



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENINGKATAN KUALITAS BATUBARA INDONESIA
PERINGKAT RENDAH MELALUI PENGHILANGAN
MOISTURE DENGAN PEMANASAN
GELOMBANG MIKRO**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

**WULAN ERNA KOMARIAH
1006787804**

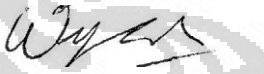
**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Wulan Erna Komariah

NPM : 1006787804

Tanda Tangan : 

Tanggal : 21 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Wulan Erna Komariah
NPM : 1006787804
Program Studi : Magister Teknik Kimia
Judul Tesis : Peningkatan Kualitas Batubara Indonesia
Peringkat Rendah Melalui Penghilangan *Moisture*
dengan Pemanasan Gelombang Mikro

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc., Ph.D ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Slamet, MT ()

Penguji : Kamarza Mulia, Ph.D ()

Penguji : Dr. Eny Kusriani, S.Si ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 3 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas berkah dan rahmat-Nyapenulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Peningkatan Kualitas Batubara Indonesia Peringkat Rendah Melalui Penghilangan *Moisture* dengan Pemanasan Gelombang Mikro”. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

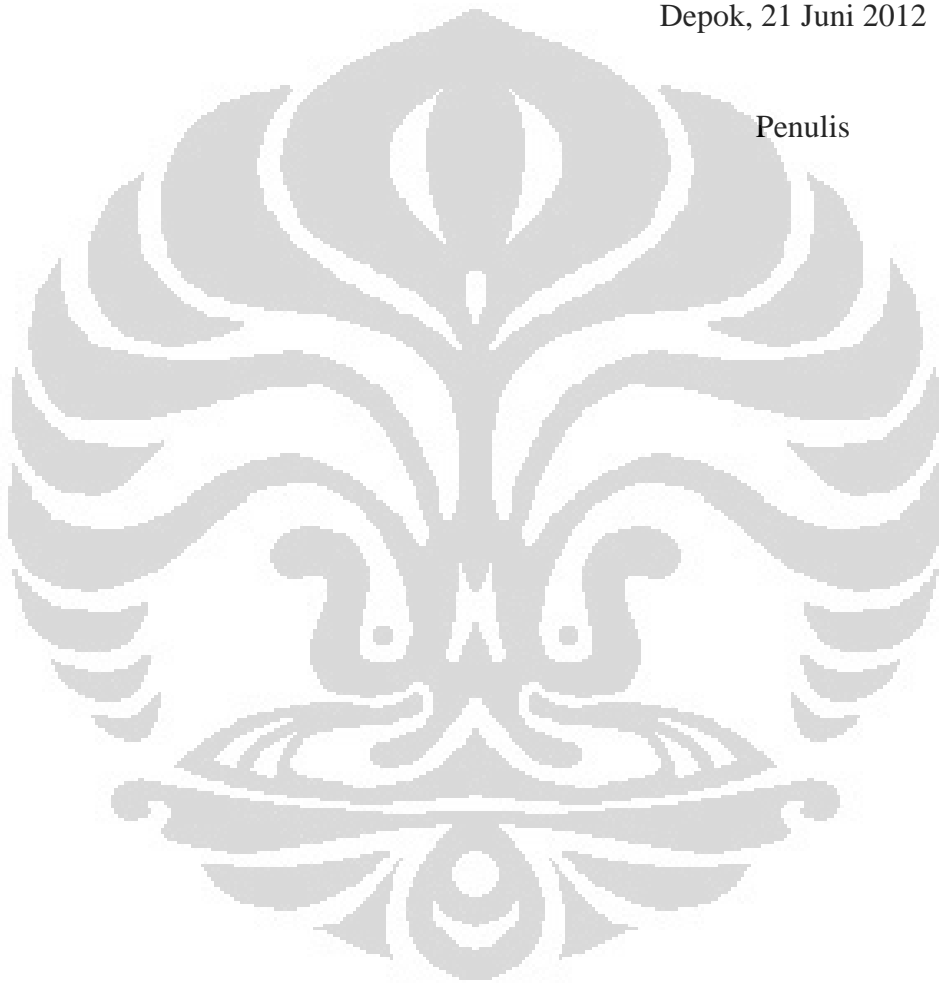
- 1) Bapak Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- 2) Prof. Dr. Herliyani Suharta, Ir., Mphil selaku co-promotor yang telah menyediakan waktu untuk mengarahkan saya pada kuliah magister ini;
- 3) Kementrian Riset dan Teknologi yang telah memberikan kesempatan dan mensponsori saya untuk melanjutkan sekolah ke jenjang magister melalui program Beasiswa Pascasarjana Ristek 2010;
- 4) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, khususnya Balai Besar Teknologi Energi yang telah mengizinkan saya untuk menambah ilmu pengetahuan di Universitas Indonesia dan menggunakan peralatan Laboratorium Karakterisasi Bahan Bakar (LKBB) Puspiptek-Serpong;
- 5) Rekan-rekan di LKBB (Pak Tri, Pak Dar, Pak Iman, Mz Dwi, Fusi, Pak Dahrudin, Pak Narto, Mba Ari) yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini;
- 6) Sahabat seperjuangan S2 Tekim 2010 (Mami Veny, Bunda Ika, Moery, Alpha, Bayu, Aida, Deny, Mz Oka, Mz Eko, Mz Irsham) yang telah *support* dan mendengarkan keluh kesah penulis;

- 7) Mama, Ibu Purworejo, Kakak, Suami, Putriku, dan seluruh keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan baik moral maupun materiil.

Akhir kata saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 21 Juni 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wulan Erna Komariah
NPM : 1006787804
Program Studi : Magister Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

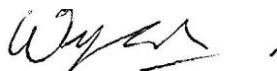
**Peningkatan Kualitas Batubara Indonesia Peringkat Rendah Melalui
Penghilangan *Moisture* dengan Pemanasan Gelombang Mikro**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/ formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 21 Juni 2012

Yang menyatakan



(Wulan Erna Komariah)

ABSTRAK

Nama : Wulan Erna Komariah
Program Studi : Magister Teknik Kimia
Judul Seminar : Peningkatan Kualitas Batubara Indonesia Peringkat Rendah Melalui Penghilangan *Moisture* dengan Pemanasan Gelombang Mikro

Tesis ini membahas metode penghilangan *moisture* batubara Indonesia peringkat rendah dengan menggunakan gelombang mikro. Diharapkan metode ini mampu mengurangi waktu pemanasan dan mengurangi *moisture* re-adsorpsi batubara. Berdasarkan penelitian, waktu penghilangan *moisture* pada batubara Indonesia dipengaruhi oleh kandungan awal *total moisture*, ukuran partikel, massa sampel, dan daya yang diberikan. Pada pemanasan gelombang mikro dengan daya 800 W, Batubara Melawan (kandungan awal *total moisture*: 24,18 %) memerlukan waktu penghilangan *moisture* yang paling pendek yaitu sekitar 1,5 – 2 menit sedangkan Batubara Pendopo (kandungan awal *total moisture*: 58,27 %) memerlukan waktu terlalu lama yaitu antara 3 – 3,5 menit. Akibat penghilangan *moisture*, batubara Indonesia mengalami kenaikan nilai kalor, *volatile matter* dan *fixed carbon*; namun tidak terjadi perubahan signifikan pada *fuel ratio*. *Moisture* re-adsorpsi pada Batubara Indonesia yang telah mengalami penghilangan *moisture* akibat gelombang mikro tidak dipengaruhi oleh ukuran partikel dan daya yang diberikan.

Kata kunci:
Batubara Indonesia peringkat rendah, gelombang mikro, *moisture* re-adsorpsi

ABSTRACT

Nama : Wulan Erna Komariah
Study Program : Magister Teknik Kimia
Title : Removing Moisture for Quality Improvement of Indonesian Low Rank Coal by Microwave Heating

This research aims to find a method of removing moisture Indonesian low rank coal Indonesia by using microwaves. This method is expected to reduce heating time and reduce the moisture re-adsorption of coal. Based on the study, the removal of moisture in coal Indonesia affected by the initial total moisture content, particle size, sample mass, and power delivered. In the microwave heating power of 800 W, the Melawan Coal (initial total moisture content: 24.18%) removal of moisture takes the shortest is about 1.5 - 2 minutes while the Pendopo Coal (initial total moisture content: 58.27%) requires the longest time is between 3 - 3.5 minutes. The affect of the removal of moisture, Indonesian coal has increased calorific value, volatile matter and fixed carbon; but there was no significant change on to the fuel ratio. Moisture readsorption on Indonesian coal which have removal of moisture by the microwaves are not affected by particle size and power that are given.

Key words:
Indonesian low rank coal, microwave, moisture readsorption

DAFTAR ISI

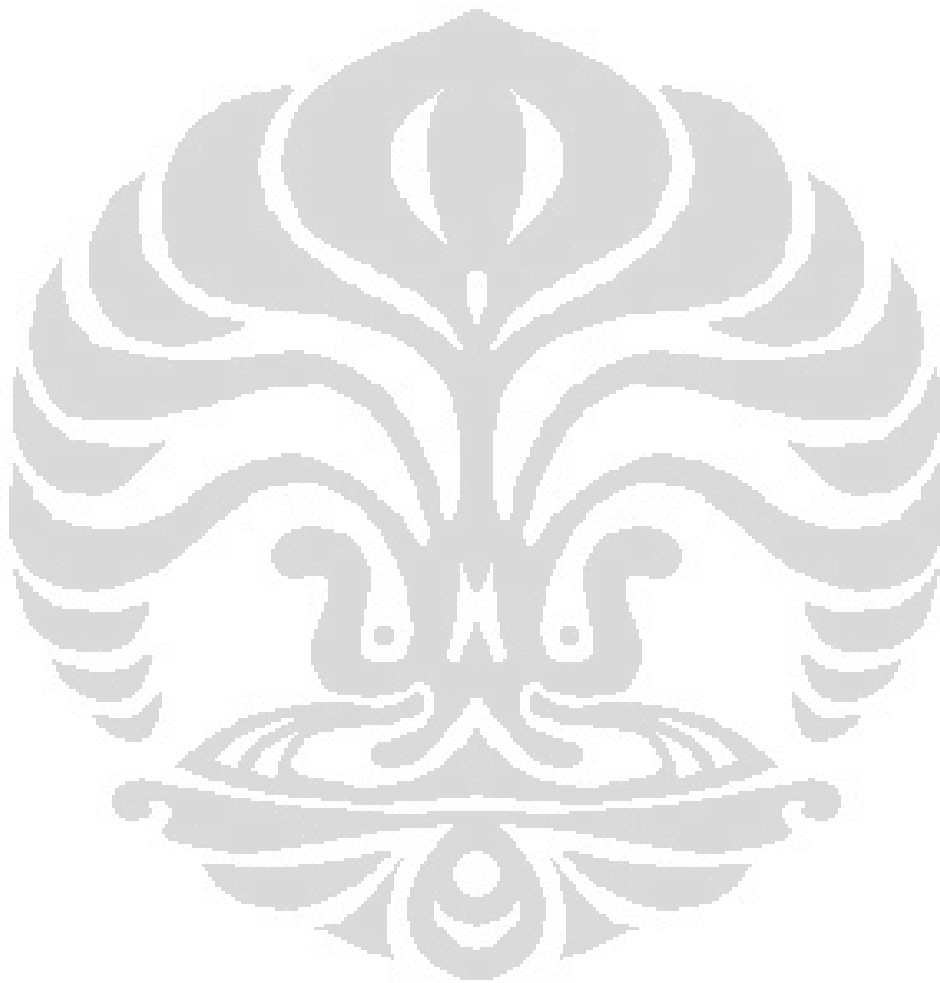
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Klasifikasi Batubara	6
2.2 Karakteristik Batubara	8
2.2.1 Ukuran (<i>Coal size</i>)	8
2.2.2 Tingkat Ketergerusan (<i>Hardgrove Grindability Index</i>)	9
2.2.3 Kandungan <i>Moisture</i>	10
2.2.3.1 <i>Free Moisture</i>	11
2.2.3.2 <i>Residual Moisture</i>	11
2.2.3.3 <i>Moisture Re-adsorpsi</i>	12
2.2.4 Zat Terbang (<i>Volatile Matter</i>)	12
2.2.5 Kadar Karbon (<i>Fixed Carbon</i>)	13
2.2.6 Kadar Abu (<i>Ash Content</i>)	14
2.2.7 Kadar Sulfur (<i>Sulfur Content</i>)	14
2.2.8 Titik Leleh Abu Batubara (<i>Ash Fusion Temperature</i>)	14
2.2.9 Nilai Kalor (<i>Calorific Value</i>)	15
2.3 Penanganan Batubara	16
2.3.1 <i>Stacking</i>	16
2.3.1.1 <i>Jetty</i>	16
2.3.1.2 <i>Belt conveyer</i>	17
2.3.2 <i>Reclaiming</i>	17
2.3.2.1 <i>Silo</i>	18
2.3.2.2 <i>Pulverizer</i>	18
2.3.2 Keamanan dalam Penanganan Batubara	19
2.4 <i>Pre-treatment</i> Batubara	20
2.4.1 <i>Coal Washing</i>	20
2.4.2 <i>Coal Blending</i>	21

2.4.3	<i>Coal Drying</i>	22
2.4.3.1	<i>Rotary Drying</i>	23
2.4.3.2	<i>Fluidized Bed Drying</i>	23
2.5	Teknologi Gelombang Mikro (<i>Microwave</i>)	24
2.5.1	Oven Gelombang Mikro	25
2.5.2	Pemanasan Gelombang Mikro pada Batubara	26
2.5.3	Variabel yang Berpengaruh	27
2.5.3.1	Pengaruh Jenis Batubara	28
2.5.3.2	Pengaruh Massa Batubara	29
2.5.3.3	Pengaruh Ukuran Partikel	29
2.5.3.4	Pengaruh Daya yang Diberikan	30
2.5.3.5	Pengaruh Lama Pemanasan	30
3.	METODE PENELITIAN	32
3.1	Rancangan Penelitian	32
3.2	Bahan Penelitian	36
3.3	Alat Penelitian	36
3.4	Jadwal Penelitian	37
3.5	Alat Pengumpulan Data	38
3.5.1	<i>Microwave Oven</i>	38
3.5.2	<i>Proximate Analyzer</i>	38
3.5.3	<i>Bomb Calorimeter</i>	40
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1	Penyiapan Sampel Batubara	43
4.1.1	<i>Sampling</i> Batubara	43
4.1.2	Hasil Karakterisasi Batubara Awal	44
4.1.3	Preparasi Batubara	45
4.2	Penghilangan <i>Moisture</i> dengan Gelombang Mikro	45
4.2.1	Pengaruh Massa Terhadap Waktu Penghilangan <i>Moisture</i>	46
4.2.2	Pengaruh Jenis Batubara (Kandungan <i>Moisture</i>) Terhadap Waktu Penghilangan <i>Moisture</i>	49
4.2.3	Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Waktu Penghilangan <i>Moisture</i>	56
4.2.4	Pengaruh Daya Terhadap Laju Penghilangan <i>Moisture</i>	64
4.2.5	Hubungan Kandungan <i>Moisture</i> , Ukuran Partikel, Daya Gelombang Mikro dan Massa Batubara Terhadap Waktu Penghilangan <i>Moisture</i>	75
4.2.6	<i>Moisture</i> Re-adsorpsi Batubara	81
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	86
5.1	Kesimpulan	86
5.2	Saran	87
	DAFTAR PUSTAKA	89
	LAMPIRAN	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Pemanfaatan Batubara Berdasarkan Jenisnya	1
Gambar 2.1.	Model Struktur Kimia Batubara	6
Gambar 2.2.	<i>Semi Permanent Jetty</i>	17
Gambar 2.3.	Bentuk <i>Moisture</i> pada Matriks Batubara Halus yang Dapat Hilang Akibat Gelombang Mikro	27
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.2.	<i>Sampling</i> Batubara	33
Gambar 3.3.	Analisis Karakterisasi <i>Parent Coal</i>	34
Gambar 3.4.	<i>Jaw crusher, Sieve shaker</i> dan <i>Rotap</i>	34
Gambar 3.5.	<i>Thermogravimetry Analyzer (TGA) 501</i>	38
Gambar 3.6.	<i>Bomb Calorimeter AC 350</i>	40
Gambar 4.1.	Pengambilan Batubara	43
Gambar 4.2.	Pemilihan Sampel	44
Gambar 4.3.	<i>Crusher</i> dan <i>Mixer Mill</i>	45
Gambar 4.4.	<i>Oven Microwave</i>	46
Gambar 4.5.	Pengaruh banyaknya massa sampel terhadap waktu penghilangan <i>moisture</i>	47
Gambar 4.6.	Pengaruh variasi massa terhadap prosentase massa yang hilang	48
Gambar 4.7.	Pengaruh banyaknya kandungan <i>moisture</i> terhadap waktu penghilangan <i>moisture</i>	50
Gambar 4.8.	Pemanasan batubara berukuran 5/8-4 mesh pada 800 W	51
Gambar 4.9.	Pemanasan batubara berukuran 4-16 mesh pada 800 W.....	52
Gambar 4.10.	Pemanasan batubara berukuran 16-60 mesh pada 800 W	53
Gambar 4.11.	Pemanasan batubara berukuran 200-325 mesh pada 800 W	53
Gambar 4.12.	Pengaruh ukuran partikel terhadap waktu penghilangan <i>moisture</i>	57
Gambar 4.13.	Rongga pada tumpukan partikel besar dan partikel halus	58
Gambar 4.14.	Pemanasan Batubara Melawan pada 320 dan 640 W	58
Gambar 4.15.	Pemanasan Batubara Eco pada 320 dan 640 W	60
Gambar 4.16.	Pemanasan Batubara Peranap pada 320 dan 640 W	61
Gambar 4.17.	Pemanasan Batubara Pendopo pada 320 dan 640 W	61
Gambar 4.18.	Pengaruh daya gelombang mikro terhadap waktu penghilangan <i>moisture</i>	65
Gambar 4.19.	Pemanasan Batubara Melawan pada 320; 640 dan 800 W	66
Gambar 4.20.	Pemanasan Batubara Eco pada 320; 640 dan 800 W	68
Gambar 4.21.	Pemanasan Batubara Peranap pada 320; 640 dan 800 W	70
Gambar 4.22.	Pemanasan Batubara Pendopo pada 320; 640 dan 800 W	73

Gambar 4.23. Perbandingan waktu penghilangan <i>moisture</i> (Y) aktual dengan Y model (4.2)	80
Gambar 4.24. <i>Moisture</i> re-adsorpsi Batubara Melawan setelah pemanasan 320; 640 dan 800 W	81
Gambar 4.25. <i>Moisture</i> re-adsorpsi Batubara Eco setelah pemanasan 320; 640 & 800 W	82
Gambar 4.26. <i>Moisture</i> re-adsorpsi Batubara Peranap setelah pemanasan 320; 640; 800 W	83
Gambar 4.27. <i>Moisture</i> re-adsorpsi Batubara Pendopo setelah pemanasan 320; 640; 800 W	84



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Konversi Ukuran Partikel	9
Tabel 2.2.	<i>Fuel Ratio</i> Berbagai Jenis Batubara	13
Tabel 2.3.	Konversi Nilai Kalor	16
Tabel 2.4.	Rumus Umum <i>Coal Blending</i>	22
Tabel 2.5.	Spesifikasi Batubara untuk PLTU Suralaya Unit 1-4	28
Tabel 3.1.	Bahan-bahan Penelitian	32
Tabel 3.2.	Lokasi Tambang Batubara	32
Tabel 3.3.	Jadwal Penelitian	37
Tabel 4.1.	Hasil Analisis <i>Parent Coal</i>	44
Tabel 4.2.	Hasil Analisis Proksimat Batubara Eco (massa 5; 10; 20; dan 30 g)	49
Tabel 4.3.	Hasil analisis proksimat ukuran lolos 5/8 tertahan 4 mesh pada 800 W	51
Tabel 4.4.	Kandungan mineral dari Batubara Eco dan Batubara Peranap	54
Tabel 4.5.	Hasil analisis proksimat ukuran 4-16; 16-60; dan 200-325 Mesh pada 800 W	55
Tabel 4.6.	Hasil analisis proksimat Batubara Melawan pada 320 dan 640 W	59
Tabel 4.7.	Hasil analisis proksimat Batubara Eco pada 320 dan 640 W	62
Tabel 4.8.	Hasil analisis proksimat Batubara Peranap pada 320 dan 640 W	63
Tabel 4.9.	Hasil analisis proksimat Batubara Pendopo pada 320 dan 640 W	64
Tabel 4.10.	Hasil analisis proksimat Batubara Melawan pada 320; 640 dan 800 W	67
Tabel 4.11.	Hasil analisis proksimat Batubara Eco pada 320; 640 dan 800 W	70
Tabel 4.12.	Hasil analisis proksimat Batubara Peranap pada 320; 640 dan 800 W	72
Tabel 4.13.	Hasil analisis proksimat Batubara Pendopo pada 320; 640 dan 800 W	74
Tabel 4.14.	Data pengaruh berbagai variasi terhadap waktu penghilangan <i>moisture</i>	76
Tabel 4.15.	Hasil analisis ANOVA terhadap waktu penghilangan <i>moisture</i>	77
Tabel 4.16.	Pengaruh variasi bebas terhadap variabel tetap	79

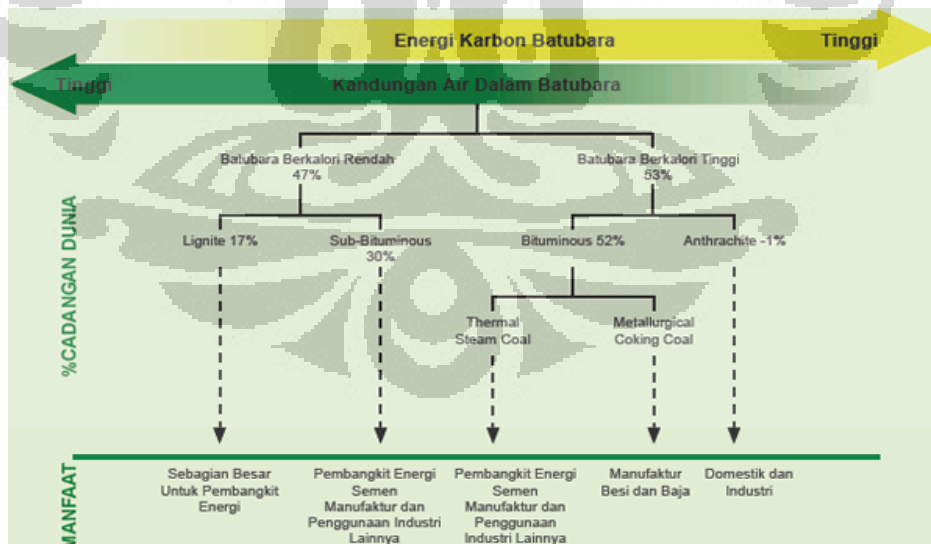
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cadangan sumber daya batubara Indonesia yang aspek ekonomisnya belum diperhitungkan, pada tahun 2009 mencapai 104,76 milyar ton (per 1 Januari 2009), yang tersebar di Sumatera sejumlah 50 % (terbesar di Sumatera Selatan) dan 50 % di Kalimantan. Potensi batubara Indonesia sebagian besar termasuk kategori batubara muda atau batubara peringkat rendah, dengan perkiraan lignit 58,7 %, sub bituminus 26,7 %, bituminus 14,35 % dan antrasit 0,3 % (CDIEMR, 2009). Perpres No. 5 tahun 2006, yang menyatakan bahwa konsumsi batubara akan terus ditingkatkan hingga tahun 2025, membuat adanya peluang pasar yang besar dan berkembang untuk batubara peringkat rendah.

