residu plastik perlakuan B dan A tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

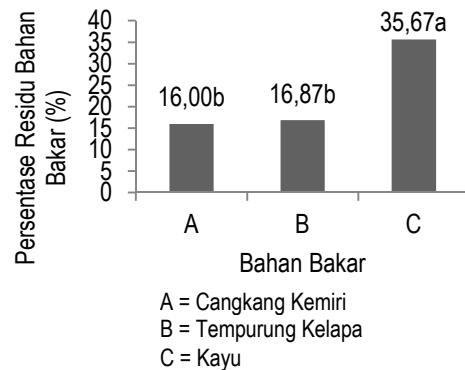


Gambar 2. Pengaruh bahan bakar terhadap persentase residu bahan plastik.

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin baik proses pembakaran suatu bahan bakar maka semakin kecil persentase residu bahan plastik yang dihasilkan, demikian juga sebaliknya semakin kurang baik proses pembakaran suatu bahan bakar, maka persentase residu bahan plastik yang dihasilkan semakin besar pula. Hal ini disebabkan, karena pembakaran yang baik akan mampu melelehkan plastik dengan sempurna, sehingga residu dalam ruang pemanasan pun menjadi sedikit.

Persentase Residu Bahan Bakar

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa data persentase residu bahan bakar yang dihasilkan saat dilakukan pengujian. Gambar 3 menunjukkan pada taraf 5% perlakuan C menghasilkan persentase residu bahan bakar yang lebih sedikit dibandingkan pada perlakuan B dan perlakuan A, namun antara perlakuan B dan perlakuan A persentase residu bahan bakar tidak memiliki perbedaan yang signifikan.



Gambar 3. Pengaruh pembakaran terhadap persentase residu bahan bakar.

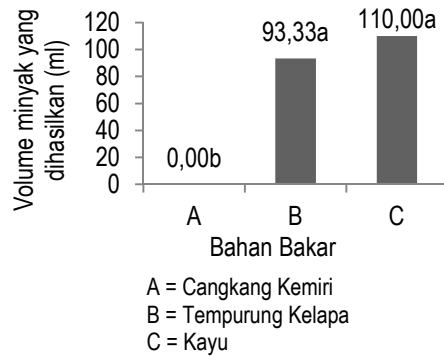
Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin baik pembakaran suatu bahan bakar, maka semakin rendah persentase residu bahan bakar yang dihasilkan, sebaliknya semakin buruk pembakaran suatu bahan bakar maka residu bahan bakar yang dihasilkan semakin banyak. Hal ini sesuai dengan literatur Sutiyono dan Edahwati (2006) yang menyatakan bahwa pembakaran yang baik memiliki suhu yang tinggi dan semakin rendah hasil persentase (kadar arang) yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan oleh perubahan fisika kimia bahan dan arang yang terus dipanaskan akan menjadi abu atau semakin banyak zat-zat terurai dan teruapkan.

Residu yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah berupa arang yang berwarna hitam, kering, dan dengan sedikit abu. Hal ini sesuai dengan literatur Bagus, dkk (2012) yang menyatakan bahwa arang adalah residu hitam berisi karbon tidak murni yang dihasilkan dengan menghilangkan kandungan air di dalamnya. Arang yang hitam, ringan, mudah hancur, dan menyerupai batu bara ini terdiri dari 85% sampai 98% karbon, sisanya adalah abu atau unsur kimia lainnya.

Volume minyak

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar yang berbeda dapat mempengaruhi volume minyak yang dihasilkan. Hubungan antara bahan bakar terhadap volume

minyak yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4. Pada taraf 5% perlakuan A sangat terlihat perbedaan hasil volume minyak yang diperolehnya dibanding dengan perlakuan B dan perlakuan C, sedangkan pada perlakuan B dan perlakuan C perbandingan hasil volume minyak memang terlihat namun perbedaannya tidak signifikan.



Gambar 4. Pengaruh bahan bakar terhadap volume minyak yang dihasilkan.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh volume minyak yang berbeda pada masing-masing perlakuan terhadap bahan bakar. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu keadaan bahan plastik yang dilelehkan, pengaruh lingkungan, dan pengaruh dari bentuk alat itu sendiri.

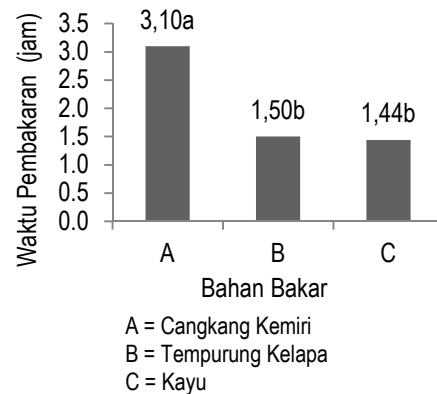
Nilai Kalor Bahan

Menurut Saptoadi (2011) bahwa bahan bakar biomassa cangkang kemiri memiliki nilai kalor yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 16748,5 kJ/kg sampai 21960 kJ/kg, nilai kalor untuk bahan bakar biomassa tempurung kelapa menurut literatur Palungkun (1999) berkisar antara 18200 kJ/kg hingga 49338,05kJ/kg, sedangkan nilai kalor untuk bahan bakar biomassa kayu menurut literatur Haygreen and Bowyer (1982) berkisar antara 4000-4500 kkal/kg yaitu sekitar 16700 kJ/kg sampai 18841,5 kJ/kg.

