

OPTIMASI KONDISI PIROLISIS DAN PENGERINGAN PADA PROKSIMAT ARANG TEMPURUNG KELAPA DENGAN METODE TAGUCHI

Nur Hayati

Jurusan Teknik Mesin IST AKPRIND Yogyakarta
Jalan Kalisahak 28, Kompleks Balapan, Tromol Pos 45 Yogyakarta
nurhayati@akprind.ac.id

Abstract

The purpose of this research is to identify the effect of pyrolysis and drying on coconut shell charcoal proximate analysis. The method used in this research is Taguchi method. The independent variables used in this study were pyrolysis temperature (450°C, 550°C and 650°C), residence time (60 minutes, 90 minutes and 120 minutes), drying temperature (100°C, 105°C and 110°C) and drying time (12 hours, 18 hours and 24 hours). The response variable in this research is coconut shell charcoal proximate value consisting of moisture content, ash content, volatile substance and bound carbon content. Orthogonal array used is L9(3)⁴. The results showed that the optimum condition for moisture content obtained in A1B1C1D1 condition means pyrolysis temperature 450°C, residence time 60 minutes, drying temperature 100°C and 12 hours drying time. The optimum condition for ash content obtained in A2B3C2D1 condition means pyrolysis temperature 550°C, residence time 120 minutes, drying temperature 100°C and 18 hours drying time. The optimum conditions for volatile substances obtained in A3B3C2D1 condition mean pyrolysis temperature 650°C, residence time 120 min, drying temperature 105°C and 12 hours drying time. The optimum conditions for the bonded carbon content obtained under A3B3C2D1 conditions mean pyrolysis temperature 650°C, residence time 120 min, drying temperature 105°C and 12 hours drying time.

Keywords: pyrolysis, drying, proximate analysis, Taguchi method

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa yang utama di dunia. Menurut data *Asian and Pacific Coconut Community (APCC)* pada tahun 2012, luas areal tanaman kelapa di Indonesia mencapai 3,8 juta Ha dengan total produksi diperkirakan sebanyak 15 milyar butir kelapa. Berbagai penelitian telah berhasil membuktikan manfaat dari bagian-bagian pohon kelapa, seperti daging buahnya dijadikan kopra, minyak dan santan untuk keperluan rumah tangga. Namun hasil sampingan lainnya seperti tempurung kelapa belum begitu banyak dimanfaatkan. Berat tempurung kelapa mencapai 15-19% dari berat total buah kelapa (Suhartana, 2007). Tempurung kelapa merupakan limbah biomassa yang banyak diperoleh di lingkungan sekitar. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan energi alternatif yang berasal dari bahan baku tempurung kelapa. Salah satu upaya pemanfaatan limbah tempurung kelapa adalah dengan membuat suatu sistem pengolahan tempurung kelapa dengan proses pirolisis.

Melihat permasalahan tersebut, maka dalam penelitian ini penulis ingin meningkatkan kualitas arang tempurung kelapa dengan meneliti tentang pengaruh temperatur pirolisis, waktu pirolisis, temperatur pengeringan dan waktu pengeringan terhadap nilai

proksimat arang tempurung kelapa. Hasilnya dibandingkan dengan SNI 06-4369-1996 tentang arang tempurung kelapa. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode Taguchi, yaitu suatu metode untuk meningkatkan kualitas produk dan proses dengan meminimalkan biaya dan *resources*. Dengan metode ini diharapkan dapat ditentukan kondisi optimal agar diperoleh arang berkualitas.

2. Kerangka Teori

Metode Taguchi

Metode Taguchi diperkenalkan oleh Dr. Genichi Taguchi (1940) yang merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya dan bahan baku seminimal mungkin (Belavendram, 1995). Sasaran metode Taguchi adalah peningkatan kualitas produk dengan mencari faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas, kemudian memisahnya kedalam faktor kendali dan faktor tidak terkendali (noise). Masing-masing dibagi berdasarkan level kemudian dipilih *orthogonal array* berdasarkan jumlah faktor dan level yang dipilih. Hasil eksperimen dianalisis dengan *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan ANOVA untuk menentukan faktor-faktor dan

level faktor yang paling signifikan berpengaruh pada kualitas produk.