Salah satu pemanfaatan batubara yang paling besar di Indonesia adalah sebagai bahan bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Dapat dilihat pada Gambar 1.1., bahwa pemanfaatan batubara peringkat rendah sebagian besar adalah untuk pembangkit energi.



Gambar 1.1. Pemanfaatan Batubara Berdasarkan Jenisnya

(Annual Report Tahun 2008 PT. Adaro, Tbk., <http://www.adaro.com/AnnualReport2008/id.html>)

Akan tetapi pembangkitan energi menggunakan batubara peringkat rendah memiliki berbagai kendala, karena pembakaran batubara di boiler pada PLTU

akan sangat bergantung pada kualitas batubara yang dipakai. Beberapa permasalahan yang timbul akibat pemakaian batubara kualitas rendah diantaranya adalah penurunan efisiensi pembakaran akibat kandungan air batubara yang tinggi, penurunan efisiensi penukar kalor pada *boiler* akibat terjadinya *slagging* (kerak) di daerah radiasi dan *fouling* (pengotor) di daerah konveksi.

Batubara Indonesia diperkirakan banyak yang diproduksi dari cadangan batubara lignit rendah kalori (*low rank lignite*) dan sub-bituminus yang nilai kalornya 3.700 kcal/kg sampai 4.200 kcal/kg. Menurut Ewart *et al.* (2009), meskipun batubara Indonesia yang berperingkat rendah memiliki kadar abu dan sulfur yang sangat rendah (rata-rata kandungan sulfur batubara Indonesia di bawah 1 %) namun memiliki total kandungan air yang cukup tinggi, yaitu lebih besar dari 40 %. Padahal kadar air yang tinggi pada batubara peringkat rendah menyebabkan masalah selama penanganan batubara termasuk transportasi, penyimpanan, penggilingan, dan pembakaran.

Berbagai metode untuk meningkatkan nilai kalor dengan menghilangkan kandungan *moisture* dari batubara peringkat rendah dikembangkan, seperti penggunaan udara panas, pembakaran gas maupun *superheated steam* sebagai media pengeringan. Namun metode pemanasan konvensional ini kurang efektif ditinjau dari waktu serta energi yang dibutuhkan. Hal ini karena fluks panas pada sistem pengeringan konvensional adalah dari permukaan partikel ke pusat partikel, sedangkan fluks massa *moisture* bergerak dari dalam ke permukaan partikel (Mujumdar dalam Tahmasebi *et al.*, 2011). Seehra *et al.* (2007) dalam penelitiannya melakukan analisa pemanasan batubara secara thermogravimetri (TGA) dan dibandingkan dengan pemanasan menggunakan gelombang mikro untuk mengetahui pengaruh hilangnya persen berat terhadap waktu. Dalam studi tersebut disimpulkan bahwa massa *moisture* batubara yang hilang pada pemanasan dengan gelombang mikro memerlukan waktu yang jauh lebih sedikit dengan faktor hampir sepersepuluhnya dibandingkan dengan pemanasan termal konvensional.

Energi gelombang mikro merupakan radiasi elektromagnetik non-pengion dengan frekuensi yang berkisar dari 300 MHz hingga 300 GHz dan panjang gelombang 1-300 mm. Gelombang mikro dapat ditransmisikan, diserap, atau

dipantulkan. Gelombang mikro terbentuk dari dua bidang tegak lurus yang berorientasi, misalnya bidang dan medan magnet elektrik yang menimbulkan pemanasan. Menurut Paramitha (2008), pemanasan dengan gelombang mikro terjadi pada target dan selektif, tidak seperti pemanasan konvensional yang bergantung pada peristiwa konduksi-konveksi yang sebagian besar energinya berpindah ke lingkungan.

Permasalahan lain terkait dengan pengeringan batubara ini, meskipun batubara dapat dikeringkan menggunakan udara panas biasa, batubara peringkat rendah yang telah kering cenderung menyerap air kembali ketika dalam lingkungan yang mengandung air/ uap air (re-adsorpsi) karena *equilibrium moisture* batubara yang tinggi (Hadiyanto, 2008). Xianchun *et al.* (2009) juga melakukan eksperimen terhadap *moisture* re-adsorpsi batubara dengan pengeringan pada suhu yang berbeda-beda. Penelitiannya tersebut menunjukkan kemampuan re-adsorpsi *moisture* batubara kering tergantung pada kelembaban relatif dan suhu di mana batubara dikeringkan.

Meskipun penghilangan kandungan air dengan menggunakan gelombang mikro telah terbukti dapat menghilangkan air secara lebih cepat dibandingkan dengan metode konvensional, namun studi tentang bagaimana pengaruh dari jenis batubara, ukuran partikel, suhu pemanasan dan lamanya pengeringan terhadap *moisture* re-adsorpsi masih belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian lebih lanjut tentang hal tersebut sehingga diharapkan akan diperoleh suatu metode yang tepat untuk peningkatan batubara Indonesia peringkat rendah dengan pengeringan menggunakan gelombang mikro yang mampu mengurangi waktu pemanasan dan mengurangi *moisture* re-adsorpsi batubara.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan melihat latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam proposal penelitian ini adalah perlunya sebuah metode yang tepat untuk meningkatkan kualitas batubara Indonesia peringkat rendah dengan melakukan penghilangan *moisture* yang cepat, efektif, serta terhindar dari re-adsorpsi salah satunya dengan pemanasan menggunakan gelombang mikro.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini di antaranya adalah :

1. Mendapatkan metode pemanasan batubara yang efektif dengan menggunakan gelombang mikro untuk peningkatan kualitas batubara Indonesia peringkat rendah.
2. Mempelajari pengaruh jenis batubara, massa batubara, ukuran partikel, besarnya daya yang diserap dan lamanya pengeringan terhadap karakteristik kualitas batubara; yaitu kandungan *moisture*, nilai kalor, *fuel ratio*, dan abu sebelum juga sesudah pemanasan; serta *moisture* re-adsorpsi sesudah pengeringan.

1.4 Ruang Lingkup

Penelitian ini memiliki ruang lingkup sebagai berikut:

1. Batubara yang digunakan adalah batubara yang berasal dari Riau, Sumatera Selatan, Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan.
2. Pemanasan dilakukan dengan menggunakan gelombang mikro dengan variasi daya 320; 640; 800 W.
3. Karakteristik batubara yang akan diamati secara khusus adalah kandungan *moisture*, nilai kalor, *fuel ratio* dan abu sebelum juga sesudah pemanasan; serta *moisture* re-adsorpsi sesudah pengeringan.

1.5 Sistematika Penulisan

Susunan penulisan akan mengacu pada sistematika berikut ini:

▪ BAB 1. PENDAHULUAN

Bab pendahuluan ini berisikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penulisan, ruang lingkup dan sistematika penulisan.

▪ BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini merupakan landasan teori yang membahas tentang teori yang berkaitan dengan klasifikasi batubara, karakteristik batubara, *moisture* batubara, teknologi penghilangan *moisture* dan teknologi gelombang mikro.

- **BAB 3. METODE PENELITIAN**

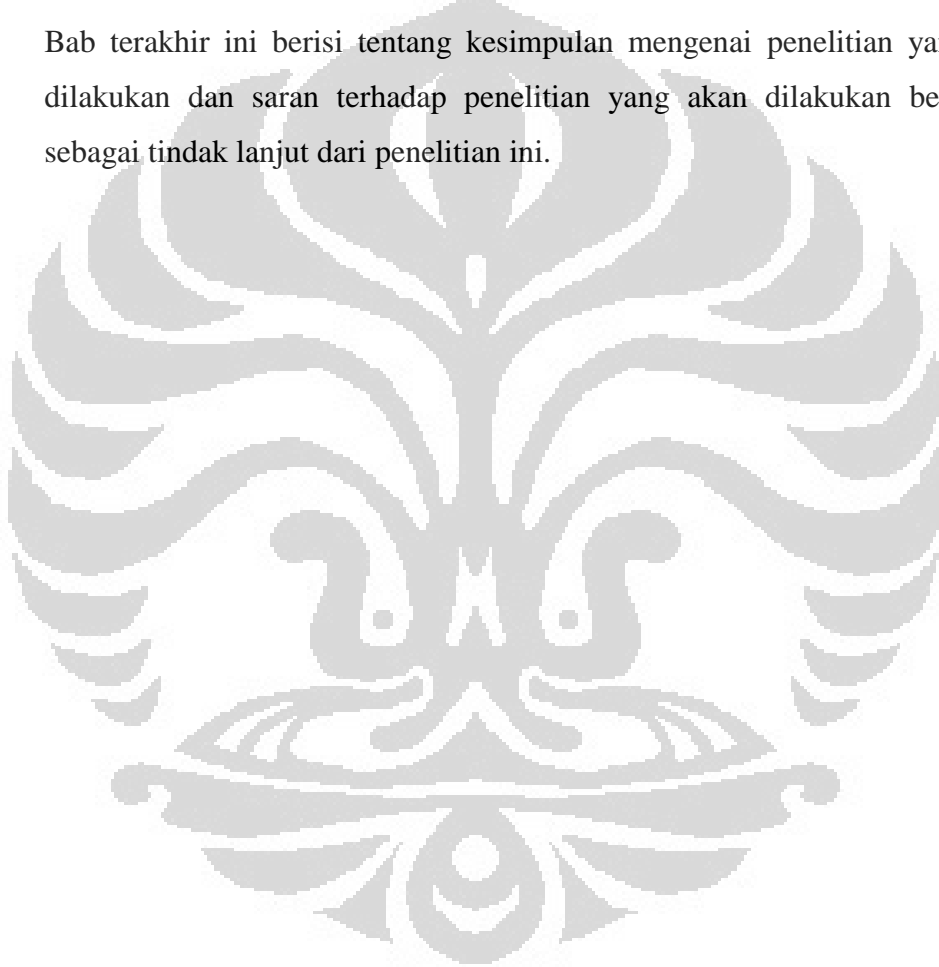
Bab metodologi penelitian ini berisikan langkah-langkah yang dilakukan dalam menjalankan penelitian beserta cara analisisnya untuk mencapai tujuan penelitian.

- **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang proses penelitian, data hasil penelitian, pembahasan dan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil penelitian yang akan diperoleh.

- **BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

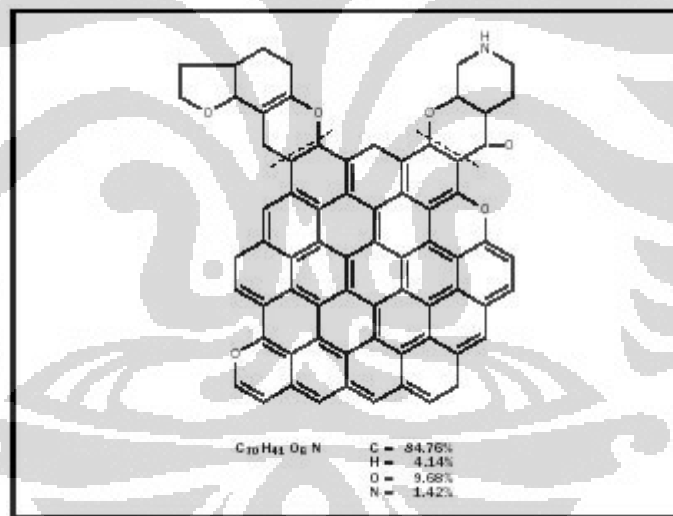
Bab terakhir ini berisi tentang kesimpulan mengenai penelitian yang telah dilakukan dan saran terhadap penelitian yang akan dilakukan berikutnya sebagai tindak lanjut dari penelitian ini.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Batubara merupakan salah satu sumber energi yang paling penting yang biasanya didapat dalam bentuk deposit (*coal seam*). Deposit batubara merupakan hasil final dari pengaruh-pengaruh kumulatif dari pembusukan atau dekomposisi tanaman, pengendapan dan penimbunan oleh sedimen, pergerakan kulit bumi dan pengaruh erosi. Seperti umumnya bahan yang terdapat di alam, batubara tidak pernah berada dalam keadaan murni, selalu bercampur dengan senyawa-senyawa atau sisa-sisa tanaman lain hasil metamorfosis. Struktur kimia batubara bagian terbesar terdiri dari poliaromatik dan gugus fungsi lain, berupa: -CH₃, -OH, -C-O-C-, -CO-, -COOH, -OCH₃, -S-, -N=. Gambar 2.1. menunjukkan model struktur kimia batubara dengan gugus fungsi aromatik dan alipatik.



Gambar 2.1. Model Struktur Kimia Batubara (Lowry, 1963)

2.1 Klasifikasi Batubara

Batubara adalah bahan mineral yang heterogen secara kimia maupun fisika, yang tersusun dari unsur utama karbon, hidrogen, oksigen, sedikit kandungan sulfur dan nitrogen. Semakin tinggi tingkat pembatubaraan maka kadar karbon akan meningkat sedangkan hidrogen dan oksigen akan berkurang. Pada batubara, karbon membentuk lebih dari 50 % berat dan 70 % volume

(termasuk *moisture*). *Moisture* yang dimaksud adalah air yang terperangkap diantara partikel-partikel batubara.

Tingkat pembatubaraan secara umum dapat diasosiasikan dengan mutu atau kualitas batubara. Batubara dengan tingkat pembatubaraan yang rendah, disebut juga batubara peringkat rendah, seperti lignit dan sub-bituminus biasanya lebih lembut dengan materi yang rapuh dan berwarna suram seperti tanah, memiliki *moisture* yang tinggi dan kadar karbon yang rendah, sehingga memiliki kandungan energi yang rendah. Semakin tinggi peringkat batubara, umumnya akan semakin keras dan kompak, serta warnanya akan semakin hitam mengkilat. Selain itu, kelembaban batubara pun akan berkurang sedangkan kadar karbonnya akan meningkat, sehingga memiliki kandungan energi yang juga semakin besar.

Klasifikasi batubara menurut ASTM berdasarkan kuantitas fraksi karbon dan *heating value*-nya, yaitu:

1. Lignit

Memiliki kadar karbon yang paling rendah diantara keempat jenis batubara lainnya. Hal tersebut mengakibatkan rendahnya *heating value* dari lignit.

2. Sub-bituminus

Batubara jenis ini merupakan hasil dehidrogenasi dan metanogenesis lignit. Batubara ini memiliki tingkat maturitas organik yang lebih tinggi, lebih keras dan lebih gelap daripada lignit.

3. Bituminus

Batubara ini merupakan batubara yang mengalami reaksi lanjutan dari dehidrogenasi pada pembentukan dan pemisahan gas metana dan gas hidrokarbon lebih tinggi seperti etana, propana dan lainnya akan membentuk batubara jenis ini.

4. Antrasit

Merupakan batubara yang lebih sempurna karena memiliki *heating value* yang paling besar dan kandungan *moisture* yang terendah diantara lainnya. Oleh sebab itu, batubara jenis ini merupakan batubara yang paling tinggi mutunya.

2.2 Karakteristik Batubara

Dalam pemanfaatannya, batubara harus diketahui terlebih dulu kualitasnya. Hal ini dimaksudkan agar spesifikasi mesin atau peralatan yang memanfaatkan batubara sebagai bahan bakarnya sesuai dengan mutu batubara yang akan digunakan, sehingga mesin tersebut dapat berfungsi optimal dan tahan lama. Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas batubara:

- Jenis tanaman merupakan faktor yang paling berpengaruh.
- Kondisi pembusukan seperti kedalaman, temperatur, derajat keasaman dan gerakan air.
- Cara pendeposisian dan penimbunan oleh sedimen. Jika sedimen batubara organik dan inorganik berinteraksi secara intim, maka akan berpengaruh banyak pada tingkat (*grade*) batubara.

Karakteristik batubara berbeda-beda sesuai dengan *coal field* dan *coal seam*, sehingga batubara memiliki tingkat variabilitas tinggi baik fisik maupun kimia, dan tidak hanya bervariasi secara vertikal namun juga horisontal. Akibat variabilitasnya ini dilakukanlah parameterisasi kualitas batubara untuk memudahkan pemanfaatannya, yang lazim digunakan adalah ukuran, tingkat kekerasan (*hardgrove grindability index, HGI*), kadar kelembaban (*total moisture*), kandungan zat terbang (*volatile matter, VM*), kadar karbon, kadar abu, kadar sulfur, titik leleh abu batubara (*ash fusion, temperature, AFT*), dan nilai kalor.

2.2.1 Ukuran (*Coal Size*)

Ukuran butir batubara dibatasi pada rentang butir halus (*pulverized coal* atau *dust coal*) dan butir kasar (*lump coal*). Butir paling halus untuk ukuran maksimum 3 milimeter, sedangkan butir paling kasar sampai dengan ukuran 50 milimeter. Butir paling halus dibatasi *dustness* dan tingkat kemudahan diterbangkan angin sehingga mengotori lingkungan. Tingkat *dustness* dan kemudahan beterbangan masih ditentukan pula oleh kandungan *moisture* batubara. Ukuran partikel batubara pada umumnya menggunakan satuan mesh.

Tabel di bawah ini adalah konversi ukuran hasil penyaringan pada unit penggilingan batubara dari milimeter ke mesh.

Tabel 2.1. Konversi Ukuran Partikel

Ukuran saringan (sieve series)	
<i>Sieve size (mm)</i>	<i>US (mess)</i>
4,75	4
2,38	8
2,00	10
1,20	16
1,00	18
0,853	20
0,599	30
0,422	40
0,297	50
0,251	60
0,178	80
0,152	100
0,125	120
0,075	200
0,044	325
0,037	400

2.2.2 Tingkat Kekerasan (*Hardgrove grindability index* atau **HGI**)

Suatu PLTU biasanya disiapkan untuk menggunakan kapasitas penggerusan terhadap suatu jenis batubara pada HGI tertentu dengan merancang kinerja *pulverizer* atau *mill*. Untuk HGI lebih rendah, kapasitasnya harus beroperasi lebih rendah dari nilai standarnya untuk menghasilkan tingkat kehalusan (*fineness*) yang sama. HGI merupakan suatu bilangan yang dapat menunjukkan mengenai mudah sukarnya batubara untuk digerus. Harga HGI diperoleh dengan rumus:

$$\mathbf{HGI = 13,6 + 6,93 W} \quad (2.1)$$

W adalah berat dalam gram dari batubara lembut berukuran 200 mesh. Makin tinggi harga HGI makin lunak batubara tersebut. Makin kecil bilangannya maka makin keras keadaan batubaranya. Penggolongan kekerasan batubara berdasarkan nilai HGI yaitu:

- HGI > 70 → *soft* (lunak).

- HGI 50-70 → *medium soft* (agak lunak).
- HGI 30-50 → *hard* (keras).

2.2.3 Kandungan *Moisture*

Moisture pada batubara mempengaruhi banyak kegiatan mulai dari eksplorasi, penanganan, penyimpanan, penggilingan hingga pembakaran. Beberapa pengaruh *moisture* batubara, yaitu:

- Batubara dengan *moisture* tinggi dapat meningkatkan biaya transportasi, penanganan dan peralatan.
- Semakin tinggi air di permukaan suatu batubara akan semakin rendah daya gerus *grinding mill* yang menggerusnya.
- Kadar *moisture* akan mempengaruhi jumlah pemakaian udara primer. Batubara dengan kandungan *moisture* tinggi akan membutuhkan udara primer lebih banyak untuk mengeringkan batubara tersebut pada suhu keluar *mill* tetap.

Moisture pada batubara bukanlah seluruh air yang terdapat di dalam batubara baik besar maupun kecil dan yang terbentuk dari penguraian batubara selama pemanasan. Namun air pada batubara dapat ditemukan dalam kondisi berada di dalam batubara maupun terurai dari batubara apabila dipanaskan sampai kondisi tertentu akibat terjadinya oksidasi. Menurut Deevi dan Suuberg dalam Xianchun *et al.* (2009) menyatakan bahwa *moisture* dalam batubara berada dalam beberapa bentuk yang berbeda yaitu air bebas di permukaan; air yang terkondensasi di kapiler; air yang terserap, air yang terikat dengan gugus polar dan kation; dan air yang timbul akibat dekomposisi kimia baik material organik maupun inorganik.

Total Moisture ialah seluruh jumlah air yang terdapat pada batubara dalam bentuk *inherent* dan *adherent* pada kondisi saat batubara tersebut diambil contohnya (*as sampled*) atau pada kondisi saat batubara tersebut diterima (*as received*). Nilai *total moisture* diperoleh dari hasil perhitungan nilai *free moisture* dengan nilai *residual moisture* dengan rumus:

$$\% \text{ TM} = \% \text{ FM} + \% \text{ RM} \times (1 - \% \text{ FM}/100) \quad (2.2)$$

Nilai-nilai *free moisture* dan *residual moisture* diperoleh dari hasil analisis penetapan *total moisture* metode dua tahap (*two state determination*).

2.2.3.1 *Free Moisture (FM)*

Free moisture merupakan air yang terdapat pada permukaan batubara dan pori-pori batubara yang relatif besar. Air dalam bentuk ini menguap pada suhu ruang. *Free moisture* istilah yang dipakai ISO, BS dan AS sedangkan ASTM mempergunakan istilah *air dry loss* (ADL). Pada ASTM dikenal juga istilah *free moisture* akan tetapi istilah tersebut mempunyai pengertian yang berbeda dengan istilah *free moisture* yang dipergunakan oleh ISO, BS, AS.

Free moisture menurut ISO ialah jumlah air yang menguap apabila conto batubara yang baru diterima atau yang baru diambil, dikeringkan dalam ruangan terbuka pada kondisi tertentu sampai didapat berat konstan. Berat konstan ialah berat penimbangan terakhir apabila pada dua penimbangan terakhir dicapai perbedaan berat $< 0,1$ % per jam.

Keberadaan *free moisture* dimungkinkan karena:

- Bercampurnya air tanah dengan batubara pada waktu penambangan.
- Taburan air hujan pada tumpukan batubara.
- Sisa-sisa air yang tertinggal pada permukaan batubara setelah proses pencucian.
- Air yang disemprotkan untuk mengurangi debu pada tumpukan batubara.