Dari hasil pengamatan nilai kalor di atas dapat dilihat bahwa nilai kalor tertinggi terdapat pada penggunaan bahan bakar biomassa berupa tempurung kelapa, dan yang kedua tertinggi adalah pada penggunaan bahan bakar biomassa cangkang kemiri, sedangkan yang paling rendah terdapat pada penggunaan bahan bakar jenis kayu. Sedangkan melalui pengamatan pada penelitian yang dilakukan, bahan bakar kayu malah memberi kemampuan menghasilkan minyak plastik tertinggi daripada kedua bahan bakar lainnya yaitu cangkang kemiri dan tempurung kelapa yang memiliki nilai kalor yang lebih tinggi.

Waktu Pembakaran

Hasil analisis ragam dapat dilihat bahwa penggunaan bahan bakar yang berbeda dapat mempengaruhi waktu leleh dalam menghasilkan minyak plastik. Gambar 5 menunjukkan pada taraf 5% perlakuan C memperoleh waktu pembakaran yang lebih sedikit dibanding dengan perlakuan B dan perlakuan A, akan tetapi perbedaan waktunya tidak terlalu berbeda jauh, dapat dilihat dari hasil yang diperoleh dari uji *least significant range*.



Gambar 5. Pengaruh bahan bakar terhadap waktu pembakaran yang dihasilkan.

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin baik suatu proses pembakaran suatu bahan bakar maka semakin cepat waktu pembakaran yang dihasilkan, demikian juga sebaliknya semakin kurang baik proses pembakaran suatu bahan bakar, maka semakin lama waktu pembakaran yang dihasilkan. Hal ini disebabkan, karena pembakaran yang baik akan mampu melelehkan plastik dengan sempurna dan tidak memakan waktu yang lebih lama.

Ketebalan dan kepadatan suatu bahan bakar member pengaruh terhadap waktu pengolahan limbah plastik. Melalui hasil pengamatan bahan bakar yang besar dan tebal memang sulit untuk terbakar di awal proses pembakaran, namun apabila sudah terbakar, maka api yang dihasilkan akan besar dan mempercepat pelelehan plastik di dalam ruang pemanasan, sedangkan untuk bahan bakar yang cenderung lebih tipis akan lebih mudah terbakar namun api yang dihasilkan tidak terlalu besar dan cenderung lebih mudah padam sehingga harus dinyalakan berulang kali yang cukup memakan waktu juga. Nyala api untuk bahan bakar yang lebih tipis pun sulit menjangkau dasar dari ruang pembakaran bahkan tidak dapat terjangkau sehingga waktu proses pelelehan plastik akan lebih lama.

Hasil Pirolisis

Minyak plastik

Minyak plastik yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah berwarna coklat kehitaman dan terlihat endapan minyak di bagian dasar berwarna lebih pekat daripada cairan di atasnya. Minyak plastik hasil pirolisis juga mudah terbakar dan memiliki bau yang sangat mencolok. Hal ini sesuai dengan literatur Purwanti Ani dan Sumarni (2008) yang menyatakan bahwa minyak hasil pirolisis memiliki sifat mudah terbakar, mengeluarkan jelaga, dan baunya merangsang. Minyak pirolisis ini dapat diolah lagi supaya mempunyai sifat jenuh dan stabil nilai kalor dari minyak pirolisis.

Dari hasil penelitian Santoso (2010) terhadap minyak plastik dengan menggunakan kompor berbahan bakar LPG, dihasilkan nilai kalor 43,32 MJ/kg pada hasil pirolisis minyak plastik jenis PP (*Polypropylene*). Hasil ini hampir setara dengan nilai kalor minyak tanah yaitu sebesar 43 MJ/kg dan hampir mendekati nilai kalor dari bensin yang memiliki nilai kalor sebesar 47,3 MJ/kg.

Plastik tersusun atas molekul hidrokarbon dari minyak bumi sehingga dapat dilakukan konversi untuk menjadikannya sumber energi. Hal ini sesuai dengan literatur Nugraha, dkk (2013) yang menyatakan bahwa sifat penyusun plastik yang tersusun dari komponen hidrokarbon minyak bumi, maka limbah plastik sangat berpotensi untuk dikonversi menjadi BBM. Teknik yang digunakan untuk mengembalikan material plastik tersebut adalah dengan cara pemecahan rantai karbon atau polimer sehingga menjadi hidrokarbon

Minyak plastik terbanyak diperoleh dengan suhu ruang pembakaran sebesar 250°C dan suhu pada ruang pemanasan sebesar 125°C yaitu 110 ml minyak yang dihasilkan dengan waktu 1,45 jam. Untuk mencapai suhu tersebut diperlukan bahan bakar kayu sebanyak 10 kg dalam setiap kali ulangan. Dan minyak plastik terendah yang dihasilkan yaitu dengan suhu ruang pembakaran sebesar 175 °C dan suhu pemanasan sebesar 75 °C sebanyak 0 ml minyak plastik yang dihasilkan dengan waktu sekitar 3,1 jam. Pada bagian ini bahan bakar yang digunakan adalah cangkang kemiri.