Signal to Noise Ratio (SNR)

Taguchi memperkenalkan pendekatan SNR untuk meneliti pengaruh faktor noise terhadap variasi yang timbul. Jenis SNR tergantung pada karakteristik yang diinginkan yaitu :

1. *Smaller the better*

Karakteristik kualitas dimana semakin rendah nilainya, maka kualitas semakin baik. Contohnya adalah kadar air, kadar abu, dll.

Nilai SNR untuk karakteristik ini adalah :

$$SNR = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

dengan: n = banyaknya ulangan dalam tiap eksperimen

2. *Larger the better*

Karakteristik kualitas dimana semakin besar nilainya, maka kualitas semakin baik. Contohnya adalah kadar karbon terikat arang.

Nilai SNR untuk karakteristik ini adalah :

$$SNR = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

dengan: n = banyaknya ulangan dalam tiap eksperimen

3. *Nominal the best*

Karakteristik kualitas dimana nilainya ditetapkan pada suatu nilai nominal tertentu, jika nilainya semakin mendekati nilai nominal tertentu maka kualitasnya semakin baik. Contohnya adalah ukuran produk dimana semakin mendekati ukuran nominal yang ditetapkan maka kualitasnya semakin baik.

Nilai SNR untuk karakteristik ini adalah :

$$SNR = 10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right]$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

dengan: n = banyaknya ulangan dalam tiap eksperimen

y = nilai pada setiap run

μ = rata-rata dari setiap run

σ^2 = deviasi dari setiap run

Proksimat arang

Kualitas arang dapat ditentukan melalui uji proksimat. Uji proksimat ini meliputi uji kadar air, kadar abu, kadar zat mudah menguap dan kadar karbon terikat.

1. Kadar air (*water content*)

Soeparno (1993) menyatakan bahwa kadar air sangat menentukan kualitas arang yang dihasilkan. Arang dengan kadar air rendah akan memiliki nilai kalor tinggi. Makin tinggi kadar air maka akan semakin banyak kalor yang

dibutuhkan untuk mengeluarkan air dari dalam kayu agar menjadi uap sehingga energi yang tersisa dalam arang akan menjadi lebih kecil.

Prosedur perhitungan kadar air arang dilakukan sesuai dengan standar ASTM D-3173 dengan rumus :

$$ka = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

Keterangan : a : berat sampel (gram)

b : berat kering tanur (gram)

2. Kadar abu (*ash content*)

Abu sebagai bahan yang tersisa apabila kayu dipanaskan sampai berat yang konstan. Kadar abu sebanding dengan berat kandungan bahan anorganik di dalam kayu. (Fengel dan Wegener (1995) mendefinisikan abu sebagai jumlah sisa setelah bahan organik dibakar yang komponen utamanya berupa zat mineral, kalsium, kalium, magnesium dan silika. Abu yang terkandung dalam bahan bakar padat adalah mineral yang tak dapat terbakar dan tertinggal setelah proses pembakaran atau reaksi-reaksi yang menyertainya selesai. Abu berperan menurunkan mutu bahan bakar karena menurunkan nilai kalor (Yuwono, 2009)

Prosedur perhitungan kadar abu arang mengikuti standar ASTM D-3174 dengan rumus sebagai berikut :

$$kadar\ abu = \frac{c-b}{a} \times 100\%$$

Keterangan : a : berat sampel (gram)

b : berat cawan (gram)

c : berat cawan + berat abu (gram)

3. Kadar zat mudah menguap (*volatile matter*)

Bahan yang mudah menguap terdiri dari unsur hidrogen, hidrokarbon ($C_2 - C_4$), CH_4 dan CO . Adanya unsur hidrokarbon akan menyebabkan makin tinggi kadar zat mudah menguap sehingga briket arang akan menjadi mudah terbakar (Fengel dan Wegener, 1995). Arang dengan *volatile matter* tinggi akan mudah terbakar tetapi berasap dan arang dengan *volatile matter* rendah sulit terbakar tetapi sedikit asap. Kadar *volatile matter* tergolong rendah jika kurang dari 30% (Sudrajat, 1993)

Prosedur perhitungan terhadap kadar zat mudah menguap dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D-3175 sebagai berikut :

$$kehilangan\ berat = \frac{a-d}{a} \times 100\%$$

kadar zat mudah menguap = kehilangan berat (%) - ka(%)

Keterangan : a : berat awal (gram)

d : berat setelah pemanasan (gram)