2.2.3.2 *Residual Moisture*

Inherent moisture merupakan *moisture* yang dianggap terdapat di dalam rongga-rongga kapiler dan pori-pori batubara yang relatif kecil pada kedalaman aslinya, yang secara teori dinyatakan bahwa kondisi tersebut ialah kondisi dengan tingkat kelembaban 100 % serta suhu 30 °C. Karena sulitnya mensimulasi kondisi batubara di kedalaman aslinya maka badan-badan standarisasi menetapkan kondisi pendekatan untuk dipergunakan pada metode standar pengujian di laboratorium.

ASTM menggunakan istilah *residual moisture* untuk kandungan *moisture* yang terperangkap di kapiler batubara. *Residual moisture* ialah jumlah air

yang menguap dari conto batubara yang sudah kering (setelah *free moisture*-nya menguap) apabila dipanaskan kembali pada suhu 105-110 °C, proses pengerjaan untuk mendapatkan nilai *residual moisture* merupakan tahap kedua dari penetapan *total moisture* (metode dua tahap).

2.2.3.3 *Moisture Re-adsorpsi*

Xianchun *et al.* (2009) melakukan eksperimen *moisture* kesetimbangan (*equilibrium moisture*) terhadap batubara dengan pengeringan pada suhu yang berbeda-beda. Terlihat bahwa kandungan *equilibrium moisture* menurun dengan meningkatnya suhu pengeringan. Pada pengeringan termal, batubara peringkat rendah yang mengandung air dianggap sebagai struktur gel dan sebagai subjek untuk perubahan *irreversibel* saat pengeringan termal karena penyusutan batubara. Pengeringan menyebabkan runtuhnya struktur pori batubara akibat *moisture* hilang dan menguap; dan perubahan penambahan struktur batubara tergantung pada suhu pengeringan. Runtuhnya struktur pori batubara mengakibatkan luas permukaan partikel batubara yang mampu menyerap kembali (re-adsorpsi) *moisture* (kelembaban) dari atmosfer di sekitarnya berkurang.

2.2.4 *Zat Terbang (Volatile Matter atau VM, satuan persen)*

Kandungan *volatile matter* (VM) sangat erat kaitannya dengan kelas batubara tersebut, makin tinggi kandungan VM makin rendah kelasnya. Pada pembakaran batubara, maka kandungan VM yang tinggi akan lebih mempercepat pembakaran karbon padatnya dan sebaliknya VM yang rendah lebih mempersukar proses pembakaran. Kandungan VM mempengaruhi kesempurnaan pembakaran dan intensitas nyala api.

Kesempurnaan pembakaran ditentukan oleh:

$$\text{Fuel Ratio} = \frac{\text{Fixed Carbon}}{\text{Volatile Matter}} \quad (2.3)$$

Semakin tinggi nilai *fuel ratio* maka jumlah karbon di dalam batubara yang tidak terbakar juga semakin banyak. Jika perbandingan tersebut nilainya lebih dari 1,2 maka pengapian akan kurang bagus sehingga mengakibatkan kecepatan

pembakaran menurun. Nisbah kandungan karbon (*fixed carbon*) terhadap kandungan zat terbang disebut *fuel ratio* dari berbagai jenis batubara dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. *Fuel Ratio* Berbagai Jenis Batubara (Sukandarrumidi, 1995)

Jenis Batubara	<i>Fuel Ratio</i>
1. <i>Coke</i>	92
2. Antrasit	24
3. Semi antrasit	8,6
4. Bitumen	
*) <i>Low volatile</i>	2,8
*) <i>Medium volatile</i>	1,9
*) <i>High volatile</i>	1,3
5. Lignit	0,9

Volatile matter merupakan kuantitas sejumlah senyawa-senyawa yang mudah menguap. Senyawa *volatile* ini berperan sebagai pemantik dari proses terbakarnya batubara. Semakin sedikit senyawa *volatile* pada batubara, maka akan semakin sulit batubara terbakar meskipun batubara tersebut memiliki *fixed carbon* yang besar.

2.2.5 Kadar Karbon (*Fixed Carbon* atau FC, satuan persen)

Fixed carbon atau kadar karbon merupakan kandungan utama dari batubara. Kandungan inilah yang paling berperan dalam menentukan besarnya *heating value* suatu batubara. Semakin banyak *fixed carbon*, maka semakin besar *heating value*-nya. Nilai kadar karbon diperoleh melalui pengurangan angka 100 dengan jumlah kadar *moisture* (kelembaban), kadar abu, dan jumlah zat terbang. Nilai ini semakin bertambah seiring dengan tingkat pembatubaraan. Kadar karbon dan jumlah zat terbang digunakan sebagai perhitungan untuk menilai kualitas bahan bakar, yaitu berupa nilai *fuel ratio* sebagaimana dijelaskan di atas.

2.2.6 Kadar Abu (*Ash Content*, satuan persen)

Abu merupakan komponen yang terkandung pada batubara yang tidak dapat terbakar. Pada umumnya abu ini berupa mineral yang berasal dari dalam

tanah. Kandungan abu akan terbawa bersama gas pembakaran melalui ruang bakar dan daerah konversi dalam bentuk abu terbang (*fly ash*) yang jumlahnya mencapai 80 % dan abu dasar sebanyak 20 %.

Secara umum semakin tinggi kadar abu maka akan mempengaruhi tingkat pengotoran (yang berupa *fouling*), keausan, dan korosi peralatan yang dilalui. Selain kualitas yang akan mempengaruhi penanganannya, baik sebagai *fly ash* maupun *bottom ash* tetapi juga komposisinya yang akan mempengaruhi pemanfaatannya dan juga titik leleh yang dapat menimbulkan *fouling* pada pipa-pipa. Dalam hal ini kandungan Na_2O dalam abu akan sangat mempengaruhi titik leleh abu. Abu ini dapat dihasilkan dari pengotor bawaan (*inherent impurities*) maupun pengotor sebagai hasil penambangannya.

2.2.7 Kadar Sulfur (*Sulfur Content*, satuan persen)

Kandungan sulfur dalam batubara terbagi dalam *pyritic sulfur*, *sulfate sulfur* dan *organic sulfur*. Namun secara umum, penilaian kandungan sulfur dalam batubara dinyatakan dalam total sulfur (TS). Kandungan sulfur berpengaruh terhadap tingkat korosi sisi dingin yang terjadi pada elemen pemanas udara, terutama apabila suhu kerja lebih rendah dari pada titik embun sulfur, di samping berpengaruh terhadap efektivitas penangkapan abu pada peralatan *electrostatic precipitator*.

2.2.8 Titik Leleh Abu Batubara (*Ash Fusion Temperature*, AFT)

Ash fusion temperature (AFT) merupakan titik leleh abu batubara. Abu batubara biasanya akan meleleh pada saat harga AFT-nya lebih rendah dari temperatur *boiler* tepatnya *furnace exit gas temperature* (FEGT) yang ditetapkan. Akibatnya, abu batubara berpotensi membentuk *slagging* yang menyebabkan penurunan efisiensi *boiler*. Penurunan ini menyebabkan kerugian yang cukup besar bagi industri. Oleh karena itu, dibutuhkan nilai AFT batubara yang tinggi melebihi temperatur FEGT.

Pengukuran temperatur leleh abu dilakukan dengan memanaskan abu batubara yang dibentuk kerucut di dalam suatu tungku. Temperatur pelelehan abu ini dibagi ke dalam empat kategori, yaitu:

- Temperatur deformasi awal (*initial temperatur*, IT)
Temperatur dimana pembulatan pada ujung kerucut terjadi.
- Temperatur pelunakan (*softening temperatur*, ST)
Temperatur dimana kerucut telah meleleh menjadi bulat dengan ketinggian sama dengan lebarnya.
- Temperatur *hemispherical* (HT)
Temperatur dimana kerucut telah meleleh menjadi bentuk *hemispherical* dengan ketinggian menjadi setengah lebar dasarnya.
- Temperatur Fluida (FT)
Temperatur dimana seluruh abu telah meleleh dengan ketinggian maksimal 1/16 inci.

2.2.9 Nilai Kalor (*Calorific Value*, CV)

Nilai kalor sangat berpengaruh terhadap pengoperasian *pulverizer/ mill*, pipa batubara, dan *windbox*, serta *burner*. Semakin tinggi CV maka aliran batubara setiap jam-nya semakin rendah sehingga kecepatan *coal feeder* harus disesuaikan. Untuk batubara dengan kadar kelembaban dan tingkat ketergerusan yang sama, maka dengan CV yang tinggi menyebabkan *pulverizer* akan beroperasi di bawah kapasitas normalnya (menurut desain), atau dengan kata lain *operating ratio*-nya menjadi lebih rendah.

Harga nilai kalor merupakan penjumlahan dari harga-harga panas pembakaran dari unsur-unsur pembentuk batubara. Harga nilai kalor yang dapat dilaporkan adalah harga *gross calorific value* dan biasanya dengan besar *air dried*, sedang nilai kalor yang benar-benar dimanfaatkan pada pembakaran batubara adalah *net calorific value* yang dapat dihitung dengan harga panas *latent* dan *sensible* yang dipengaruhi oleh kandungan total dari air dan abu (*as determined*). Berdasarkan ASTM, konversi nilai kalor dapat diubah dari kondisi *as determined* (masih mengandung total air dan abu) ke kondisi *as received* (masih mengandung *residual moisture* dan abu); atau ke kondisi *dry* (tidak mengandung air); maupun ke kondisi *dry ash free* (tidak mengandung air dan abu). Konversi ini dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Konversi Nilai Kalor

Given	(ad)	(ar)	(d)	(daf)
	Wanted			
<i>As-Determined (ad)</i>	-	$\frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}}$	$\frac{100}{100 - M_{ad}}$	$\frac{100}{100 - M_{ad} - A_{ad}}$
<i>As-Received (ar)</i>	$\frac{100 - M_{ad}}{100 - M_{ar}}$	-	$\frac{100}{100 - M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - M_{ar} - A_{ar}}$
<i>Dry (d)</i>	$\frac{100 - M_{ad}}{100}$	$\frac{100 - M_{ar}}{100}$	-	$\frac{100}{100 - A_{ad}}$
<i>Dry, Ash-Free (daf)</i>	$\frac{100 - M_{ad} - A_{ad}}{100}$	$\frac{100 - M_{ar} - A_{ar}}{100}$	$\frac{100 - A_{ad}}{100}$	-

2.3 Penanganan Batubara

Batubara yang digunakan sebagai bahan bakar PLTU, pengirimannya dilakukan dengan menggunakan kapal laut yang kemudian akan ditampung di *coal pile*. Sebelum digunakan sebagai bahan bakar, batubara akan melalui beberapa proses yaitu *stacking*, *reclaiming* dan *processing*. Tetapi penanganan batubara atau biasa lebih dikenal dengan istilah *coal handling* hanya akan melaksanakan proses *stacking* dan *reclaiming*. *Coal handling system* berfungsi menangani mulai dari pembongkaran batubara dari kapal/ tongkang (*unloading area*), penimbunan/penyimpanan di *stock area* ataupun pengisian ke bunker (*power plant*) yang digunakan untuk pembakaran di *boiler*.

2.3.1 *Stacking*

Stacking adalah proses pemindahan batubara dari kapal ke *coal pile*.

2.3.1.1 *Jetty*

Jetty merupakan dermaga atau tempat merapat kapal laut pengangkut batubara di PLTU. Biasanya tiap *jetty* mempunyai empat buah *doc mobil hopper* yang fungsinya untuk memindahkan batubara dari kapal ke *belt conveyor*. *Doc mobil hopper* dapat diubah-ubah posisinya sesuai dengan posisi kapal, hal ini dikontrol oleh operator di *Coal Unloading Control Building (CUCB)*. Gambar 2.2. berikut ini adalah pelabuhan *semi permanent jetty* pada PLTU Suralaya.



Gambar 2.2. Semi Permanent Jetty (Faisal et al., 2008)

2.3.1.2 Belt Conveyor

Belt conveyor berbentuk semacam sabuk besar yang terbuat dari karet yang bergerak melewati *head pulley* dan *tail pulley*, keduanya berfungsi untuk menggerakkan *belt conveyor*, serta *tensioning pulley* yang berfungsi sebagai peregang *belt conveyor*. Untuk menyangga *belt conveyor* beserta bobot batubara yang diangkut dipasang *idler* pada jarak tertentu diantara *head pulley* dan *tail pulley*. *Idler* adalah bantalan berputar yang dilewati oleh *belt conveyor*. Batubara yang diangkut oleh *conveyor* dituangkan dari sebuah bak peluncur (*chute*) diujung *tail pulley* kemudian bergerak menuju ke arah *head pulley*. Biasanya, muatan batubara akan jatuh ke dalam bak peluncur lainnya yang terletak dibawah *head pulley* untuk diteruskan ke *conveyor* lainnya atau masuk ke bak penyimpanan.

2.3.2 Reclaiming

Reclaiming adalah proses pengambilan batubara dari *coal pile* dan menyalurkan ke *silo*. Pada *coal pile*, proses penimbunan dan pengambilan batubara dilakukan dengan alat yang disebut *stacker/ reclaimer*. Alat ini merupakan sebuah *conveyor* yang kompleks dan terpasang pada sebuah struktur yang dapat bergerak. Di dalam proses penimbunan, *stacker* menyalurkan batubara melalui sebuah lengan yang dapat diatur agar selalu diam ditempat, sehingga batubara yang tumpah melalui lengan itu akan membentuk timbunan yang tinggi, apabila lengan bergerak maju mundur maka timbunan yang akan dihasilkan menjadi timbunan yang rapi dan memanjang. Pada saat pengambilan, *reclaiming bucket* pada *stacker* akan berputar dan mengeruk batubara yang selanjutnya

dituang ke *belt conveyor* untuk dibawa ke instalasi. Seperti halnya proses penimbunan, *reclaiming bucket* ini dapat juga diatur agar tetap diam ditempat atau maju mundur untuk mengeruk batubara.

2.3.2.1 Silo

Silo merupakan bunker tempat menampung batubara di instalasi yang kemudian digunakan sebagai bahan bakar di *boiler*. Pengisian *silo* dilakukan dengan menggunakan *belt conveyor* yang dihubungkan dengan *tripper*, pengoperasiannya dilakukan oleh operator di *Coal Handling Control Building* (CHCB). Dari silo batubara dimasukkan ke *pulverizer* dengan menggunakan *coal feeder*, batubara dari *pulverizer* ini yang akan digunakan untuk pembakaran di *boiler*.

2.3.2.2 Pulverizer

Bongkahan-bongkahan batubara yang seperti batu harus dihancurkan menjadi butiran-butiran halus agar batubara mudah tercampur dengan udara. *Pulverizer* adalah alat untuk menggiling batubara sehingga menjadi halus dan kemudian bersama dengan udara primer akan dialirkan ke *furnace*. Fungsi lain dari *pulverizer* adalah untuk mengeringkan batubara sehingga mudah dihaluskan dan dibakar, dan untuk mengklasifikasikan atau menyaring batubara untuk memastikan bahwa batubara yang masuk ke dalam *boiler* benar-benar halus. Batubara yang tidak tergiling akan keluar melalui sebuah lubang dan ditampung di *pyrites hopper* dan kemudian dibuang.

Dalam penggunaan *pulverizer* yang perlu diperhatikan adalah temperatur dari udara primer, temperatur yang terlalu tinggi dapat menyalakan batubara dari dalam *pulverizer* dan menyebabkan ledakan. Jika temperatur terlalu rendah, batubara tidak bisa kering benar dan sulit dihaluskan. Temperatur idealnya kira-kira 65 °C.

2.3.3 Keamanan Dalam Penanganan Batubara

Penanganan batubara memerlukan pengamanan, karena ada beberapa bahaya batubara karena kemampuannya yang dapat terbakar dengan sendirinya,

serta dapat menimbulkan ledakan. Batubara dapat terbakar sendiri setelah mengalami proses yang bertahap, yaitu:

- Mula-mula batubara akan menyerap oksigen dari udara secara perlahan-lahan dan kemudian temperatur batubara akan naik.
- Akibat temperatur naik, kecepatan batubara menyerap oksigen dari udara bertambah dan temperatur kemudian mencapai 100-140 °C.
- Setelah mencapai temperatur 140 °C, uap dan CO₂ akan terbentuk.
- Sampai temperatur 230 °C isolasi CO₂ akan berlanjut.
- Bila temperatur di atas 350 °C, berarti batubara telah mencapai titik sulutnya dan akan cepat terbakar.

Batubara merupakan bahan organik yang bila bersinggungan langsung dengan udara dalam keadaan temperatur tinggi (misalnya musim kemarau yang berkepanjangan) akan terbakar sendiri. Keadaan ini dipercepat oleh reaksi isothermal (uap dan oksigen di udara). Kejadian ini merupakan hal yang paling sering terjadi.

Untuk mendeteksi kemungkinan timbulnya ledakan dapat dilakukan perhitungan *volatile ratio*:

$$\text{Volatile Ratio} = \frac{\text{Volatile Matter}}{\text{Volatile Matter} + \text{Fixed Carbon}} \quad (2.4)$$

Apabila *volatile ratio* > 0,12 maka kemungkinan terjadinya ledakan debu batubara selalu ada. Kondisi meledak akan terjadi bila partikel-partikel halus cukup waktu mengambanginya (*floating time*). Juga adanya gas pembakar dalam udara yang dapat membantu terjadinya peledakan.

Beberapa cara penanggulangan ledakan, yaitu:

- Penggunaan gas inert (N₂). Gas ini dapat ditempatkan di dalam *pulverized coal bin* maupun di bagian filter.
- Pembersihan secara periodik untuk menghindari pembentukan endapan debu batubara.
- Pada timbunan batubara yang ditutupi dengan plastik, diusahakan agar konsentrasi oksigen kurang dari 12 %. Sedangkan pada timbunan terbuka, penggunaan siraman air dengan menggunakan *sprinkler system* akan membantu dalam mencegah kebakaran batubara.

2.4 *Pre-treatment* Batubara

Batubara yang langsung diambil dari bawah tanah, disebut batubara tertambang *run-of-mine* (ROM), seringkali memiliki kandungan campuran yang tidak diinginkan seperti batu dan lumpur dan berbentuk pecahan dengan berbagai ukuran. Namun demikian pengguna batubara membutuhkan batubara dengan mutu yang konsisten. Peningkatan kualitas batubara dapat dilakukan baik saat masih di tambang maupun saat berada dalam *coal handling system*. Beberapa proses pengolahan awal batubara sebelum masuk ke *furnace* dalam *boiler system* adalah *coal washing*, *coal blending*, dan *coal drying*.

2.4.1 *Coal Washing*

Pencucian batubara ("*coal beneficiation*" atau "*coal washing*") mengarah pada penanganan batubara tertambang (*ROM Coal*) untuk menjamin mutu yang konsisten dan kesesuaian dengan kebutuhan pengguna akhir tertentu. Pengolahan tersebut tergantung pada kandungan batubara dan tujuan penggunaannya. Batubara tersebut mungkin hanya memerlukan pemecahan sederhana atau mungkin memerlukan proses pengolahan yang kompleks untuk mengurangi kandungan campuran. Untuk menghilangkan kandungan campuran, batubara tertambang mentah dipecahkan dan kemudian dipisahkan ke dalam pecahan dalam berbagai ukuran.

Pecahan-pecahan yang lebih besar biasanya diolah dengan menggunakan metode "pemisahan media padatan". Dalam proses demikian, batubara dipisahkan dari kandungan campuran lainnya dengan diapungkan dalam suatu tangki berisi cairan dengan gravitasi tertentu, biasanya suatu bahan berbentuk magnetit tanah halus. Setelah batubara menjadi ringan, batubara tersebut akan mengapung dan dapat dipisahkan, sementara batuan dan kandungan campuran lainnya yang lebih berat akan tenggelam dan dibuang sebagai limbah.

Pecahan yang lebih kecil diolah dengan melakukan sejumlah cara, biasanya berdasarkan perbedaan kepadatannya seperti dalam mesin sentrifugal. Mesin sentrifugal adalah mesin yang memutar suatu wadah dengan sangat cepat, sehingga memisahkan benda padat dan benda cair yang berada di dalam wadah

tersebut. Metode alternatif menggunakan kandungan permukaan yang berbeda dari batubara dan limbah. Dalam “pengapungan berbuih” partikel-partikel batubara dipisahkan dalam buih yang dihasilkan oleh udara yang ditiupkan ke dalam rendaman air yang mengandung reagen kimia. Buih-buih tersebut akan menarik batubara tapi tidak menarik limbah dan kemudian buih-buih tersebut dibuang untuk mendapatkan batubara halus. Perkembangan teknologi belakangan ini telah membantu meningkatkan perolehan materi batubara yang sangat baik.

2.4.2 *Coal Blending*

Secara umum teknik pencampuran batubara (*coal blending*) lebih murah secara investasi dan operasional, dengan hasil yang mendekati akurat dan dapat diharapkan. Pemanfaatan teknik ini juga dapat mengurangi kandungan sulfur dan abu batubara. Untuk melakukan pencampuran batubara terdapat beberapa hal yang menjadi pertimbangan, seperti ukuran partikel batubara yang akan dicampur dalam kondisi seragam sehingga dihasilkan *blending* yang homogen. Oleh karena itu, *blending* dapat dilakukan pada dua lokasi, yaitu:

- *Blending* yang dilakukan secara terbuka pada *stockpile*, biasa disebut *Blending Pile System*.
- Sistem *blending* yang menggunakan silo sebagai tempat penampungan dan proses *blending* disebut *Blending Silo System*.

Untuk komersial plant, sistem *blending* dengan menggunakan silo menghasilkan batubara yang lebih homogen dan lingkungan selalu terjaga.

Dalam skenario, batubara dari berbagai tambang dan atau stok lokal yang berbeda ini dicampur bersama-sama untuk menciptakan sebuah batubara baru sesuai spesifikasi yang diinginkan seperti nilai kalor atau *total moisture*. Metoda pencampurannya dengan menentukan nilai kalor atau *total moisture* yang diinginkan kemudian memperhitungkannya hanya berdasarkan komposisi *parent coal*, menggunakan rumus seperti pada Tabel 2.4.

Menurut Adiarso *et al.* (2008), parameter-parameter seperti nilai kalor, kadar air, abu, *volatile matter*, *fixed carbon*, karbon, hidrogen, nitrogen, dan oksigen dapat diperkirakan melalui perhitungan secara proporsional dengan

tingkat akurasi yang cukup, namun pada parameter AFT hasil analisisnya ternyata sangat jauh berbeda dengan perhitungan proporsional, yang mengindikasikan bahwa AFT merupakan parameter yang sulit diperkirakan.