Asap cair

Asap cair yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah sama untuk setiap bahan bakar (cangkang kemiri, tempurung kelapa, dan kayu) yaitu berwarna coklat kehitaman, hampir sama

dengan hasil minyak plastik, hanya saja pada asap cair tidak terdapat endapan berupa minyak di bagian dasarnya. Endapan pada asap cair berupa kotoran-kotoran hitam menyerupai arang yang terikut terkondensasi bersama uap dari hasil pembakaran. Aroma yang dihasilkan oleh asap cair mencolok, namun aroma minyak plastik masih lebih mencolok dibanding dengan asap cair.

Asap cair terbanyak dihasilkan dari bahan bakar kayu dengan suhu ruang pembakaran sebesar 250 °C, dan suhu pada ruang pemanasan sebesar 125 °C yaitu rata-rata sebanyak 160 ml asap cair dengan waktu proses pengolahan selama 1,45 jam.

KESIMPULAN

1. Kapasitas rata-rata kerja alat tertinggi terdapat pada bahan bakar kayu yaitu sebesar 77,66 ml/jam sedangkan kapasitas rata-rata kerja alat terendah terdapat pada bahan bakar cangkang kemiri yaitu sebesar 0 ml/jam.
2. Persentase rata-rata residu bahan plastik tertinggi terdapat pada bahan bakar kayu yaitu sebesar 53,33 % sedangkan yang terendah terdapat pada bahan bakar cangkang kemiri yaitu sebesar 20 %.
3. Persentase rata-rata residu bahan bakar tertinggi terdapat pada bahan bakar cangkang kemiri yaitu sebesar 35,67 % sedangkan yang terendah terdapat pada bahan bakar kayu yaitu sebesar 16 %.
4. Volume minyak tertinggi terdapat pada bahan bakar kayu yaitu sebesar 110 ml dan volume minyak terendah terdapat pada bahan bakar cangkang kemiri yaitu sebesar 0 ml.
5. Titik leleh tertinggi terdapat pada bahan bakar tempurung kelapa dan kayu yaitu sebesar 250 °C dan titik leleh terendah terdapat pada bahan bakar cangkang kemiri yaitu sebesar 175 °C.
6. Waktu leleh tertinggi terdapat pada bahan bakar cangkang kemiri yaitu selama 3,1 jam sedangkan waktu leleh terendah terdapat pada bahan bakar kayu yaitu sebesar 1,44 jam.
7. Volume minyak yang berbeda pada masing-masing perlakuan terhadap bahan bakar dipengaruhi oleh keadaan bahan plastik yang dilelehkan, pengaruh lingkungan, dan pengaruh dari bentuk alat itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Ani, P. dan Sumarni, 2008. Prinsip Menciptakan Agro-Industri Ramah Lingkungan. Pusat Departemen Pertanian, Jakarta.
- Bagus, Pradipta, I. D. dan Mawarani, L. J. 2012. Pembuatan Dan Karakterisasi Polimer Ramah Lingkungan Berbahan Dasar Glukomanan Umbi Porang. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. <http://digilib.its.ac.id> [diakses pada 20 Oktober 2014]
- Haygreen, S. G., dan Bowyer, 1982. Forest Product and Wood Science, an Introduction. State University Press, USA.
- Palungkun, 1999. Aplikasi Teknologi Zero Waste Dalam Pembuatan Briket Tempurung Kelapa Dan Peranannya Sebagai Energi Alternatif Pada Masyarakat Pedesaan. Universitas Trunojoyo Madura, Madura.
- Nugraha, M. F., Wahyudi, A. dan Gunardi, I. 2013. Pembuatan Fuel dari Liquid Hasil Pirolisis Plastik Polipropilen Melalui Proses Reforming dengan Katalis NiO/Al₂O₃. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Palungkun, 1999. Aplikasi Teknologi Zero Waste Dalam Pembuatan Briket Tempurung Kelapa Dan Peranannya Sebagai Energi Alternatif Pada Masyarakat Pedesaan. Universitas Trunojoyo Madura, Madura.
- Santoso, 2010. Uji Sifat Minyak Pirolisis dan Uji Performasi. Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Saptoadi, H., 2011. Bahan Bakar Padat Dari Bumi Indonesia Untuk Kemandirian Dan Kesejahteraan Bangsa. UGM, Yogyakarta.
- Sutiyono dan Edahwati, L. 2006. Pemanfaatan Kulit Kemiri Untuk Pembuatan Arang Aktif Dengan Cara Pirolisis. FTI-UPN, Surabaya.