4. Kadar karbon terikat (*fixed carbon*)

Kadar karbon terikat adalah fraksi C dalam arang. Kadar karbon terikat dipengaruhi oleh kadar zat

mudah menguap dan kadar abu. Semakin besar kadar zat menguap dan kadar abu maka akan menurunkan kadar karbon terikat. Semakin tinggi kadar karbon terikat pada arang kayu menandakan arang tersebut adalah arang yang baik (Djahry, 2011)

Prosedur perhitungan kadar karbon terikat dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D-3172 sebagai berikut :

$$\text{kadar karbon terikat (\%)} = 100 - (\% \text{air} + \% \text{abu} + \% \text{zat menguap})$$

Arang dalam penelitian ini diperoleh melalui proses pirolisis yaitu proses dekomposisi termal suatu material tanpa kehadiran oksigen (Jahirul dkk, 2012). Proksimat arang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain temperatur pirolisis, waktu pirolisis dan temperatur pengeringan. Suhu pirolisis berpengaruh terhadap hasil pirolisis, karena dengan bertambahnya suhu maka proses peruraian makin sempurna, proses peruraian biomassa memerlukan energi kalor. Semakin tinggi suhu maka hasil cair yang diperoleh semakin besar (Hasanah dkk, 2012). Namun pada suhu tertentu, kenaikannya malah akan menurunkan hasil cair yang diperoleh. Waktu pirolisis berpengaruh terhadap kesempatan untuk bereaksi. Semakin lama pirolisis berlangsung, produk yang dihasilkan (residu padat, tar dan gas) semakin naik (Sadaka, 2011). Waktu yang dibutuhkan tergantung pada jumlah dan jenis bahan yang diproses. Temperatur pengeringan berpengaruh terhadap kadar air sampel sebelum dilakukan pirolisis. Semakin tinggi temperatur pengeringan, maka kadar air akan semakin berkurang. Semakin tinggi kadar air sampel, maka hasil cair yang diperoleh semakin besar (Lufina, 2013).

3. Metodologi

Proses pengeringan dan pirolisis dilakukan di Laboratorium Perpindahan Kalor dan Massa PAU UGM, sedangkan pengujian nilai kalor dilakukan di Laboratorium Energi Kayu Fakultas Kehutanan UGM.

Prosedur dan Langkah Eksperimen

1. Pemilihan karakteristik kualitas
Karakteristik kualitas berdasarkan metode Taguchi yang sesuai dengan penelitian ini adalah *Smaller The Better* untuk kadar air, kadar abu dan kadar zat mudah menguap karena hasil yang diinginkan pada penelitian ini adalah nilai kadar air, kadar abu dan kadar zat mudah menguap arang paling kecil dengan variabel eksperimen yang ditentukan. Sementara untuk kadar karbon terikat digunakan karakteristik *Larger The Better*.
2. Pemilihan parameter penelitian
Pada penelitian ini, parameter penelitian yang dipilih adalah :
 - a. temperatur pirolisis
 - b. waktu pirolisis
 - c. temperatur pengeringan
 - d. waktu pengeringan

c. temperatur pengeringan

d. waktu pengeringan

Parameter-parameter di atas dipilih karena parameter tersebut berpotensi mempengaruhi nilai proksimat arang. Masing-masing parameter dilakukan dengan 3 level.

Tabel 1. Parameter dan level eksperimen

level	Parameter			
	A	B	C	D
	Temperatur pirolisis (°C)	Waktu pirolisis (menit)	Temperatur pengeringan (°C)	Waktu pengeringan (jam)
1	450	60	100	12
2	550	90	105	18
3	650	120	110	24

3. Pemilihan Orthogonal Array (OA)

Pemilihan *orthogonal array* dengan metode Taguchi ini dilakukan menggunakan software Minitab 16. Dalam penelitian ini, terdapat 4 parameter (faktor) dan 3 level maka orthogonal array-nya adalah $L_9 3^4$ artinya ada 9 variasi eksperimen untuk 4 parameter dengan 3 level.

4. Eksperimen

Tempurung kelapa dibersihkan dari sabut dan daging buah. Setelah itu tempurung kelapa di crusher agar ukuran tempurung lebih kecil sehingga memudahkan dalam proses pengeringan dan pirolisis. Kemudian sampel dikeringkan dalam oven suhu 100°C, 105°C, dan 110°C dengan waktu pengeringan 24 jam. Arang dibuat dengan cara pirolisis dalam tungku baja tahan api pada suhu 450°C, 550°C, dan 650°C. Waktu pirolisis divariasi 60, 90 dan 120 menit. Pada setiap variasi digunakan sampel tempurung kelapa sebanyak 250 gram.