Tabel 2.4. Rumus Umum Coal Blending

Batubara A	Batubara B
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nilai Kalor 4000 cal/gr ▪ <i>Total Moisture</i> 40 % 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nilai Kalor 6000 cal/gr ▪ <i>Total Moisture</i> 20 %
<p>Maka 50 % Batubara A + 50 % Batubara B Nilai Kalor 5000 cal/gr <i>Total Moisture</i> 30 %</p>	

2.4.3 Coal Drying

Adapun prinsip kerja PLTU itu adalah batubara yang akan digunakan digiling hingga menyerupai butir-butir beras, kemudian dimasukkan ke wadah (*boiler*) dengan cara disemprot, di mana dasar wadah itu berbentuk rangka panggangan yang berlubang. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh laju pembakaran yang rendah dan tanpa mengurangi suhu yang diperlukan sehingga diperoleh pembentukan NO_x yang rendah. Pembakaran bisa terjadi dengan bantuan udara dari dasar yang ditiupkan ke atas dan kecepatan tiup udara diatur sedemikian rupa, akibatnya butir batubara agak terangkat sedikit tanpa terbawa sehingga terbentuklah lapisan butir-butir batubara yang mengambang. Selain mengambang butir batubara itu juga bergerak berarti hal ini menandakan terjadinya sirkulasi udara yang akan memberikan efek yang baik sehingga butir itu habis terbakar. Jika batubara mengandung *moisture* yang banyak maka udara panas habis untuk memanaskan *moisture* dalam partikel batubara dan mengakibatkan hanya sedikit butir batubara yang mampu terangkat. Oleh karena itu, beberapa peneliti telah melakukan eksperimen terhadap pengeringan batubara seperti pengeringan dengan *rotary drying* dan *fluidized bed drying*.

2.4.3.1 Rotary Drying

Pengering *rotary* adalah jenis pengering paling stabil dan dapat diaplikasikan secara umum. Desain dasar dari sebuah *rotary* terdiri dari sebuah *silinder shell* terisolasi yang dipasang pada penggulung dan berputar

pada kecepatan yang sangat rendah. Pengereng *rotary* memungkinkan kontak langsung dan atau tidak langsung antara medium pengeringan dan partikel basah.

Dalam pengereng langsung, bahan basah berada dalam kontak langsung dengan media pengeringan. Perpindahan panas secara langsung biasanya disediakan oleh media gas panas yang ditiupkan ke dalam bejana. Untuk pengeringan batubara peringkat rendah, gas sebagai media pengeringan harus bebas oksigen untuk mencegah pembakaran. Gas buang atau udara panas pengeringan adalah media yang paling umum dan cocok untuk aplikasi pengeringan batubara peringkat rendah. Namun Wilver dalam Osman *et al.* (2011) melaporkan telah terjadi kebakaran dan ledakan dari oksigen yang terhubung ke batubara panas selama *start-up* dan *shut down* dari sistem pengeringan *rotary drum*. Untuk menghindari kecelakaan seperti itu, seseorang harus memastikan bahwa batubara cukup didinginkan sebelum terjadi paparan ke lingkungan.

2.4.3.2 *Fluidized Bed Drying*

Teknik pengeringan dengan *fluidized bed* memiliki beberapa kelebihan antara lain efisiensi pertukaran panas yang tinggi dan produk yang isothermal, karena tingkat pencampuran padatan yang tinggi. Penggunaan uap super panas dalam pengeringan batubara akan menghindari resiko adanya pembakaran sehingga temperatur akhir batubara setelah proses fluidisasi dapat diatur. Meskipun memiliki kelebihan-kelebihan tersebut, metode pengeringan menggunakan *fluidized bed* dengan pemanas uap superpanas memiliki kekurangan antara lain:

- Membutuhkan sistem yang kompleks.
- Konsumsi daya yang tinggi. Daya tersebut utamanya diperlukan untuk mengatasi penurunan tekanan dalam *bed* yang tinggi akibat kebutuhan mensuspensi seluruh padatan dalam *bed*.
- Potensi atrisi (*attrition*) yang tinggi, dan dalam beberapa kasus terjadi granulasi atau aglomerasi pada padatan yang diproses.

- Fleksibilitas yang rendah dan adanya potensi defluidisasi bila padatan yang masuk terlalu basah.

2.5 Teknologi Gelombang Mikro (*Microwave*)

Energi gelombang mikro adalah radiasi elektromagnetik non-ionisasi dengan frekuensi yang berkisar 300 MHz hingga 300 GHz dan panjang gelombang dari 1 sampai 300 mm. Gelombang mikro dapat ditransmisikan, diserap, atau dipantulkan. Logam dengan konduktivitas yang tinggi memantulkan gelombang mikro sehingga tidak memberikan efek pemanasan yang signifikan. Bahan semi-konduktor, dengan konduktivitas menengah, dapat secara efektif dipanaskan dengan *microwave*.

Pemanasan secara konvensional biasanya menggunakan *furnace* atau bejana pemanas yang akan memanaskan dinding reaktor secara konveksi dan konduksi. Pemanasan dengan gelombang mikro mampu untuk memanaskan keseluruhan *furnace* atau bejana yang dapat menghemat waktu dan energi. Selain itu gelombang mikro juga dapat memanaskan benda yang tipis melalui volumenya yang secara teori akan menghasilkan pemanasan yang lebih merata.

Menurut Datta *et al.* dalam Tahmasebi (2011), metode pemanasan dengan gelombang mikro memiliki beberapa fitur unik yang tidak ada dalam metode pengeringan konvensional, seperti:

- Proses pemanasan dengan gelombang mikro berlangsung cepat, karena tingkat pemanasannya jauh lebih tinggi daripada pemanasan konvensional.
- Pemanasan dengan gelombang mikro lebih seragam daripada pemanasan konvensional.
- Terjadi selektivitas pada pemanasan dengan gelombang mikro dimana daerah yang lembab lebih panas dari daerah kering, selektivitas ini tidak ada dalam pemanasan konvensional.
- Saat pemanasan dengan gelombang mikro, penguapan internal pada batubara menyebabkan tambahan mekanisme transportasi *moisture* yang meningkatkan hilangnya *moisture* selama pemanasan.
- Pemanasan gelombang mikro dapat diaktifkan dan dihentikan secara instan, tidak seperti pemanas konvensional.

2.5.1 Oven Gelombang Mikro

Ada dua konsep fisika yang menjadi dasar dalam pemanfaatan gelombang mikro untuk memanaskan benda. Dua konsep tersebut adalah:

- pemanasan dielektrik; dan
- radiasi gelombang.

Pemanasan dielektrik merupakan fenomena dimana gelombang radio memanaskan material dielektrik. Material dielektrik yang dimaksud dapat berupa air, lemak, maupun gula. Oven *microwave* menggunakan gelombang radio berfrekuensi 2,5GHz yang merambat secara radiasi untuk memanaskan benda.

Mekanisme kerja oven gelombang mikro adalah:

- a) Arus listrik bolak-balik dengan beda potensial rendah dan arus searah dengan beda potensial tinggi diubah dalam bentuk arus searah.
- b) Magnetron menggunakan arus ini untuk menghasilkan gelombang mikro dengan frekuensi 2,45 GHz.
- c) Gelombang mikro diarahkan oleh sebuah antena pada bagian atas magnetron ke dalam sebuah *waveguide*.
- d) *Waveguide* meneruskan gelombang mikro ke sebuah alat yang menyerupai kipas, disebut dengan *stirrer*. *Stirrer* menyebarkan gelombang mikro di dalam ruang oven.
- e) Gelombang mikro ini kemudian dipantulkan oleh dinding dalam oven dan diserap oleh molekul-molekul dalam sebuah materi (benda). Karena setiap gelombang mempunyai sebuah komponen positif dan negatif, molekul-molekul benda didesak kedepan dan kebelakang selama dua kali kecepatan frekuensi gelombang mikro, yaitu 4,9 juta kali dalam setiap detik.
- f) Tabrakan antar molekul inilah yang akan membuat molekul-molekul tersebut memanaskan.

2.5.2 Pemanasan Gelombang Mikro Pada Batubara

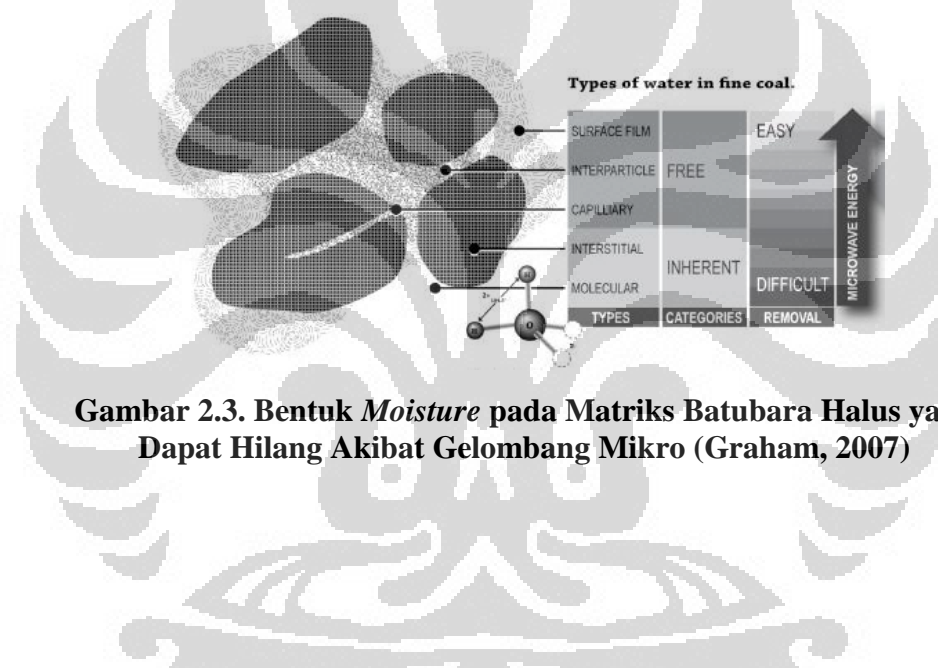
Pada batubara, gelombang mikro mudah menembus permukaan kering dan memanaskan area yang lembab di dalam partikel batubara, kemudian menghasilkan panas internal dan tekanan uap sehingga memaksa *moisture* untuk

bermigrasi ke permukaan, yang berarti memperpendek waktu pengeringan. Selain itu, gelombang mikro mampu menembus sangat dalam sehingga memanaskan karbon dari dalam keluar batubara dibandingkan dengan pemanasan termal konvensional yang memanaskan dari luar ke dalam batubara menggunakan mekanisme standar transfer panas.

Banyak paper mengenai pemanasan dengan gelombang mikro dari bidang kimia yang menyatakan adanya kemungkinan eksitasi dari suatu molekul atau suatu gugus fungsional diantara molekul. Osilasi dari radiasi akan tersampaikan secara instan lewat tumbukan dengan molekul materi. Proses dengan fasa *solid* berbeda dengan *liquid*, dimana dibutuhkan transfer panas yang lebih tinggi. Sementara itu, Lester *et al.* (2004) menyatakan bahwa sulit untuk memicu batubara menggunakan gelombang mikro, karena komponen non-karbon dalam batubara merespon lebih cepat dibanding komponen karbon. *Moisture* (kelembaban) dalam matriks batubara akan dipanaskan sebelum sebagian besar bahan lainnya, termasuk sebagian besar mineral yang mungkin hadir. Efek pemanasan ini pasti akan menyebabkan kenaikan suhu massal dalam matriks batubara secara keseluruhan jika daya dipertahankan untuk jangka waktu lama yang memungkinkan perpindahan panas dengan konduksi. Hal ini juga jelas bahwa retak dan celah disebabkan oleh ekspansi termal komponen non-karbon. Kedua fakta ini membuat penanganan awal batubara menggunakan gelombang mikro adalah potensial untuk mencapai tingkat *grindability* yang diinginkan tanpa mengubah sifat batubara. Selain itu, tingkat pemanasan yang lebih tinggi akan memiliki efek yang lebih signifikan terhadap pembentukan retak pada batubara. Umumnya yang bertanggung jawab untuk pemanasan material terutama jika bahan tersebut tidak bersifat *ferromagnetik* adalah medan listrik.

Pemanasan dengan menggunakan gelombang mikro akan memberikan lebih banyak keuntungan, diantaranya percepatan laju reaksi, kondisi operasi yang lebih halus, *yield* yang lebih tinggi, energi yang digunakan lebih sedikit dan selektivitas yang berbeda sesuai dengan reaksinya. Sistem yang heterogen bisa bersifat anisotropik yang dapat menghasilkan pemanasan yang tidak merata oleh gelombang mikro untuk tiap bagian sistem. Ketidak-merataan energi panas ini memungkinkan terjadinya pemanasan selektif dari suatu material dan memberikan

suatu gradien temperatur diantaranya. Adanya perbedaan tersebut menyebabkan terdapat bagian yang lebih panas (*hot spot*) dibanding dengan bagian lain, karena materi polar dan yang memiliki ion lebih mudah dikenai medan listrik yang berasal dari radiasi gelombang mikro. Graham (2007) mengilustrasikan proses penghilangan *moisture* oleh gelombang mikro seperti pada Gambar 2.3. dimana gelombang mikro mampu menembus dengan mudah air bebas di permukaan; air yang berada antar partikel, namun akan bertambah sulit ketika menghilangkan air yang terkondensasi di kapiler; air yang terserap; yang paling sulit dihilangkan adalah air yang terikat dengan gugus polar dan kation; serta air yang timbul akibat dekomposisi kimia baik material organik maupun inorganik.



Gambar 2.3. Bentuk *Moisture* pada Matriks Batubara Halus yang Dapat Hilang Akibat Gelombang Mikro (Graham, 2007)

2.5.3 Variabel yang Mempengaruhi Pemanasan Batubara

Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi pemanasan batubara dengan gelombang mikro seperti pengaruh jenis batubara, massa batubara, ukuran partikel, besarnya daya yang diserap, dan lamanya pemanasan.

2.5.3.1 Pengaruh Jenis Batubara

Batubara memiliki banyak perbedaan baik secara jenis maupun karakteristiknya. Batubara terbentuk dengan cara yang sangat kompleks dan memerlukan waktu yang lama (puluhan sampai ratusan juta tahun) di bawah pengaruh fisika, kimia ataupun keadaan geologi. Karakteristik batubara

Universitas Indonesia

tergantung dari bahan-bahan pembentuk lapisan batubara, sehingga setiap batubara akan memiliki perbedaan karakteristik satu dengan yang lainnya tergantung pada *coal field* dan *coal seam*.

Dalam penelitian Marland dalam Lester *et al.* (2004), batubara UK jenis sub bituminus yang dipanaskan menggunakan gelombang mikro 650 W selama 8 menit mampu kehilangan 55 % dari *inherent moisture* yang terkandung di dalamnya. Namun dalam penelitian Lester yang menggunakan metode sesuai penelitian Marland dengan jenis batubara yang berbeda yaitu jenis antrasit, hasilnya menunjukkan bahwa sulit untuk mengubah *moisture* batubara menjadi uap dan mengusirnya keluar dari pori-pori partikel batubara. Meskipun energi gelombang mikro dihadirkan untuk memobilisasi *moisture* dalam matriks batubara, pada kenyataannya batubara memang sulit untuk menjadi “kering”. Hal ini menunjukkan bahwa efektifitas penghilangan *moisture* batubara tergantung dari jenis batubara serta banyaknya *moisture* yang terkandung didalamnya. Jadi pemanfaatan gelombang mikro pada penghilangan *moisture* batubara lignit setidaknya diharapkan mampu menghilangkan 50 % kandungan *moisture* yang ada di dalamnya, sehingga mampu memenuhi kriteria batubara untuk PLTU. Tabel 2.5. berikut ini adalah spesifikasi batubara untuk PLTU Suralaya Unit 1-4.

Tabel 2.5. Spesifikasi Batubara untuk PLTU Suralaya Unit 1-4

Parameter (<i>as received</i>)	Minimum	Maksimum	Rata-rata
Kadar air, %	-	28,30	23,60
Kadar abu, %	-	12,80	7,80
Nilai kalor, kal/ g	4,225	-	5.242
Sulfur, %	-	0,90	0,40
HGI	48	-	61,8
Titik leleh abu (Deformasi awal), °C	1.010	-	1.279
Indeks penerakan	-	-	medium
Indeks <i>fouling</i>	-	-	tinggi

(Sumber: Sukadarrumidi, 1995)

2.5.3.2 Massa Batubara

Tahmasebi *et al.* (2011) juga melakukan pemanasan terhadap tiga jenis batubara sub bituminus pada output daya 765 W dengan ukuran partikel

0,15-0,5 mm dan variasi massa 1; 5; 10; 20; dan 30 g. Penelitian ini menunjukkan banyaknya massa yang hilang menurun seiring dengan meningkatnya berat sampel. Penyerapan gelombang mikro per satuan volume sampel menurun seiring meningkatnya volume sampel, sehingga mengurangi beberapa manfaat pemanasan volumetrik dengan gelombang mikro. Banyaknya massa yang hilang pada sampel batubara 1 g adalah jauh lebih besar daripada sampel dengan massa yang lebih besar, yang berarti memiliki laju pengeringan yang lebih cepat. Sampel yang lebih besar mengandung jumlah *moisture* yang lebih besar, sehingga pada tingkat pemanasan gelombang mikro yang sama dibutuhkan waktu pemanasan yang lebih lama. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan variasi massa 5; 10; 20 dan 30 g untuk satu jenis batubara saja, agar diperoleh laju pengeringan yang optimum yang akan digunakan untuk basis massa pada variabel lainnya.

2.5.3.3 Ukuran Partikel

Pada pengeringan konvensional laju pengeringan naik berdasarkan penurunan ukuran partikel batubara, atau semakin halus batubara maka laju pengeringan semakin besar karena luas permukaan eksternal yang lebih besar yang berhubungan dengan media pengeringan. Namun sifat ini tidak berlaku pada penghilangan *moisture* dengan pemanasan gelombang mikro. Hal ini ditunjukkan dalam penelitian Tahmasebi *et al.* (2011) yang memanaskan batubara jenis sub bituminus pada gelombang mikro 765 W dengan massa sampel 5 g. Dalam penelitian ini sebuah batubara yang memiliki *total moisture* 39,04 % (*as received basis*) pada ukuran partikel 0,05-0,15; 0,5-1,0; dan 1,0-1,6 mm yang dipanaskan dengan *oven microwave* selama 10 menit mampu kehilangan *moisture* sebanyak 30; 32; dan 33 %. Hal ini menunjukkan bahwa meningkatnya ukuran partikel menyebabkan banyaknya massa yang hilang dan laju pengeringan meningkat, sedangkan waktu pengeringan sampel berkurang.

Pada ukuran partikel 0,15-1,6 mm, batubara yang memiliki kandungan *moisture* 39,04 %, laju pengeringan berkisar 0,17-0,2 g/ g kering batubara/ menit; pada batubara yang memiliki *moisture* 33,4 % laju pengeringan

berkisar 0,15-0,19 g/ g kering batubara/ menit; dan batubara yang memiliki *moisture* 32,7 % laju pengeringan berkisar 0,09-0,11 g/ g kering batubara/ menit. Hal ini menunjukkan bahwa laju pengeringan batubara tergantung dari jenis batubara, karena adanya perbedaan internal dalam struktur pori. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan variasi ukuran partikel pada lolos 5/8 tertahan 4 mesh; lolos 4 tertahan 16 mesh; lolos 16 tertahan 60 mesh; dan lolos 200 tertahan 325 mesh untuk melihat apakah laju pengeringan akan meningkat seiring dengan besarnya ukuran partikel dan lebih efektif dimana lokasi pengeringan antara tambang batubara atau *stock pile* pada PLTU.

2.5.3.4 Daya yang Diberikan

Tahmasebi *et al.* (2011) melakukan pemanasan terhadap tiga jenis batubara sub bituminus dengan massa sampel 20 g dan ukuran partikel 0,15-0,5 mm pada gelombang mikro 217, 467, 765, 1000, dan 1200 W selama 3 menit. Berdasarkan penelitian tersebut, ketika daya keluaran *microwave* meningkat maka kandungan *moisture* yang hilang juga meningkat. Peningkatan *output* daya dalam penyerapan gelombang mikro oleh molekul air di dalam partikel menyebabkan laju pengeringan meningkat, namun *output* daya yang lebih besar di atas 800 W tidak terlalu berpengaruh saat pemanasan lebih dari 3 menit. Hal ini karena sebagian besar *moisture* sudah meninggalkan partikel batubara dan laju pengeringan telah mencapai “*falling rate*”.

2.5.3.5 Lama Pemanasan

Inherent moisture mampu keluar dari pori-pori partikel batubara pada suhu 100-110 °C, maka *enthalpy saturated liquid*, *evaporated* dan *saturated vapor* pada suhu 110 °C sebesar 461,3; 2230,2; dan 2691,5 J/ g. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah disebutkan di atas, bahwa gelombang mikro mampu menghilangkan 55 % *moisture* dari *total moisture* yang ada. Jika dilakukan pemanasan terhadap 10 g batubara lignit yang mengandung 50 %

total moisture, maka energi yang dibutuhkan untuk menghilangkan *moisture* dalam batubara adalah:

$$Q = m \cdot h \quad (2.5)$$

$$Q = m_1 \cdot h_{fg} + m_2 \cdot h_g$$

$$\begin{aligned} Q &= 45\% \cdot 50\% \cdot 10 \text{ g} \cdot 2230,2 \text{ J/g} + 55\% \cdot 50\% \cdot 10 \text{ g} \cdot 2691,5 \text{ J/g} \\ &= 12419,575 \text{ J} \end{aligned}$$

Jika pemanasan dilakukan dalam sebuah *oven microwave* yang memiliki daya yang diserap (*input power*) sebesar 750 W, maka waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan *moisture* di dalam dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = V \cdot I \cdot t = P \cdot t \quad (2.6)$$

$$12419,575 \text{ J} = 750 \text{ W} \cdot t$$

$$t = \frac{12419,575 \text{ J}}{750 \text{ W}} = 16,56 \text{ sec}$$

Jadi waktu yang dibutuhkan untuk menghilangkan 55 % *moisture* dari batubara yang mengandung 50 % *total moisture* hanya 16,56 detik. Ternyata waktu yang dibutuhkan sangatlah cepat, namun *moisture* berada dalam celah sempit di dalam pori-pori partikel batubara, sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama bagi *moisture* untuk melewati berbagai mekanisme transportasi di dalam partikel batubara. Oleh karena itu dalam penelitian kali ini pemanasan dilakukan hingga massa *moisture* yang hilang setimbang 1 % wt/ 30 sec atau 2 % wt/ min.

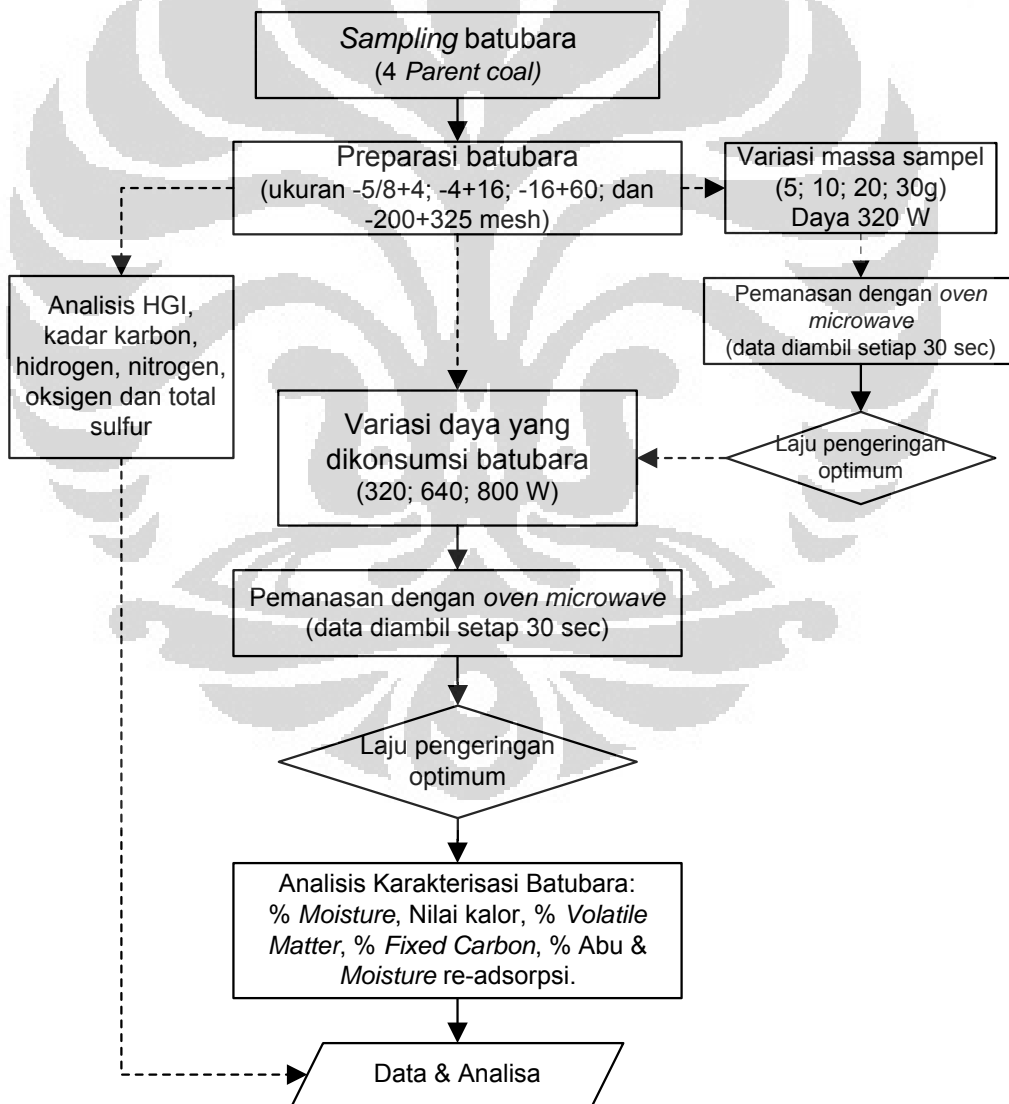
BAB 3

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Bahan Bakar Balai Besar Teknologi Energi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (B2TE – BPPT). Agar penelitian yang dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian ini, telah disusun rancangan penelitian, kebutuhan bahan dan alat yang digunakan.

3.1 Rancangan Penelitian

Diagram alir proses pada penelitian ini adalah:



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Keterangan bagan:

1) Sampling batubara

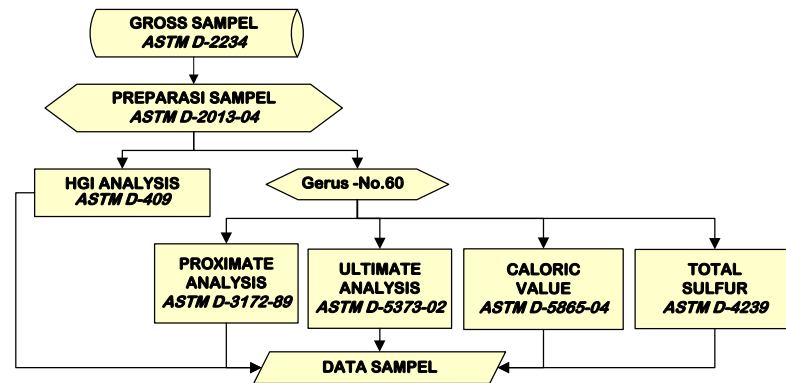
Dilakukan *sampling* terhadap empat jenis batubara yang berasal dari empat lokasi berbeda pada empat propinsi yaitu Riau, Sumatera Selatan, Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan dengan kandungan *moisture* yang berbeda-beda. Pada proses ini diambil sampel batubara masing-masing *parent coal* sebanyak 15 kg. Kegiatan *sampling* dapat dilihat pada Gambar 3.2. Kegiatan ini bertujuan untuk mendapatkan sampel dengan kualitas yang bisa mewakili kualitas seluruh populasi; dan jumlahnya pun relatif masih bisa ditangani.



Gambar 3.2. Sampling Batubara

2) Preparasi batubara

Dipisahkan sampel sebanyak 3 kg untuk dilakukan analisis karakterisasi batubara awal (*parent coal*). Pada batubara awal (*parent coal*) dilakukan preparasi dan *sizing* menggunakan *shieve shaker* dan *rotap* agar batubara lolos 4 mesh dan lolos 16 mesh. Kemudian dilakukanlah analisis total *moisture* terhadap batubara lolos 4 mesh dan analisis HGI terhadap batubara lolos 16 mesh. Setelah analisis total *moisture*, dilakukan preparasi kembali agar diperoleh batubara lolos 60 mesh untuk dilakukan karakterisasi lainnya berupa proksimat (kandungan *moisture*, *volatile matter*, *fixed carbon*, dan abu), ultimat (kadar karbon, hidrogen, nitrogen dan oksigen), nilai kalor, dan total sulfur yang semuanya dilakukan berdasarkan standar ASTM dapat dilihat di Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Analisis Karakterisasi *Parent Coal*

Lalu dilakukan *sizing* menggunakan *sieve shaker* dan *rotap* terhadap sisa sampel sebanyak 12 kg agar diperoleh 2 kg ukuran lolos 5/8 tertahan 4 mesh. Setelah itu batubara digerus menggunakan *jaw crusher*, kemudian dilakukan *sizing* menggunakan *sieve shaker* dan *rotap* agar diperoleh 2 kg ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh. Dan sisanya sebanyak kurang lebih 8 kg digerus kembali menggunakan *small mill* untuk menghasilkan batubara berukuran lolos 16 tertahan 60 mesh dan lolos 200 tertahan 325 mesh. Batubara inilah yang akan digunakan sebagai bahan baku penelitian. Perlengkapan preparasi dapat dilihat di Gambar 3.4.



Gambar 3.4. *Jaw Crusher, Sieve Shaker dan Rotap*

3) Variasi massa sampel

Dilakukan variasi massa sampel 5; 10; 20; dan 30 g pada satu jenis batubara agar diperoleh laju pengeringan yang optimum yang akan digunakan untuk basis massa pada variasi ukuran partikel dan daya yang dikonsumsi.

4) Variasi daya yang dikonsumsi

Dilakukan variasi daya yang dikonsumsi oleh batubara untuk menyerap *moisture* sebesar 320; 640; dan 800 Watt. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh banyaknya *moisture* yang hilang akibat besarnya daya gelombang mikro yang diserap.

5) Pemanasan

Pemanasan dilakukan hingga berat massa yang hilang konstan 1% wt/ 30sec atau 2% wt/ min. Pengambilan data dilakukan setiap 30 detik untuk mengetahui banyaknya *moisture* yang hilang, yang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$X = \frac{W_s - W_d}{W_s} \times 100 \quad (3.1)$$

Dengan,

X adalah massa yang hilang akibat pemanasan (%)

W_s adalah massa sampel batubara

W_d adalah massa sampel batubara yang telah mengalami pemanasan.

6) Analisis karakterisasi batubara

Analisis karakterisasi batubara setelah pemanasan gelombang mikro yaitu % *moisture*, nilai kalor, % *volatile matter*, % *fixed carbon*, % abu dan *moisture* re-adsorpsi. Analisis kandungan *moisture* yang tersisa, *volatile matter*, *fixed carbon* dan abu dilakukan menggunakan TGA *analyzer*. Prosedur analisis dengan menggunakan TGA dibahas pada sub bab 3.5.2. Analisis nilai kalor dilakukan menggunakan *bomb calorimeter*. Prosedur analisis dengan menggunakan *bomb calorimeter* dibahas pada sub bab 3.5.3.

7) Analisis *moisture* re-adsorpsi

Analisis *moisture* re-adsorpsi dilakukan dengan menggunakan desikator yang dijaga kondisinya dengan mengganti *silica gel* dengan air. Pengisian air di dalam desikator yang ditutup rapat menyebabkan kondisi di dalam desikator sangat lembab sehingga suhu mencapai 30 °C dan kelembaban 85 %. Batubara yang telah mengalami penghilangan *moisture* dimasukkan ke dalam desikator dan diambil datanya tiap 1 jam.

8) Data dan analisa

Setelah data analisis terkumpul dilakukanlah pengolahan data dan analisa.

3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1. di bawah ini.

Tabel 3.1. Bahan-bahan Penelitian

Bahan	Kegunaan
Batubara Indonesia dari 4 lokasi masing-masing 15 kg.	Bahan baku.
Aquades	Untuk analisis nilai kalor (larutan perendam <i>bomb</i>) dan pengkondisian desikator.
Gas O ₂ HP	Untuk analisis nilai kalor dan proksimat.
Gas N ₂ HP	Untuk analisis proksimat.
Udara tekan	Untuk analisis proksimat.

Lokasi pengambilan sampel dan kandungan *moisture* batubara yang digunakan sebagai bahan baku dapat dilihat di Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Lokasi Tambang Batubara

No.	Batubara	Kandungan <i>Moisture</i>	Lokasi
1	Melawan	24,18 %	Kalimantan Timur
2	Eco	33,22 %	Mulia, Kalimantan Selatan
3	Pranap	46,14 %	Riau
4	Pendopo	58,27 %	Sumatera Selatan

3.3 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Gelas *beaker*
- Spatula
- Timbangan
- Termokopel tipis
- *Stopwatch*
- Desikator

3.5 Alat Pengumpulan Data

Alat-alat yang digunakan sebagai pengumpul data yaitu *microwave oven*, *TGA analyzer* dan *bomb calorimeter*.

3.5.1 *Microwave oven*

Oven microwave yang digunakan adalah LG model MS2147C/01. *Microwave* ini mampu memanggang dan memanaskan dengan kapasitas 20 liter, daya listrik yang dikonsumsi 800 W, 220V, dan 2450 MHz yang dapat diubah-ubah tingkat daya yang dikonsumsi menjadi 320; 640; dan 800 W.

3.5.2 *Proximate Analyzer*

Proximate Analyzer digunakan untuk mengetahui kandungan *moisture*, abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon*. Analisa proksimat dilakukan dengan *Thermogravimetry Analyzer (TGA) 501* merk LECO berdasarkan ASTM D5142 seperti terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. *Thermogravimetry Analyzer (TGA) 501*

Langkah-langkah analisis proksimat dengan alat ini yaitu:

- 1) Alat TGA 501 dihidupkan
 - i. Gas yang digunakan adalah gas O_2 dan N_2 dengan kemurnian 99,5 %.
 - ii. Regulator gas O_2 di *setting* dengan tekanan 40 Psi; gas N_2 dengan tekanan 40 Psi; dan udara tekan dengan tekanan 40 Psi.

- iii. Konektor power dipasang ke jala-jala listrik 220 Volt.
- iv. Alat TGA 501 dalam posisi “On”.
- v. *Furnace* dalam posisi “On”.
- vi. *Printer* dalam posisi “On”.
- vii. Tombol pembuangan gas sebelah kanan dinyalakan.

2) Analisis sampel

- i. Layar monitor dipilih “*black and white*” dengan menekan F1.
- ii. Layar monitor menuju menu utama dipilih dengan menekan F8.
- iii. *Profile* atau program yang diinginkan dipilih dengan menekan F3.
- iv. Ditentukan program yang dipilih dengan menekan F5.
- v. Analisa dimulai dengan menekan F1 maka *furnace* akan terbuka secara otomatis.
- vi. Cawan porselin kosong yang sudah dibersihkan dimasukkan ke dalam *furnace*, kemudian “*enter sample*” pada *furnace* ditekan, maka secara otomatis *furnace* akan tertutup dan penimbangan cawan porselin kosong dimulai.
- vii. Bila penimbangan selesai, maka *furnace* akan terbuka secara otomatis. Kemudian masukkan sampel batubara sebanyak 1-5 g ke dalam cawan porselin, setelah itu “*enter sample*” ditekan. Ulangi beberapa kali sampai semua cawan porselin terisi oleh sampel yang akan dianalisa.
- viii. Setelah selesai pengisian sampel, “*enter sample*” ditekan sehingga *furnace* akan tertutup dan analisa sampel batubara dimulai.
- ix. Suhu *furnace* akan perlahan-lahan naik mencapai suhu yang telah diprogram untuk masing-masing analisa, yaitu:
 - *Moisture* pada suhu 105 °C dengan kehilangan berat 0,05 %/ jam.
Alat akan menganalisa kadar air dalam sampel. Hasil analisa akan tercatat dalam alat. Setelah selesai menganalisa kadar air dilanjutkan dengan analisa *volatile matter*.
 - *Volatile matter* pada suhu 950 °C ditahan selama 7 menit.
Tutup krusibel yang berisi sampel dengan tutup krusibel. Hasil analisa akan tercatat dalam alat. Setelah selesai menganalisa *volatile matter* dilanjutkan dengan analisa abu.

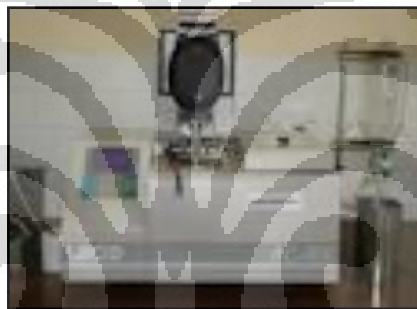
- Abu dipanaskan pada suhu 750 °C sampai menjadi abu.
Buka tutup krusibel. Lakukan analisa kadar abu dan hasil analisa akan tercatat dalam alat.

3) Perhitungan

Setelah selesai melakukan analisa kadar air, kandungan *volatile matter* dan kandungan abu; alat TGA akan menghitung secara otomatis kadar karbon terikat dari sampel.

3.5.3 *Bomb Calorimeter*

Alat ini berfungsi untuk menentukan nilai kalor batubara. *Bomb calorimeter* yang digunakan adalah jenis AC 350 merk LECO seperti terlihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. *Bomb Calorimeter* AC 350

Prosedur analisis nilai kalor dengan menggunakan *bomb calorimeter* yaitu:

- 1) Persiapan bak pemanas
 - i. Air dituang ke dalam bak pemanas.
 - ii. Alat dinyalakan dan biarkan air hingga hangat.
- 2) Persiapan *bomb*
 - i. Sampel sebanyak 1 g ditimbang pada *combustion dish*.
 - ii. *Ignition wire* dihubungkan dengan sampel, kemudian kedua ujungnya dihangkan dengan elektroda untuk penyalaan.
 - iii. *Bomb* ditutup dengan rapat dan gas oksigen terkompresi secara perlahan di dalamnya sambil dijaga agar tekanan tetap pada 25 kgf/cm².

- iv. Udara luar dipastikan agar tidak masuk dengan menenggelamkan *bomb* ke dalam air.
- 3) Persiapan tabung dalam
 - i. 2000-2200 g air ditimbang pada temperatur sama dengan suhu kamar ke dalam tabung bagian dalam.
 - ii. Temperatur air disesuaikan di dalam tabung dengan menggunakan termometer standar agar temperatur pada termometer Beckmann's (untuk tabung bagian dalam) dari kalorimeter dapat digunakan menjadi 0–1 derajat.
 - 4) Persiapan tabung *intermediate*
 - i. Tabung yang sudah disiapkan dimasukkan dalam posisi tetap pada tabung bagian tengah dan memasang *bomb* yang sudah disiapkan di pusat.
 - ii. Kawat listrik dihubungkan untuk memulai penyalaan pada terminal *bomb*.
 - iii. Tabung silinder ditutup dengan rapat menggunakan sekrup.
 - iv. Penggerak dimasukkan pada tabung bagian dalam.
 - 5) Persiapan di luar bak
 - i. Air panas dari bak pemanas dituang ke luar bak bertujuan untuk tetap menjaga perbedaan temperatur di luar bak dengan di dalam tabung tidak lebih dari 0,1 °C, dan pengadukan dilanjutkan.
 - ii. Jumlah putaran penggerak untuk tabung bagian dalam disesuaikan kira-kira 800 rpm dengan *stroboscopic*.
 - 6) Sampel dinyalakan dan temperatur diukur.
 - i. Termometer Beckmann's diguncangkan secara perlahan (di dalam silinder) untuk perhitungan kalorimeter setiap 1 menit pada pembacaan 0,001 derajat.
 - ii. Ketika pembacaan telah menjadi konstan tiga kali terus menerus, suhu dicatat dan beralih pada pengapian dari sampel.
 - 7) Air panas ditambahkan.

Ketika temperatur tabung bagian dalam mulai naik, katup air dibuka, ditambahkan air panas dengan suhu tidak lebih rendah 90 °C dari luar bak,

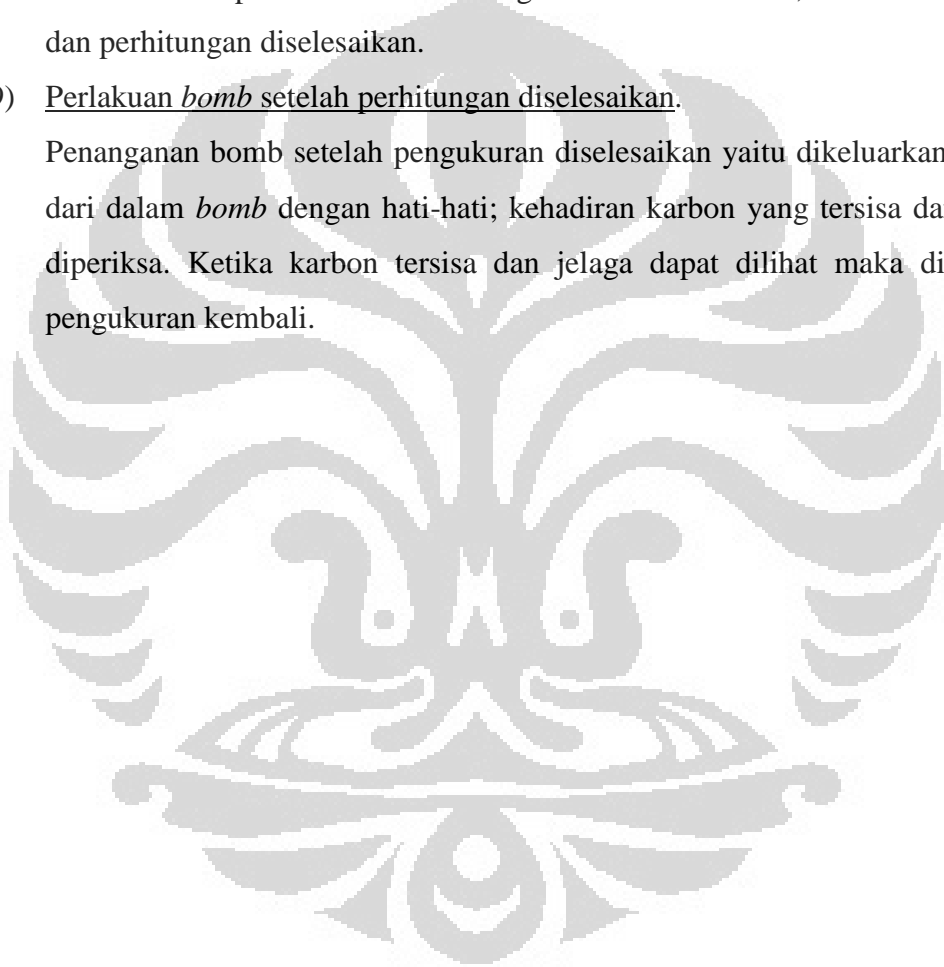
dan temperatur disesuaikan agar perbedaan suhu antara tabung bagian dalam dan luar bak tidak lebih dari $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

8) Temperatur dijaga perbedaannya.

Setelah itu, temperatur antara tabung bagian dalam dengan temperatur bak bagian luar dijaga perbedaannya agar tidak lebih dari $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, termometer Beckmann's digoncangkan (untuk tabung bagian dalam) dari kalorimeter secara perlahan setiap 1 menit, perbedaannya dibaca pada $0,001$ derajat. Ketika suhu diperoleh sama untuk tiga kali terus-menerus, maka suhu dicatat dan perhitungan diselesaikan.

9) Perlakuan *bomb* setelah perhitungan diselesaikan.

Penanganan bomb setelah pengukuran diselesaikan yaitu dikeluarkannya gas dari dalam *bomb* dengan hati-hati; kehadiran karbon yang tersisa dan jelaga diperiksa. Ketika karbon tersisa dan jelaga dapat dilihat maka dilakukan pengukuran kembali.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab hasil dan pembahasan ini akan diuraikan mengenai hasil preparasi batubara awal, serta hasil karakterisasi batubara yang telah mengalami penghilangan *moisture* dengan gelombang mikro.

4.1 Penyiapan Sampel Batubara

Pada penelitian ini preparasi batubara dimulai dengan *sampling* terhadap batubara yang sudah siap untuk masuk ke dalam *coal preparation*. Setelah mendapat batubara 15 kg pada masing-masing jenis, diambil 3 kg untuk dilakukan analisis awal batubara (*parent coal*) sesuai dengan standar ASTM. Terhadap sisa batubara yang lain sebanyak 12 kg dilakukan preparasi berdasarkan perbedaan ukuran.

4.1.1 *Sampling* Batubara

Batubara yang akan di *sampling* adalah batubara Indonesia yang berasal dari empat lokasi berbeda, yaitu Batubara Melawan berasal dari Kalimantan Timur; Batubara Eco berasal dari Kalimantan Selatan; Batubara Peranap berasal dari Riau; dan Batubara Pendopo berasal dari Sumatera Selatan. Batubara diambil dari gudang batubara di Balai Besar Teknologi Energi, BPPT. Batubara tersebut berukuran 1-16 mm, merupakan batubara yang siap masuk ke dalam ruang preparasi sebelum dimasukkan ke dalam *furnace* pada *pulverized boiler*.



Gambar 4.1. Pengambilan Batubara

Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *quarter*, dimana batubara dibagi menjadi empat bagian, dan diambil sampel batubara secara silang seperti terlihat pada Gambar 4.2. Diharapkan sampel batubara yang diambil mampu mewakili karakter batubara secara keseluruhan.