Gambar 1. Sampel tempurung kelapa

4. Hasil dan Pembahasan

Kadar Air

Nilai rata-rata kadar air terkecil untuk parameter A, B, C dan D masing-masing A1 (1,961), B3(2,399), C3(2,222) dan D3(2,066) pada eksperimen ke-3 disusul A1B1C1D1 pada eksperimen ke-1. Eksperimen ke-1 dan ke-3 sama-sama memberikan kadar air yang cukup rendah yaitu di bawah 6%. A1B1C1D1 dan A1B3C3D3 mengindikasikan kondisi optimal untuk kadar air arang.

Kadar air arang meningkat seiring dengan kenaikan temperatur pirolisis. Kadar air terendah dicapai pada level ke-1 yaitu pada temperatur 450°C. SNR

semakin menurun seiring dengan kenaikan temperatur pirolisis.

Tabel 2. Nilai Proksimat Arang Tempurung Kelapa

Ekperimen	temperatur pirolisis (°C)	waktu pirolisis (menit)	temperatur pengeringan (°C)	waktu pengeringan (jam)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Zat Mudah Menguap (%)	Kadar Karbon Terikat (%)
1	450	60	100	12	2.332	4.385	15.043	78.238
2	450	90	105	18	3.416	3.705	20.195	72.683
3	450	120	110	24	0.133	5.525	21.105	73.236
4	550	60	105	24	2.333	3.711	18.998	74.957
5	550	90	110	12	2.516	3.487	17.521	76.476
6	550	120	100	18	3.049	2.869	15.375	78.706
7	650	60	110	18	4.015	5.342	10.070	80.571
8	650	90	100	24	3.732	5.076	13.683	77.508
9	650	120	105	12	4.015	4.676	12.699	78.609

Tabel 3. SNR Arang Tempurung Kelapa

Ekperimen	temperatur pirolisis (°C)	waktu pirolisis (menit)	temperatur pengeringan (°C)	waktu pengeringan (jam)	Kadar Air	Kadar Abu	Kadar Zat Mudah Menguap	Kadar Karbon Terikat
1	450	60	100	12	-7,356	-13,0496	-23,576	47,411
2	450	90	105	18	-10,672	-11,6234	-26,127	46,772
3	450	120	110	24	16,989	-15,8167	-26,491	46,840
4	550	60	105	24	-7,373	-11,6435	-25,597	47,039
5	550	90	110	12	-8,018	-12,3777	-24,878	47,219
6	550	120	100	18	-9,686	-10,5633	-23,753	47,465
7	650	60	110	18	-12,074	-14,6915	-20,258	47,670
8	650	90	100	24	-11,442	-14,1884	-22,727	47,329
9	650	120	105	12	-12,074	-13,3976	-22,105	47,452

Tipe SNR yang dipilih untuk kadar air arang adalah *smaller the better*, sehingga level ke-1 dipilih sebagai level optimal. Parameter waktu pirolisis, temperatur pengeringan dan waktu pengeringan memberikan tren yang sama untuk kadar air yaitu semakin menurun seiring dengan kenaikan level penelitian. Tipe SNR yang dipilih untuk kadar air arang adalah *smaller the better*, sehingga level ke-3 dipilih sebagai level optimal yaitu temperatur pirolisis 450°C, waktu pirolisis 120 menit, temperatur pengeringan 110°C dan waktu pengeringan 24 jam.

Kadar air suatu bahan yang akan dipirolisis sangat dipengaruhi oleh faktor pengeringan. Faktor pengeringan terdiri dari suhu pengeringan dan waktu. Semakin tinggi suhu pengeringan dan semakin lama waktu pengeringan maka kadar air bahan semakin kecil. Semakin tinggi kadar air bahan, maka hasil cair pirolisis juga semakin besar (Sunarsih, 2012).