Gambar 4.2. Pemilihan Sampel

4.1.2 Hasil Karakterisasi Batubara Awal

Setelah dilakukan pengambilan sampel, dilakukanlah analisis batubara awal (*parent coal*) berdasarkan ASTM. Analisis dilakukan untuk mengetahui karakter batubara awal sebelum dilakukan proses penghilangan *moisture* oleh gelombang mikro.

Tabel 4.1. Hasil Analisis *Parent Coal*

Parameter Analisa	Melawan (KalTim)	Eco (KalSel)	Peranap (Riau)	Pendopo (SumSel)
% Total Moisture (ar)	24,18	33,22	46,14	58,27
Proksimat				
% Moisture (adb)	12,45	13,98	10,11	14,34
% Ash (adb)	5,56	3,12	8,24	5,47
% Volatile Matter (adb)	39,46	43,69	45,15	43,43
% Fixed Carbon (by diff)	42,53	39,21	36,52	36,76
Ultimat				
% Moisture (adb)	12,45	13,98	10,11	14,34
% Ash (adb)	5,56	3,12	8,24	5,47
% Carbon (adb)	59,32	59,13	54,97	54,87
% Hydrogen (adb)	4,1	4,17	3,91	3,89
% Nitrogen (adb)	0,86	0,29	0,18	0,22
% Total Sulfur (adb)	0,15	0,16	0,32	0,21
% Oxygen (by diff)	17,57	19,16	21,27	21
Calorific Value (cal/g)	5596	5613	4907	5093
Hardgrove Grindability Index, HGI	43	53,5	65,29	87,56

Data disajikan dalam bentuk adb (*as determined basis*) seperti bentuk data yang diinginkan oleh PLTU. Bentuk data adb (*as determined basis*) berarti batubara hanya memiliki *residual moisture* atau *inherent moisture*.

4.1.3 Preparasi Batubara

Setelah dilakukan pemisahan terhadap sampel untuk dilakukan analisis karakterisasi *parent coal*, dilakukan preparasi dengan menggunakan *crusher* dan *mixer mill*. Lalu dilakukanlah *sizing* terhadap batubara menggunakan ayakan & *sieve shaker* sehingga sampel dapat dipisah menjadi empat ukuran yaitu:

- batubara lolos 5/8 tertahan 4 mesh (4,75 – 16 mm);
- batubara lolos 4 tertahan 16 mesh (1,18 - 4,75 mm);
- batubara lolos 16 tertahan 60 mesh (0,25 - 1,18 mm);
- dan batubara lolos 200 tertahan 325 mesh (0,045 - 0,075 mm).



Gambar 4.3. Crusher dan Mixer Mill

Pengambilan ukuran batubara lolos 5/8 dan tertahan 4 mesh dilakukan karena pada ukuran tersebut adalah ukuran batubara untuk masuk ke dalam *coal preparation*. Dan batubara ukuran lolos 200 tertahan 325 mesh merupakan ukuran batubara untuk masuk ke dalam *pulverized boiler*.

4.2 Penghilangan *Moisture* dengan Gelombang Mikro

Peralatan yang digunakan adalah *microwave* LG model MS2147C/01, 800 W, 220V, dan 2450 MHz yang dapat diubah-ubah tingkat daya yang dikonsumsi menjadi 320; 640; dan 800 W.



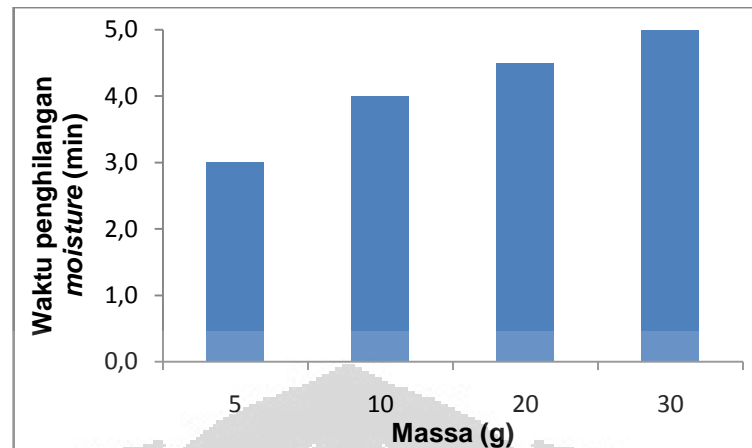
Gambar 4.4. Oven *microwave*

Oven ini merupakan oven gelombang mikro domestik sederhana dengan reaktor *singlemode*, sehingga variabel yang dapat divariasikan adalah daya yang dikonsumsi, serta waktu baik dalam skala menit maupun detik. Reaktor *singlemode* memiliki pengatur gelombang sehingga hanya satu mode yang dapat masuk ke *cavity*. Hal ini menghasilkan distribusi medan listrik yang merata karena tidak terjadi titik - titik panas dan dingin, serta dapat digunakan dengan daya yang rendah dengan hasil energi tinggi.

Pemanasan dilakukan dengan menggunakan gelas beaker berbahan *pyrex* yang telah dipotong tingginya agar *moisture* yang telah mengalami pemanasan mudah menguap ke udara. Gelas beaker *pyrex* yang digunakan terbuat dari kuarsa bersifat transparan terhadap gelombang mikro dan merupakan konduktor panas yang buruk, karena memiliki faktor disipasi yang rendah ($\delta = 0,6$ pada temperatur $25\text{ }^{\circ}\text{C}$). Dengan begitu bejana tidak akan menyerap energi gelombang mikro melainkan akan meneruskan gelombang tersebut sampai ke sampel. Energi gelombang mikro hanya akan terabsorpsi setelah gelombang mempenetrasi sampel.

4.2.1 Pengaruh Massa Terhadap Waktu Penghilangan *Moisture*

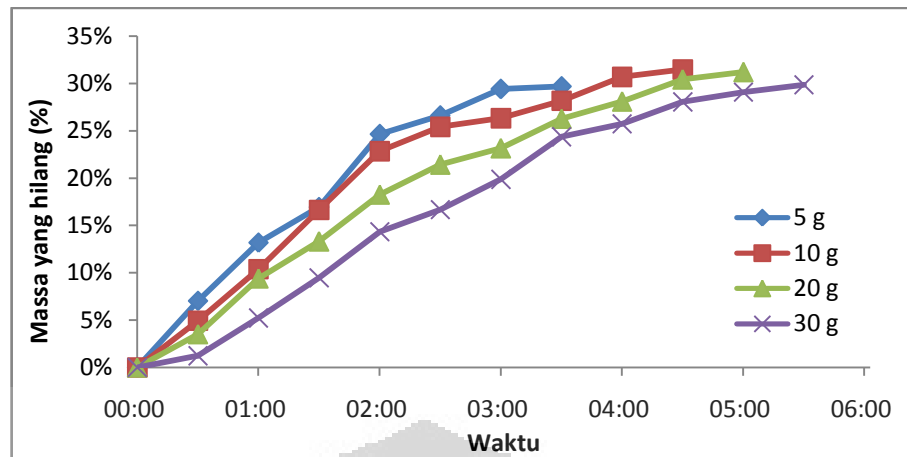
Penghilangan *moisture* dilakukan pada keempat jenis batubara Indonesia yang berasal dari lokasi berbeda. Untuk menentukan keefektifan pemanasan maka dilakukan variasi massa terhadap Batubara Eco. Batubara Eco dipilih karena batubara ini memiliki kandungan total *moisture* menengah sebanyak 33,22 % dibandingkan ketiga batubara lainnya. Variasi dilakukan sebanyak 5; 10; 20; dan 30 g. Pengaruh banyaknya massa awal sampel terhadap waktu penghilangan *moisture* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Pengaruh banyaknya massa sampel terhadap waktu penghilangan *moisture*

Gambar 4.5. menunjukkan waktu penghilangan *moisture* lebih cepat pada sampel bermassa awal 5 g, sedangkan pada sampel bermassa awal 30 g waktu penghilangan *moisture* lebih lama. Sampel bermassa awal 5 g membutuhkan waktu pemanasan 3 menit; sampel bermassa awal 10 g membutuhkan waktu pemanasan 4 menit; sampel bermassa awal 20 g membutuhkan waktu pemanasan 4 menit 30 detik; dan sampel bermassa awal 30 g membutuhkan waktu pemanasan paling lama yaitu 5 menit. Hal ini menunjukkan waktu penghilangan *moisture* tergantung dari massa sampel awal (*parent coal*), karena massa yang lebih besar berarti mengandung *total moisture* yang lebih banyak sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk menghilangkannya.

Pemanasan Batubara Eco dengan menggunakan gelombang mikro untuk menghilangkan *moisture* dilakukan pada daya 320 W dan ukuran partikel lolos 4 tertahan 16 mesh (1,18 - 4,75 mm). Setelah Batubara Eco dipanaskan dengan gelombang mikro, kemudian dидiamkan hingga suhunya stabil (maksimum 10 °C di atas suhu ruang), sampel batubara ditimbang untuk mendapatkan profil banyaknya massa yang hilang. Penimbangan dilakukan setiap 30 detik. Pemanasan dilakukan hingga massa yang hilang mencapai konstan atau mendekati konstan 2 % wt/ min. Penjelasan yang lebih detil mengenai prosentase massa yang hilang seiring lamanya pemanasan dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Pengaruh variasi massa terhadap prosentase massa yang hilang

Dapat dilihat pada Gambar 4.6. waktu penghilangan *moisture* yang paling cepat pada massa awal 5 g, dan yang paling lama pada massa 30 g. Slope penghilangan *moisture* yang paling tinggi juga pada sampel dengan massa awal 5 g, dan yang paling rendah pada sampel dengan massa awal 30 g. Hal ini dimungkinkan karena pemanasan dilakukan pada wadah beaker berukuran 100 ml. Pada sampel bermassa awal 5 g ketinggian batubara pada wadah 4 mm; sampel bermassa awal 10 g ketinggian pada wadah 8 mm; sampel bermassa awal 20 g ketinggian pada wadah 16 mm; dan sampel bermassa awal 30 g ketinggian pada wadah 24 mm. Menurut Lester, *et al.* (2004), saat gelombang mikro menembus batubara, maka yang dipanaskan terlebih dahulu adalah *moisture* sebelum komponen lainnya. Setelah terpanaskan, *moisture* akan berubah menjadi uap dan akan berusaha untuk keluar dari celah atau rongga antar partikel batubara menuju udara. *Moisture* yang telah menjadi uap akan semakin sulit terlepas ke udara seiring dengan semakin tingginya tumpukan partikel batubara. Hal ini sesuai dengan penelitian Caalban dalam Tahmasebi (2011), sampel yang memiliki massa besar berarti mengandung jumlah *moisture* yang lebih besar juga, sehingga pada pemanasan gelombang mikro dengan tingkat daya yang sama akan diperlukan lebih banyak waktu untuk menghilangkan *moisture* tersebut. Hasil analisis proksimat terhadap pemanasan Batubara Eco pada variasi massa 5; 10; 20 dan 30 g dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil analisis proksimat Batubara Eco (massa 5; 10; 20; dan 30 g)

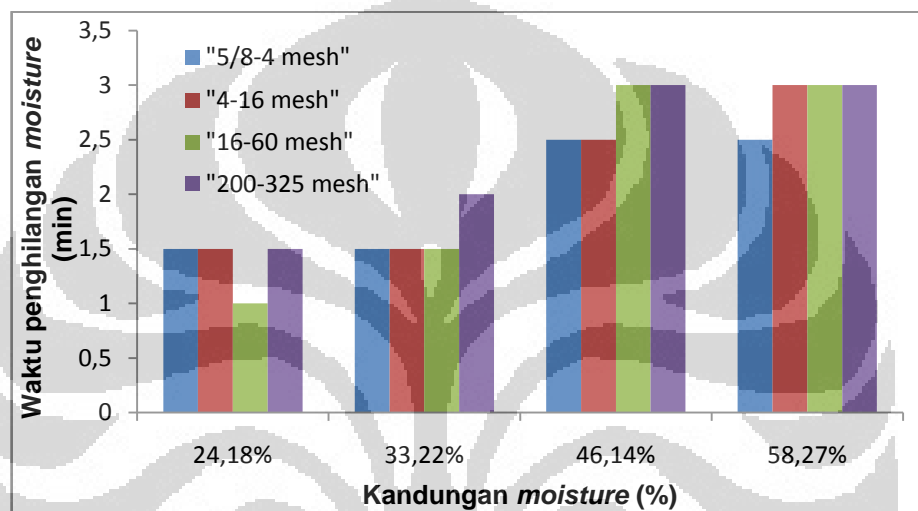
Jenis Batubara	Analisis Proksimat				Fuel Ratio	Nilai Kalor
	Moisture	Volatile Matter	Abu	Fixed Carbon		
Eco (parent coal)	33,22	33,92	2,42	30,44	0,90	4357,55
Eco-05 g	3,35	47,52	3,24	45,89	0,97	5695,38
Eco -10 g	4,32	46,31	2,34	47,04	1,02	5743,34
Eco -20 g	4,93	46,49	2,88	45,71	0,98	5700,71
Eco -30 g	6,45	45,46	3,86	44,24	0,97	5604,68

Banyaknya massa yang hilang dapat dianggap *moisture* terlihat dari Tabel 4.2. bahwa setelah pemanasan dengan gelombang mikro, *moisture* yang tersisa pada sampel tinggal sedikit. Hal ini membuktikan bahwa gelombang mikro dapat menghilangkan *moisture* pada partikel-partikel batubara dan meningkatkan nilai kalor, yang berarti meningkatkan nilai jualnya. Namun saat pemanasan mencapai 4 menit 30 detik prosentase massa yang hilang pada sampel bermassa awal 10 g sebesar 31,48 %; sampel bermassa awal 20 g sebesar 30,42 %; sedangkan sampel bermassa awal 30 g 28,50 %; berarti laju penghilangan *moisture* pada sampel bermassa awal 10 dan 20 g tidak terlalu berbeda. Analisis proksimat menunjukkan bahwa sampel bermassa awal 20 g memiliki kandungan *moisture* akhir 4,93 %, nilai ini tidak berbeda jauh dibandingkan dengan sampel bermassa awal 10 g. Padahal sampel 20 g memiliki massa dua kali lebih besar dari sampel 10 g yang berarti memiliki kandungan *moisture* dua kali lebih besar, ketinggian tumpukan partikel batubara dua kali lebih tinggi yang berarti *moisture* membutuhkan waktu lebih lama untuk keluar dari celah antar partikel, namun laju penghilangan *moisture*-nya tidak terlalu berbeda signifikan dengan sampel 10 g. Oleh karena itu, pada penelitian ini ditentukan basis massa yang digunakan sebesar 20 g.

4.2.2 Pengaruh Jenis Batubara (Kandungan *Moisture*) Terhadap Waktu Penghilangan *Moisture*

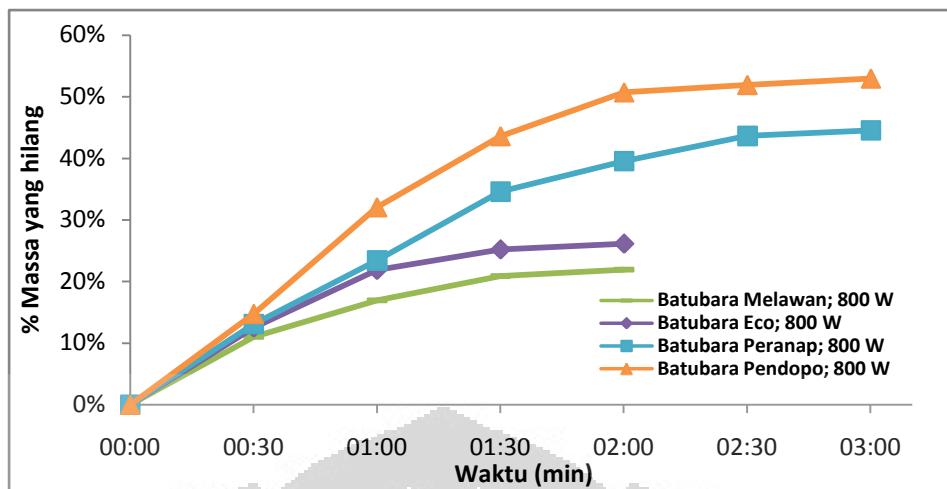
Batubara yang digunakan berasal dari empat lokasi berbeda di Indonesia dengan kandungan *moisture* yang berbeda pula, yaitu Batubara Melawan (Kalimantan Timur) memiliki total *moisture* 24,18 %; Batubara Eco (Kalimantan Selatan) memiliki total *moisture* 33,22 %; Batubara Peranap (Riau) memiliki total

moisture 46,14 %; dan Batubara Pendopo (Sumatera Selatan) memiliki total *moisture* 58,27 %. Penghilangan *moisture* dengan gelombang mikro dilakukan terhadap keempat jenis batubara pada daya 800 W dan ukuran partikel lolos 5/8 tertahan 4 mesh; lolos 4 tertahan 16 mesh; lolos 16 tertahan 60 mesh; dan lolos 200 tertahan 325 mesh. Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh jenis batubara (kandungan *moisture*) terhadap waktu penghilangan *moisture* seperti terlihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Pengaruh banyaknya kandungan *moisture* terhadap waktu penghilangan *moisture*

Pada Gambar 4.7. terlihat bahwa waktu penghilangan *moisture* yang paling lama pada Batubara Pendopo, diikuti oleh Batubara Peranap, lalu Batubara Eco, dan waktu penghilangan *moisture* yang paling cepat pada Batubara Melawan. Hal ini menunjukkan bahwa waktu penghilangan *moisture* akan semakin lama seiring dengan semakin banyaknya kandungan *moisture* di dalam batubara. Batubara Melawan yang memiliki kandungan total *moisture* 24,18 % membutuhkan waktu pemanasan 1,5-2 menit; Batubara Pendopo yang memiliki kandungan total *moisture* 58,27 % membutuhkan waktu pemanasan 2,5-3 menit; berarti semakin banyak *moisture* yang terkandung di dalam batubara membutuhkan waktu pemanasan yang lebih lama. Penjelasan yang lebih detail mengenai prosentase massa yang hilang seiring lamanya pemanasan pada jenis batubara (kandungan *moisture*) berbeda untuk setiap ukuran partikel dapat dilihat pada Gambar 4.8. hingga Gambar 4.11.



Gambar 4.8. Pemanasan batubara berukuran 5/8-4 mesh pada 800 W

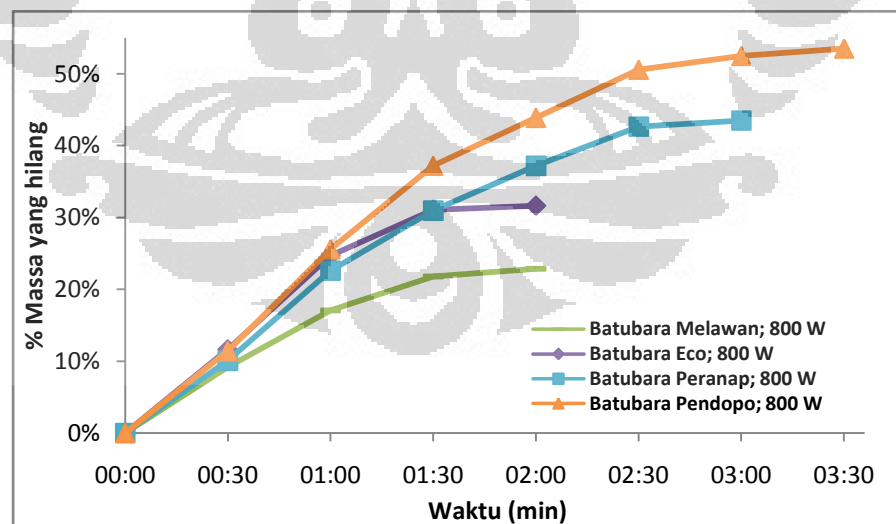
Gambar 4.8. memperlihatkan hasil pemanasan berbagai jenis batubara pada ukuran partikel lolos 5/8 tertahan 4 mesh. Pemanasan dilakukan hingga massa yang hilang mencapai konstan atau mendekati konstan 2 % wt/ min. Terlihat bahwa slope prosentase massa yang hilang paling besar pada Batubara Pendopo, diikuti oleh Batubara Peranap, lalu Batubara Eco, dan slope prosentase massa yang hilang paling kecil pada Batubara Melawan. Hal ini menunjukkan bahwa waktu penghilangan *moisture* dan slope prosentase massa yang hilang akan semakin besar seiring dengan semakin banyaknya kandungan *moisture* di dalam batubara. Banyaknya massa yang hilang setelah pemanasan dengan gelombang mikro adalah *moisture* ditunjukkan dengan analisis proksimat. Tabel 4.3. menunjukkan hasil analisis proksimat berbagai batubara setelah pemanasan gelombang mikro pada ukuran lolos 5/8 tertahan 4 mesh dengan daya 800 W.

Tabel 4.3. Hasil analisis proksimat ukuran 5/8-4 mesh pada 800 W

Jenis Batubara		Analisis Proksimat				Fuel Ratio	Nilai Kalor
		Moisture	Volatile Matter	Abu	Fixed Carbon		
Melawan	Parent Coal	24,18	34,17	4,82	36,83	1,08	4846,24
Eco		33,22	33,92	2,42	30,44	0,90	4357,55
Peranap		46,14	27,05	4,94	21,88	0,81	2940,16
Pendopo		58,27	21,16	2,66	17,91	0,85	2481,1
Melawan	Lolos 5/8 tertahan 4 mesh	4,42	42,53	3,39	49,67	1,17	6116,26
Eco		2,77	46,89	4,77	45,58	0,97	5448,57
Peranap		12,65	42,36	5,19	39,81	0,94	5489,98
Pendopo		15,18	42,61	3,89	38,33	0,90	4581,17

Terlihat pada Tabel 4.3. di atas bahwa kandungan *moisture* yang tersisa pada berbagai batubara berkurang setelah pemanasan gelombang mikro, kandungan *moisture* yang tersisa pada Batubara Melawan 4,42 %; Batubara Eco 2,77 %; Batubara Peranap 12,65 %; dan Batubara Pendopo 15,18 %. Akibat *moisture* berkurang, kandungan *volatile matter*, kandungan abu, kandungan *fixed carbon*, dan nilai kalor meningkat. Selain itu, *fuel ratio* pada keempat jenis batubara setelah pemanasan agak berubah, dan cenderung meningkat. Hal ini mungkin disebabkan pemanasan dilakukan pada daya tinggi sebesar 800 W, sehingga sebagian *volatile matter* yang berupa senyawa organik hidrokarbon berantai lurus putus dengan adanya pemanasan. Putusnya sebagian rantai hidrokarbon menyebabkan berkurangnya kandungan *volatile matter*, sehingga *fuel ratio* yang merupakan perbandingan *fixed carbon* dengan *volatile matter* cenderung meningkat. Hal ini sesuai dengan penelitian Lester *et al.* (2004) pada pemanasan gelombang mikro dengan daya tinggi, sejumlah kecil *volatile matter* menguap dari dalam matriks batubara.

Gambar 4.9. di bawah memperlihatkan hasil pemanasan berbagai jenis batubara pada ukuran partikel lolos 4 tertahan 16 mesh.

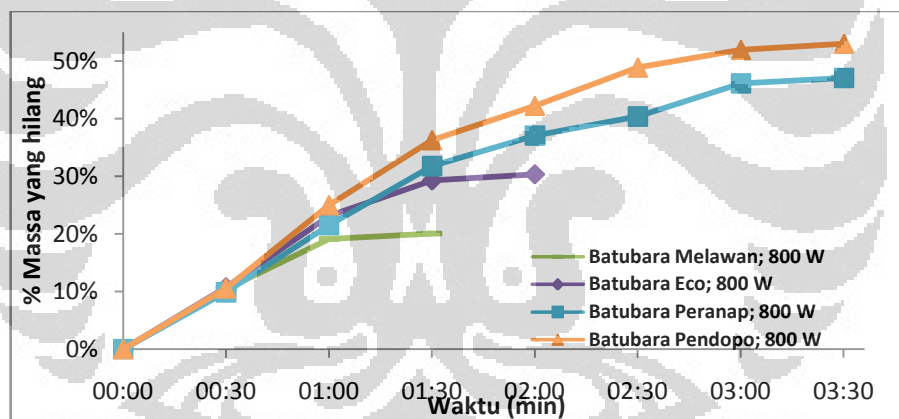


Gambar 4.9. Pemanasan batubara berukuran 4-16 mesh pada 800 W

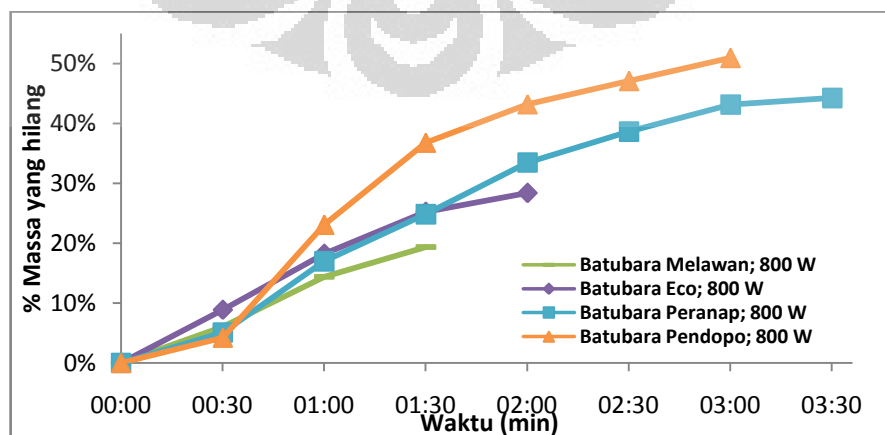
Pada Gambar 4.9. terlihat bahwa Batubara Pendopo membutuhkan waktu pemanasan 3 menit; diikuti oleh Batubara Peranap yang membutuhkan waktu

pemanasan 2,5 menit; lalu Batubara Eco yang membutuhkan waktu pemanasan 1,5 menit; dan Batubara Melawan yang membutuhkan waktu pemanasan 1,5 menit. Sebagaimana pada penelitian sebelumnya, pada ukuran partikel batubara yang lebih kecil pun waktu penghilangan *moisture* akan semakin lama seiring dengan semakin banyaknya kandungan *moisture* di dalam batubara.

Terlihat juga pada Gambar 4.9. bahwa slope prosentase massa yang hilang paling tinggi pada Batubara Pendopo dan slope prosentase massa yang hilang paling rendah pada Batubara Melawan; sedangkan slope prosentase massa yang hilang Batubara Eco berimpitan dengan Batubara Peranap. Hal ini juga terlihat pada Gambar 4.10. yang menunjukkan hasil pemanasan berbagai jenis batubara pada ukuran partikel lolos 16 tertahan 60 mesh; dan Gambar 4.11. yang memperlihatkan hasil pemanasan berbagai jenis batubara pada ukuran partikel lolos 200 tertahan 325 mesh.



Gambar 4.10. Pemanasan batubara berukuran 16-60 mesh pada 800 W



Gambar 4.11. Pemanasan batubara berukuran 200-325 mesh pada 800 W

Terlihat juga dari Gambar 4.10. dan Gambar 4.11. bahwa gelombang mikro mampu menghilangkan *moisture* pada batubara yang berukuran lebih halus dengan menembus matriks dari dalam keluar partikel batubara. Setelah pemanasan terlihat *moisture* yang terkondensasi di dinding gelas beaker. Hal ini sesuai dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan Marland dalam Sheera (2007), Lester *et al.* (2004), Sahoo *et al.* (2011), Sheera (2007), dan Tahmasebi *et al.* (2011) bahwa dasar dari pengeringan dengan gelombang mikro adalah penyerapan daya gelombang mikro yang selektif oleh molekul air, sehingga *moisture* dalam matriks batubara akan terpanaskan lebih dahulu sebelum komponen lainnya, termasuk sebagian mineral yang mungkin ada di dalam matriks batubara tersebut.

Terlihat juga pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11. bahwa slope prosentase massa yang hilang paling tinggi pada Batubara Pendopo dan slope prosentase massa yang hilang paling rendah pada Batubara Melawan; sedangkan slope prosentase massa yang hilang Batubara Eco berimpitan dengan Batubara Peranap. Padahal Batubara Peranap memiliki total *moisture* yang lebih besar sebanyak 46,14 % dibandingkan Batubara Eco yang memiliki total *moisture* 33,22 %. Hal ini menunjukkan penghilangan *moisture* tidak saja tergantung dari jumlah *moisture* yang terkandung di dalamnya. Menurut Tahmasebi *et al.* (2011) sifat materi mineral yang terkandung dalam batubara juga memainkan peranan penting dalam penyerapan gelombang mikro dan transportasi *moisture*. Oleh karena itu dilakukan analisis kandungan mineral pada abu kedua batubara tersebut, seperti yang terlihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Kandungan mineral dari Batubara Eco dan Batubara Peranap

Parameter mineral	Batubara Eco	Batubara Peranap
	<i>(Parent coal)</i>	
% <i>Silicon dioxide</i> (SiO ₂)	34,81	70,31
% <i>Aluminium trioxide</i> (Al ₂ O ₃)	5,54	22,60
% <i>Iron trioxide</i> (Fe ₂ O ₃)	28,09	0,36
% <i>Calcium oxide</i> (CaO)	7,88	1,26
% <i>Magnesium oxide</i> (MgO)	3,65	0,17
% <i>Pottasium oxide</i> (K ₂ O)	0,39	0,71
% <i>Sodium oxide</i> (Na ₂ O)	0,33	0,21

Jika dilihat pada Tabel 4.4. mengenai kadar mineral pada kandungan abu kedua batubara tersebut, terlihat perbedaan prosentase yang sangat besar terutama pada SiO_2 dan Fe_2O_3 . Kandungan Fe_2O_3 pada abu Batubara Eco mencapai 28,09 % sedangkan pada abu Batubara Peranap hanya 0,36 %. Komponen Fe_2O_3 pada abu merupakan materi yang bersifat ferromagnetik. Saat gelombang mikro dipantulkan oleh dinding dalam oven dan diserap oleh molekul-molekul batubara, zat yang bersifat ferromagnetik dan memiliki medan magnetlah yang mempengaruhi pemanasan material sehingga kadarnya yang besar di dalam kandungan abu Batubara Eco mempengaruhi kecepatan penghilangan *moisture*. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai efek materi mineral yang ada pada kandungan abu tersebut. Hasil analisis proksimat pada keempat jenis batubara dengan ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh; lolos 16 tertahan 60 mesh; dan lolos 200 tertahan 325 mesh dengan daya 800 W dapat dilihat pada Tabel 4.5.

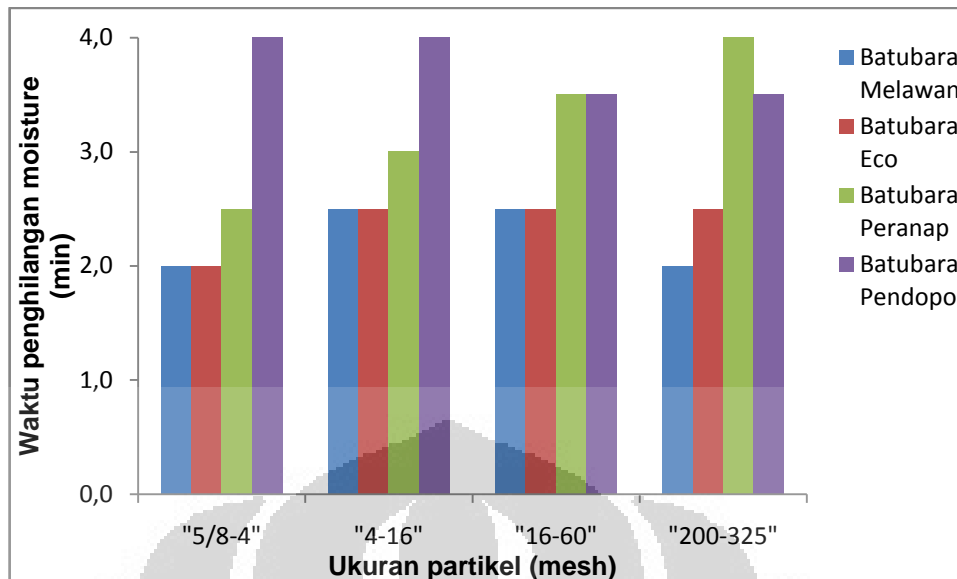
Tabel 4.5. Hasil analisis proksimat ukuran 4-16; 16-60; dan 200-325 mesh pada 800 W

Jenis Batubara		Analisis Proksimat				Fuel Ratio	Nilai Kalor
		Moisture	Volatile Matter	Abu	Fixed Carbon		
Melawan	Parent Coal (ar)	24,18	34,17	4,82	36,83	1,08	4846,24
Eco		33,22	33,92	2,42	30,44	0,90	4357,55
Peranap		46,14	27,05	4,94	21,88	0,81	2940,16
Pendopo		58,27	21,16	2,66	17,91	0,85	2481,1
Melawan	Parent Coal (dry)	-	45,07	6,34	48,54	1,08	6391,77
Eco		-	50,79	3,62	45,58	0,90	6525,23
Peranap		-	50,22	9,17	40,62	0,81	5458,89
Pendopo		-	50,71	6,37	42,92	0,85	5945,60
Melawan	Lolos 4 tertahan 16 mesh	6,73	40,38	6,87	46,04	1,14	6043,60
Eco		6,47	46,42	2,25	44,88	0,97	5859,57
Peranap		13,68	41,02	6,34	38,96	0,95	5374,83
Pendopo		11,27	44,88	5,35	38,51	0,86	5204,54
Melawan	Lolos 16 tertahan 60 mesh	4,87	42,20	3,44	49,49	1,17	5755,65
Eco		5,98	46,56	3,67	43,79	0,94	5759,18
Peranap		7,38	38,14	22,25	32,24	0,85	4449,90
Pendopo		11,93	46,74	5,39	35,95	0,77	5220,66
Melawan	Lolos 200 tertahan 325 mesh	5,66	43,33	4,51	46,56	1,07	5945,75
Eco		7,55	46,91	2,58	42,97	0,92	5767,28
Peranap		7,75	45,49	8,84	37,93	0,83	5471,93
Pendopo		10,83	46,10	7,27	35,81	0,78	5103,58

Pada Tabel 4.5. terlihat bahwa kandungan *total moisture* berkurang dengan pemanasan gelombang mikro, menyebabkan peningkatan *volatile matter*, *fixed carbon*, dan nilai kalor yang dapat meningkatkan nilai jualnya. Terlihat *fuel ratio* juga berubah akibat sejumlah kecil *volatile matter* telah menguap akibat pemanasan gelombang mikro dengan daya yang tinggi sebesar 800 W. Jika diukur pada basis yang sama (basis *dry*), terlihat kandungan abu menurun, seperti pada Batubara Eco ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh setelah pemanasan memiliki kandungan abu 2,25 %, sedangkan jika berdasarkan perhitungan (kondisi *dry*) kandungan abu seharusnya 3,39 %. Hal ini akibat gelombang mikro lebih mudah untuk memanaskan komponen non-karbon dibandingkan komponen karbon. Hal ini sesuai dengan penelitian Sahoo *et al.* (2011) bahwa pemanasan batubara dengan gelombang mikro mampu menurunkan kandungan abu dibandingkan batubara yang tidak dipanaskan dengan gelombang mikro. Penurunan kadar abu akibat perlakuan gelombang mikro, mungkin dikarenakan pembebasan materi mineral. Materi mineral dipanaskan lebih cepat dibandingkan komponen karbon di dalam batubara, namun untuk menyimpulkan hal ini memerlukan penelitian lebih lanjut.

4.2.3 Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Waktu Penghilangan *Moisture*

Penghilangan *moisture* dengan gelombang mikro dilakukan terhadap keempat jenis batubara pada daya 320 W dan 640 W dengan ukuran partikel batubara lolos 5/8 tertahan 4 mesh (4,75 – 16 mm); batubara lolos 4 tertahan 16 mesh (1,18 - 4,75 mm); batubara lolos 16 tertahan 60 mesh (0,25 - 1,18 mm); dan batubara lolos 200 tertahan 325 mesh (0,045 - 0,075 mm). Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh ukuran partikel terhadap waktu penghilangan *moisture* seperti terlihat pada Gambar 4.12.



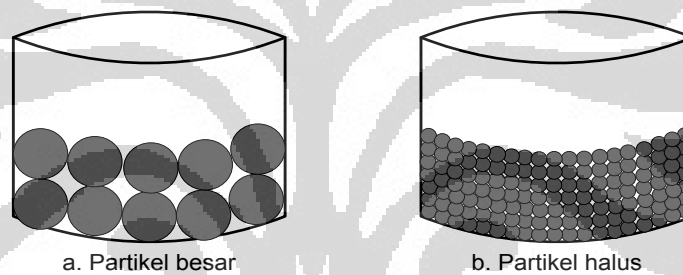
Gambar 4.12. Pengaruh ukuran partikel terhadap waktu penghilangan *moisture*

Gambar 4.12. merupakan profil pengaruh ukuran partikel terhadap waktu penghilangan *moisture* pada pemanasan Batubara Melawan, Batubara Eco, batubara Peranap, Batubara Pendopo dengan daya 640 W. Pada Gambar 4.12. terlihat bahwa secara umum waktu penghilangan *moisture* yang paling cepat pada ukuran partikel lolos 5/8 tertahan 4 mesh, dan yang paling lama pada ukuran partikel lolos 200 tertahan 325 mesh. Semakin besar ukuran partikel, waktu yang dibutuhkan untuk menghilangkan *moisture* semakin pendek. Hal ini berbeda dengan pemanasan konvensional dimana batubara yang lebih halus membutuhkan waktu pengeringan yang lebih cepat dikarenakan batubara yang lebih halus akan memperbesar luas permukaan yang kemudian akan berhubungan langsung dengan media pemanasan.

Pada pemanasan gelombang mikro terjadi mekanisme polarisasi dipolar akibat adanya interaksi dipol-dipol antara molekul-molekul polar (dalam penelitian ini air) ketika diradiasikan gelombang mikro. Dipol sangat sensitif terhadap medan listrik yang berasal dari luar sehingga akan mengakibatkan terjadinya rotasi pada molekul sehingga menghasilkan sejumlah energi (efek termal akibat pemanasan dielektrik). Molekul-molekul nonpolar (dalam penelitian ini gugus karbon) tidak mengalami interaksi dipol-dipol antar molekulnya. Selain itu pada pemanasan gelombang mikro juga terjadi peningkatan kecepatan

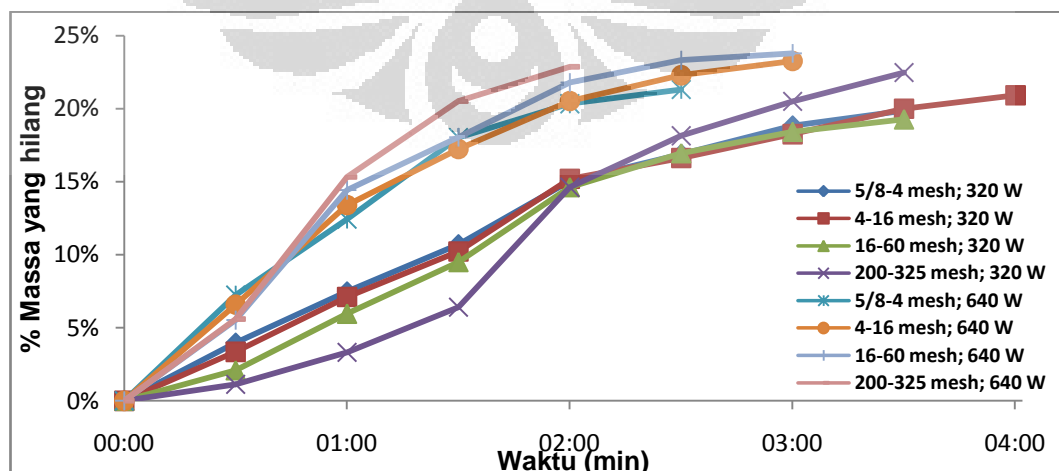
tumbukan molekul akibat pemberian medan listrik pada partikel bermuatan ion, dimana batubara mengandung sejumlah *mineral matter* sehingga pemanasan dengan gelombang mikro akan lebih cepat dari pemanasan konvensional.

Proses perpindahan panas merupakan proses menguapkan air dari dalam matriks batubara, hal ini terjadi karena suhu sampel batubara lebih rendah dari suhu udara yang ada disekelilingnya. Setelah terjadi radiasi gelombang mikro, maka air telah berubah menjadi uap air yang akan mengalami proses perpindahan massa uap air dari matriks batubara ke udara. Pada partikel yang lebih besar rongga antar partikel juga lebih besar, sehingga memudahkan uap air keluar dari dalam matriks, sedangkan pada batubara yang lebih halus rongga antar partikelnya sangat sempit dan kecil sehingga menyulitkan uap untuk berpindah ke udara seperti terlihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13. Rongga pada tumpukan partikel besar dan partikel halus

Penjelasan yang lebih detail mengenai prosentase massa yang hilang seiring lamanya pemanasan pada berbagai ukuran partikel pada setiap jenis batubara dapat dilihat pada Gambar 4.14. hingga Gambar 4.17.



Gambar 4.14. Pemanasan Batubara Melawan pada 320 dan 640 W

Terlihat pada Gambar 4.14. pada daya 320 W saat awal pemanasan hingga 2 menit pertama, batubara lolos 5/8 tertahan 4 mesh memiliki slope prosentase massa yang hilang paling besar, diikuti batubara lolos 4 tertahan 16 mesh, lalu batubara lolos 16 tertahan 60 mesh dan batubara lolos 200 tertahan 325 mesh. Pada daya 640 W batubara lolos 5/8 tertahan 4 mesh memiliki slope massa yang hilang paling besar saat 30 detik pertama, setelah itu slope penghilangan massa yang paling besar pada batubara lolos 200 tertahan 325 mesh, diikuti batubara lolos 16 tertahan 60 mesh, dan batubara lolos 4 tertahan 16 mesh. Hal ini menunjukkan pemanasan gelombang mikro dengan daya yang rendah (320 W) pada Batubara Melawan akan semakin meningkat seiring dengan semakin besarnya ukuran partikel, sedangkan pemanasan gelombang mikro dengan daya yang tinggi (> 640 W) pada Batubara Melawan akan semakin meningkat seiring dengan semakin besarnya ukuran partikel hanya di saat awal pemanasan. Tabel 4.6. memperlihatkan hasil analisis proksimat Batubara Melawan pada 320 W dan 640 W.

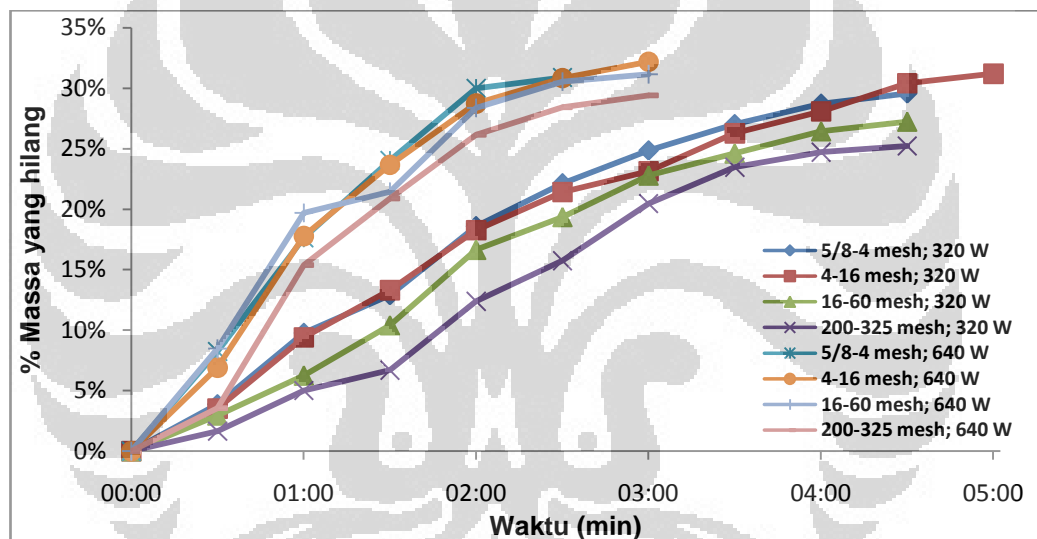
Tabel 4.6. Hasil analisis proksimat Batubara Melawan pada 320 dan 640 W

NO	Jenis Batubara		Analisis Proksimat				Fuel Ratio	Nilai Kalor
			Moisture	Volatile Matter	Abu	Fixed Carbon		
1	Melawan	Parent coal	24,18	34,17	4,82	36,83	1,08	4846,24
2	Melawan 320 W	Lolos 5/8 tertahan 4 mesh	5,41	42,29	2,20	50,11	1,19	6056,45
3	Melawan 640 W		6,51	42,09	2,81	48,59	1,15	6081,98
4	Melawan 320 W	Lolos 4 tertahan 16 mesh	5,93	40,84	5,02	48,22	1,18	5994,01
5	Melawan 640 W		4,47	41,95	4,96	48,63	1,16	6054,96
6	Melawan 320 W	Lolos 16 tertahan 60 mesh	9,70	39,24	7,14	43,93	1,12	5743,26
7	Melawan 640 W		4,31	41,42	7,33	46,95	1,13	5747,23
8	Melawan 320 W	Lolos 200 tertahan 325 mesh	8,07	41,51	10,27	40,16	0,97	5484,50
9	Melawan 640 W		8,81	40,49	9,61	41,11	1,02	5488,79

Pada Tabel 4.6. terlihat bahwa kandungan total *moisture* Batubara Melawan berkurang dengan adanya pemanasan gelombang mikro. Akibat berkurangnya kandungan total *moisture* menyebabkan peningkatan *volatile*

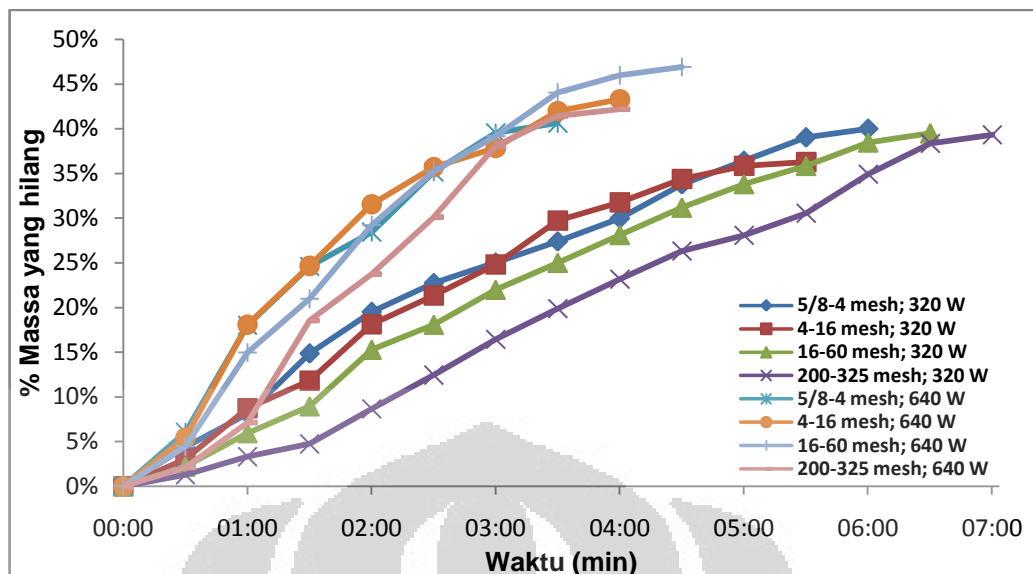
matter, *fixed carbon*, dan nilai kalor yang berarti meningkatkan nilai jualnya. Selain itu meski *moisture* hilang, *fuel ratio* pada keempat ukuran partikel tidak berubah signifikan baik pada daya 320 W maupun 640 W.