Kadar Abu

Nilai rata-rata kadar abu terkecil untuk parameter A, B, C dan D masing-masing A2 (3,356), B2(4,090), C1(4,031) dan D2(3,972) pada eksperimen ke-6 disusul A2B2C3D1 pada eksperimen ke-5. Eksperimen ke-5 dan ke-6 sama-sama memberikan kadar air yang cukup rendah yaitu di bawah 5%. A2B2C3D1 dan A2B2C1D2 mengindikasikan kondisi optimal untuk kadar abu arang. Parameter temperatur pirolisis dan waktu pirolisis memberikan tren menurun kemudian naik lagi seiring dengan kenaikan level penelitian. Tipe SNR yang dipilih untuk kadar abu arang adalah *smaller the better*, sehingga level ke-6 dipilih sebagai level optimal. Temperatur pengeringan dan waktu pengeringan memberikan tren kenaikan kadar abu seiring dengan kenaikan level eksperimen. Dari sudut pandang kadar abu, level 6 adalah level optimal temperatur pengeringan karena memberikan kadar abu terkecil yaitu temperatur pirolisis 550°C, waktu pirolisis 120 menit, temperatur pengeringan 100°C dan waktu pengeringan 18 jam.

Fengel dan Wegener (1995) mendefinisikan abu sebagai jumlah sisa setelah bahan organik dibakar yang komponen utamanya berupa zat mineral, kalsium, kalium, magnesium dan silika. Abu yang terkandung dalam bahan bakar padat adalah mineral yang tak dapat terbakar dan tertinggal setelah proses pembakaran atau reaksi-reaksi yang menyertainya selesai. Abu berperan menurunkan mutu bahan bakar karena menurunkan nilai kalor (Yuwono, 2009)

Kadar Zat Mudah Menguap

Nilai rata-rata kadar zat mudah menguap terkecil untuk parameter A, B, C dan D masing-masing A3 (12,151), B1(14,704), C1(14,701) dan D2(15,088) pada eksperimen ke-7 disusul A3B3C3D1 pada eksperimen ke-9. Eksperimen ke-7 dan ke-9 sama-sama memberikan kadar zat mudah menguap yang cukup rendah yaitu di bawah 20%. A3B1C1D2 dan A3B3C3D1 mengindikasikan kondisi optimal untuk kadar zat mudah menguap arang.

Kadar zat mudah menguap menurun seiring dengan kenaikan level temperatur pirolisis. Kadar zat mudah menguap terendah dicapai pada level ke-3. Parameter waktu pirolisis dan temperatur pengeringan memberikan tren yang sama untuk kadar zat mudah menguap yaitu semakin meningkat seiring dengan kenaikan level penelitian. Tipe SNR yang dipilih untuk kadar zat mudah menguap arang adalah *smaller the better*, sehingga level ke-1 dipilih sebagai level optimal. Sedangkan parameter waktu pengeringan memberikan tren turun pada level ke-2 kemudian naik lagi pada level ke-3. Level ke-2 adalah level optimal untuk waktu pengeringan. Kondisi optimal untuk kadar zat mudah menguap adalah A3B3C2D1, yaitu temperatur pirolisis 650°C, waktu pirolisis 120 menit, temperatur pengeringan 105°C dan waktu pengeringan 12 jam.

Bahan yang mudah menguap terdiri dari unsur hidrogen, hidrokarbon ($C_2 - C_4$), CH_4 dan CO. Adanya unsur hidrokarbon akan menyebabkan makin tinggi kadar zat mudah menguap sehingga briket arang akan menjadi mudah terbakar (Fengel dan Wegener, 1995). Arang dengan *volatile matter* tinggi akan mudah terbakar tetapi berasap dan arang dengan *volatile matter* rendah sulit terbakar tetapi sedikit asap. Kadar *volatile matter* tergolong rendah jika kurang dari 30% (Sudrajat, 1993).

Kadar Karbon Terikat

Nilai rata-rata kadar karbon terikat terbesar untuk parameter A, B, C dan D masing-masing A3 (78,896), B1(77,922), C1(78,151) dan D2(77,774) disusul A2B3C1D2 dan A3B3C3D1. Ketiga kondisi ini sama-sama memberikan kadar karbon terikat yang cukup tinggi yaitu di bawah 70% sehingga ketiganya mengindikasikan kondisi optimal untuk kadar karbon terikat arang.

Kadar karbon terikat meningkat seiring dengan kenaikan level temperatur pirolisis. Kadar karbon terikat terbesar dicapai pada level ke-3. Tipe SNR yang dipilih untuk kadar karbon terikat arang adalah *larger the better*, sehingga level ke-1 dipilih sebagai level optimal. Parameter

waktu pirolisis memberikan tren menurun kemudian naik lagi seiring dengan kenaikan level penelitian. Level ke-1 memberikan hasil maksimum namun level optimal dipilih level ke-3. Semakin lama waktu pirolisis, maka kesempatan bereaksi semakin besar. Demikian pula untuk parameter temperatur pengeringan dan waktu pengeringan, level optimal bukan pada level maksimal dengan pertimbangan energi. Kondisi optimal untuk kadar karbon terikat untuk memperoleh kadar karbon terikat dicapai pada eksperimen ke-9 yaitu temperatur pirolisis 650°C, waktu pirolisis 120 menit, temperatur pengeringan 105°C dan waktu pengeringan 12 jam.

Kadar karbon terikat adalah fraksi C dalam arang. Kadar karbon terikat dipengaruhi oleh kadar zat mudah menguap dan kadar abu. Semakin besar kadar zat mudah menguap dan kadar abu maka akan menurunkan kadar karbon terikat. Semakin tinggi kadar karbon terikat pada arang kayu menandakan arang tersebut adalah arang yang baik (Djahry, 2011).

5. Kesimpulan

Kondisi optimal proksimat arang dicapai pada kondisi berikut :

Tabel 4. Kondisi Optimal Proksimat Arang

N	Eksperi	Parameter penelitian			
		Temper atur pirolisis (°C)	Waktu pirolisis (menit)	Temper atur pengeri ngan (°C)	Waktu penge ringan (jam)
1	Uji kadar air	450	120	110	24
2	Uji kadar abu	550	120	100	18
3	Uji kadar zat mudah menguap	650	120	105	12
4	Uji kadar karbon terikat	650	120	105	12

Daftar Pustaka

- _____, 2013, *Market and Trade of Coconut Product*, Asian and Pacific Coconut Community, Bangkok Thailand.
- Belavendram, Nicolo, 1995, *Quality by Design : Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*, Prentice Hall International (UK) Limited Campus 400, Maryland.
- Djahry, Cakrawati, 2011, Pembuatan Biobriket dari Komposisi Campuran Arang Cangkang Kakao (*Theobroma cacao*) dengan Arang Sekam Padi (*Oriza sativa*) dari Kabupaten Toli-Toli, Tesis Magister Sistem Teknik, UGM.
- Fengel, D. dan Wegener, G., 1995, *Kayu Kimia Ultrastruktur Reaksi Kimia*, UGM press, Yogyakarta.

- Hasanah, U., Bambang Setiaji, Triyono dan Chairil Anwar, 2012, The Chemical Composition and Physical Properties of the Light and Heavy Tar Resulted from Coconut Shell Pyrolysis, *Journal App.Chemical* 2012, 1(1), 26-32.
- Jahirul, M.I., Mohammad G.Rasul, Ashfaque Ahmed Chowdhury and Nanjappa Ashwath, 2012, *Biofuels Production Through Biomass Pyrolysis-A Technological Review*, *Jurnal Energies* 2012,5, 4952-5001; doi: 10.3390/en5124952.
- Lufina, I., Bambang.S. dan Rini .Y., 2013, Studi Pemanfaatan Minyak Karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai Bahan Bakar pada Kompor Rumah Tangga, *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem* Vol.1 No.1 Februari 2013.
- Sudrajat, R. Dan S. Soleh, 1993, Petunjuk Teknis Pembuatan Arang Aktif, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor.
- Suhartana, 2007, Pemanfaatan Tempurung Kelapa sebagai Bahan Baku Arang Aktif dan Aplikasinya untuk Penjernihan Air Limbah Industri Petis di Tambak Lorok Semarang, *Jurnal Momentum* Vol.3 No.2 Oktober 2007.
- Sunarsih, Sri, Yuli Pratiwi dan Yordanesa Sunarto, 2012, Pengaruh Suhu, Waktu dan Kadar Air pada Pembuatan Asap Cair dari Limbah Padat Pati Aren, *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III Yogyakarta*, 3 November 2012
- Yuwono, J, 2009, Pengaruh Penambahan Bahan Penyala pada Briket Arang dari Limbah Serbuk Kayu Jati, Tesis, Magister Teknik Sistem, UGM.