Gambar 4.15. di bawah ini, merupakan profil pemanasan Batubara Eco pada daya 320 W dan 640 W. Pada daya 320 W batubara lolos 5/8 tertahan 4 mesh memiliki laju massa yang hilang paling besar dibandingkan ketiga ukuran lainnya, dan batubara lolos 200 tertahan 325 mesh memiliki slope penghilangan massa yang paling kecil. Begitu juga saat daya 640 W batubara lolos 5/8 tertahan 4 mesh memiliki slope massa yang hilang paling besar dibandingkan ketiga ukuran lainnya.

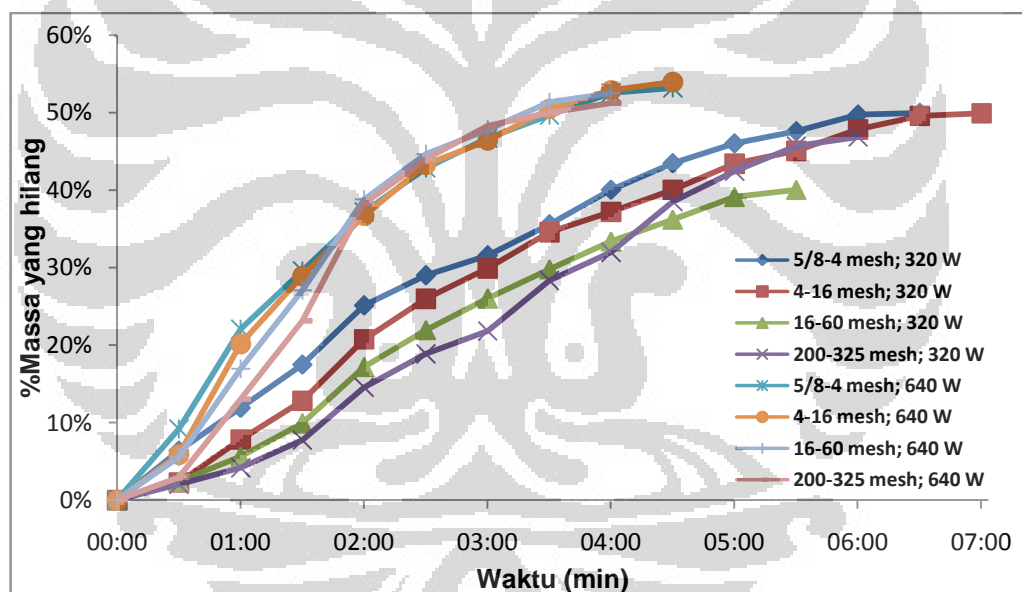


Gambar 4.15. Pemanasan Batubara Eco pada 320 dan 640 W

Pada Batubara Eco seiring meningkatnya ukuran partikel maka slope penghilangan *moisture* dengan gelombang mikro juga meningkat, sementara waktu pengeringan sampel berkurang. Hal yang agak serupa juga terjadi pada Batubara Peranap dan Batubara Pendopo yang terlihat pada Gambar 4.16. dan Gambar 4.17. Gambar 4.16. menunjukkan profil pemanasan Batubara Peranap pada daya 320 dan 640 W; dan Gambar 4.17. menunjukkan profil pemanasan Batubara Pendopo pada daya 320 dan 640 W.



Gambar 4.16. Pemanasan Batubara Peranap pada 320 dan 640 W



Gambar 4.17. Pemanasan Batubara Pendopo pada 320 dan 640 W

Terlihat pada Gambar 4.16. bahwa slope prosentase massa yang hilang paling besar pada Batubara Peranap ukuran lolos 5/8 tertahan 4 mesh dan paling kecil pada ukuran lolos 200 tertahan 325 mesh baik pada daya gelombang mikro 320 W maupun 640 W. Begitu juga pada Gambar 4.13. bahwa slope prosentase massa yang hilang paling besar pada Batubara Pendopo saat daya gelombang mikro 320 W maupun 640 W adalah ukuran lolos 5/8 tertahan 4 mesh dan paling kecil pada ukuran lolos 200 tertahan 325 mesh. Hal ini menunjukkan bahwa waktu

penghilangan *moisture* akan semakin cepat dengan meningkatnya ukuran partikel batubara; dan slope penghilangan *moisture* akan semakin besar dengan semakin besarnya ukuran partikel. Menurut Datta dalam Tahmasebi (2011) tren ini benar-benar berbeda dari metode pengeringan konvensional dimana laju pengeringan naik seiring dengan penurunan ukuran partikel batubara, karena luas permukaan eksternal yang lebih besar yang berhubungan langsung dengan media pengeringan. Namun, selama pemanasan dengan gelombang mikro, sampel dengan ukuran partikel yang lebih besar jelas memiliki tingkat pengeringan yang lebih tinggi. Pemanasan yang selektif oleh gelombang mikro menyebabkan penguapan partikel air (*moisture*), yang mendorong pengangkutan uap air (*steam*) lebih cepat melalui dorongan (tekanan) sehingga meningkatkan hilangnya *moisture*. Dan pada partikel yang lebih besar rongga antar partikel juga lebih besar sehingga memudahkan uap air keluar dari dalam matriks, sedangkan pada batubara yang lebih halus rongga antar partikelnya sangat sempit dan kecil sehingga menyulitkan uap untuk berpindah ke udara di sekelilingnya.

Tabel 4.7. di bawah ini menunjukkan hasil analisis proksimat batubara Eco pada 320 W dan 640 W. Terlihat bahwa gelombang mikro mampu menghilangkan *moisture*, sebagai akibatnya meningkatkan *volatile matter*, *fixed carbon*, dan nilai kalor; sementara *fuel ratio* tidak berubah signifikan.

Tabel 4.7. Hasil analisis proksimat Batubara Eco pada 320 dan 640 W

NO	Jenis Batubara		Analisis Proksimat				Fuel Ratio	Nilai Kalor
			Moisture	Volatile Matter	Abu	Fixed Carbon		
1	Eco	Parent coal	33,22	33,92	2,42	30,44	0,90	4357,55
2	Eco 320 W	Lolos 5/8 tertahan 4 mesh	8,44	45,74	2,09	43,74	0,96	5573,59
3	Eco 640 W		7,47	45,75	2,08	44,71	0,98	5624,31
4	Eco 320 W	Lolos 4 tertahan 16 mesh	4,93	46,49	2,88	45,71	0,98	5700,71
5	Eco 640 W		5,85	45,66	4,40	44,08	0,97	5862,74
6	Eco 320 W	Lolos 16 tertahan 60 mesh	9,94	44,67	3,63	41,77	0,94	5692,56
7	Eco 640 W		7,38	45,54	4,11	42,99	0,94	5940,13
8	Eco 320 W	Lolos 200 tertahan 325 mesh	11,08	45,48	3,56	39,89	0,88	5692,49
9	Eco 640 W		6,56	47,44	4,19	41,82	0,88	5777,29

Hasil analisis proksimat Batubara Peranap pada daya 320 W dan 640 W dapat dilihat pada Tabel 4.8. Hasil analisis proksimat Batubara Peranap pada Tabel 4.8. memperlihatkan berkurangnya kandungan total *moisture* dari 46,14 % menjadi < 20 %. Berkurangnya kandungan *moisture* meningkatkan nilai kalor Batubara Peranap yang berarti meningkatkan nilai jualnya. Namun pemanasan dengan gelombang mikro ini dilakukan hingga massa yang hilang mencapai konstan atau mendekati konstan 1 % wt/ 30 detik atau 2 % wt/ min. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa gelombang mikro mampu menghilangkan *moisture* dengan cepat dengan hitungan beberapa menit, namun partikel batubara memang sulit untuk benar-benar kering. Hal yang serupa juga terjadi pada Batubara Pendopo yang hasil analisis proksimatnya pada pemanasan gelombang mikro 320 W dan 640 W dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.8. Hasil analisis proksimat Batubara Peranap pada 320 dan 640 W

NO	Jenis batubara		Analisis Proksimat				Fuel Ratio	Nilai Kalor
			Moisture	Volatile Matter	Abu	Fixed Carbon		
1	Peranap	Parent coal	46,14	27,05	4,94	21,88	0,81	2940,16
2	Peranap 320 W	Lolos 5/8 tertahan 4 mesh	19,24	39,84	5,34	35,59	0,89	5346,46
3	Peranap 640 W		16,14	40,38	5,35	38,15	0,94	5256,41
4	Peranap 320 W	Lolos 4 tertahan 16 mesh	21,37	38,50	5,18	34,95	0,91	5071,00
5	Peranap 640 W		13,71	42,21	4,96	39,13	0,93	5228,79
6	Peranap 320 W	Lolos 16 tertahan 60 mesh	13,60	41,06	11,37	33,98	0,83	4989,99
7	Peranap 640 W		9,77	40,58	15,37	34,29	0,85	4892,18
8	Peranap 320 W	Lolos 200 tertahan 325 mesh	15,76	41,85	8,11	34,30	0,82	5046,18
9	Peranap 640 W		11,46	43,17	9,74	35,62	0,83	5154,31

Tabel 4.9. Hasil analisis proksimat Batubara Pendopo pada 320 dan 640 W

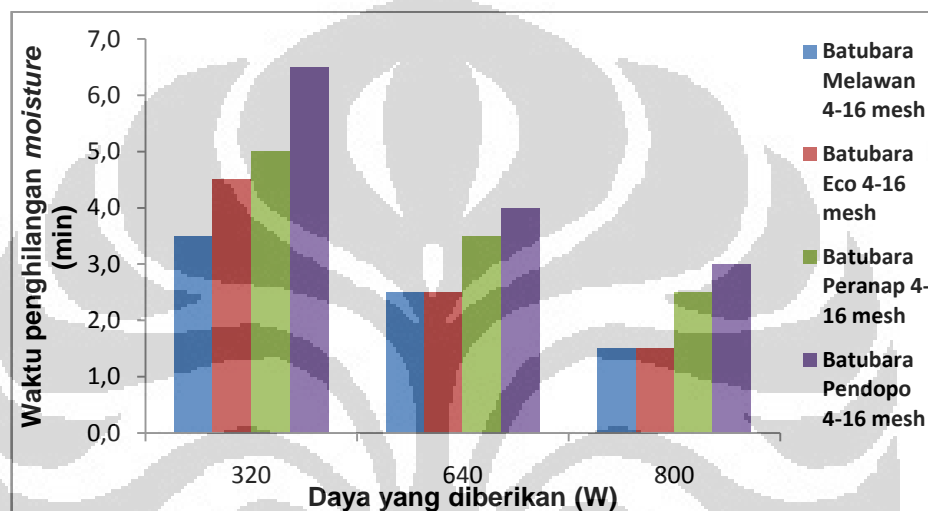
NO	Jenis batubara		Analisis Proksimat				Fuel Ratio	Nilai Kalor
			Moisture	Volatile Matter	Abu	Fixed Carbon		
1	Pendopo	Parent coal	58,27	21,16	2,66	17,91	0,85	2481,1
2	Pendopo 320 W	Lolos 5/8 tertahan 4 mesh	15,11	42,22	3,56	39,11	0,93	5100,72
3	Pendopo 640 W		6,83	46,66	5,47	41,06	0,88	4735,02
4	Pendopo 320 W	Lolos 4 tertahan 16 mesh	14,37	43,83	5,42	36,39	0,83	5098,18
5	Pendopo 640 W		12,05	44,32	5,27	38,37	0,87	5259,69
6	Pendopo 320 W	Lolos 16 tertahan 60 mesh	24,18	40,26	6,17	29,39	0,73	4660,39
7	Pendopo 640 W		10,48	45,79	7,48	36,25	0,79	5161,51
8	Pendopo 320 W	Lolos 200 tertahan 325 mesh	14,74	44,20	6,76	34,31	0,78	4909,68
9	Pendopo 640 W		12,13	45,53	5,44	36,91	0,81	5124,77

Terlihat pada Tabel 4.9. bahwa kandungan total *moisture* batubara Pendopo yang awalnya sebesar 58,27 % mampu berkurang hingga < 25 % akibat pemanasan gelombang mikro. Kandungan *moisture* paling kecil pada Batubara Pendopo ukuran lolos 5/8 tertahan 4 mesh saat pemanasan 640 W sebesar 6,83 %. Hal ini menunjukkan bahwa pemanasan gelombang mikro mampu menghilangkan kandungan *moisture*, namun sulit untuk menjadikannya benar-benar kering. Hal yang serupa juga terjadi pada penelitian Lester *et al.* (2004) yang memanaskan batubara antrasit dengan gelombang mikro, yang hasilnya menunjukkan kandungan *moisture* hanya turun 0,1 % dari 5,6 % menjadi 5,5 % setelah pemanasan gelombang mikro pada daya 3000 W selama 0,1 detik. Lagipula menurut Lymann *et al.* (2001) adanya oksidasi pada temperatur rendah dan penyerapan air oleh sekelompok batubara kering dapat menyebabkan panas yang memicu pembakaran spontan. Sehingga pemanasan batubara dengan gelombang mikro cocok dilakukan untuk batubara lignit karena mampu mengurangi *moisture* namun tidak sampai benar-benar kering. Pengurangan *moisture* ini hingga mencapai < 25 % sudah memenuhi persyaratan batubara untuk PLTU.

4.2.4 Pengaruh Daya Terhadap Waktu Penghilangan *Moisture*

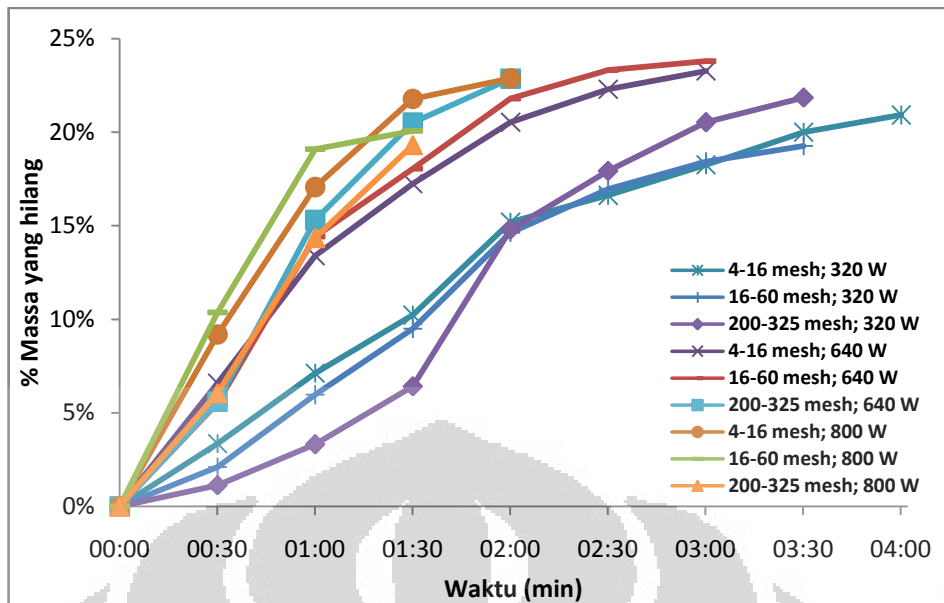
Pada penelitian ini dilakukan variasi daya pemanasan gelombang mikro untuk mengetahui pengaruh daya terhadap waktu penghilangan *moisture*.

Penghilangan *moisture* dengan gelombang mikro dilakukan terhadap keempat jenis batubara pada daya 320 W; 640 W; dan 800 W dengan ukuran partikel batubara lolos 4 tertahan 16 mesh (1,18 - 4,75 mm); batubara lolos 16 tertahan 60 mesh (0,25 - 1,18 mm); dan batubara lolos 200 tertahan 325 mesh (0,045 - 0,075 mm). Gambar 4.18. menunjukkan pengaruh daya gelombang mikro yang diberikan pada keempat jenis batubara dengan ukuran partikel lolos 4 tertahan 16 mesh.



Gambar 4.18. Pengaruh daya gelombang mikro terhadap waktu penghilangan *moisture*

Dapat dilihat pada Gambar 4.18. waktu penghilangan *moisture* paling cepat saat daya gelombang mikro yang diberikan sebesar 800 W, sedangkan waktu penghilangan *moisture* yang paling lama saat daya gelombang mikro yang diberikan sebesar 320 W. Hal ini menunjukkan peningkatan daya menyebabkan penyerapan gelombang mikro yang lebih dalam pada molekul air di dalam partikel batubara sehingga mampu mengurangi kandungan *moisture* secara signifikan. Penjelasan yang lebih detail mengenai prosentase massa yang hilang seiring lamanya pemanasan pada daya gelombang mikro yang berbeda untuk setiap jenis dan ukuran partikel batubara dapat dilihat pada Gambar 4.19. hingga Gambar 4.22.



Gambar 4.19. Pemanasan Batubara Melawan pada 320; 640 dan 800 W

Gambar 4.19. merupakan profil pemanasan Batubara Melawan pada daya gelombang mikro 320 W; 640 W dan 800 W. Terlihat pada Gambar 4.14. setelah pemanasan 1,5 menit pada ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh daya 320 W prosentase kehilangan massa sebanyak 10,23 %; pada daya 640 W prosentase kehilangan massa sebanyak 17,25 %; dan pada daya 800 W prosentase kehilangan massa sebesar 21,79 %. Pemanasan dengan daya 640 W berarti energi gelombang mikro yang diberikan ke Batubara Melawan 2 kali lebih besar dibandingkan pemanasan dengan daya 320 W, massa yang hilang akibat pemanasan pun hampir 2 kali lebih banyak. Begitu juga saat pemanasan dengan daya 800 W berarti energi gelombang mikro yang diberikan ke batubara Melawan 1,25 kali lebih besar dibandingkan dengan pemanasan dengan daya 640 W, massa yang hilang akibat pemanasan berbeda 1,25 kali.

Pada ukuran lolos 16 tertahan 60 mesh setelah pemanasan 1,5 menit pada daya 320 W prosentase kehilangan massa sebanyak 9,51 %; pada daya 640 W prosentase kehilangan massa sebanyak 18,05 %; dan pada daya 800 W prosentase kehilangan massa sebanyak 20,08 %. Pemanasan dengan daya 640 W berarti energi gelombang mikro yang diberikan ke Batubara Melawan 2 kali lebih besar dibandingkan pemanasan dengan daya 320 W, massa yang hilang akibat pemanasan pun hampir 2 kali lebih banyak. Namun saat pemanasan dengan daya

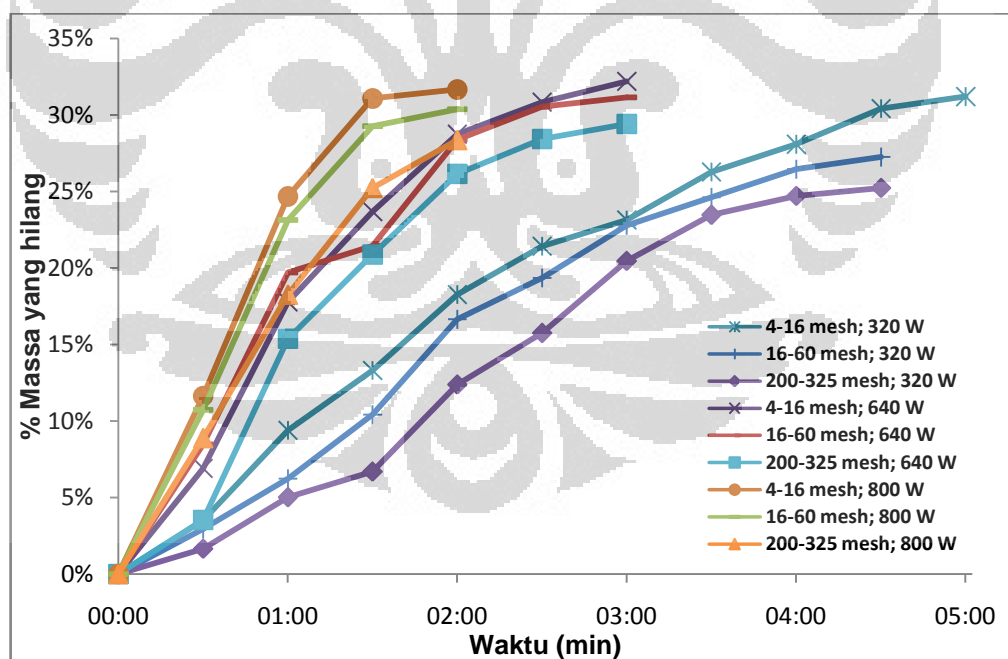
800 W, massa yang hilang akibat pemanasan tidak jauh berbeda dengan pemanasan dengan daya 640 W.

Setelah pemanasan 1,5 menit pada ukuran lolos 200 tertahan 325 mesh dengan daya 800 W prosentase kehilangan massa sebanyak 19,33 % bahkan tidak jauh berbeda dengan pemanasan gelombang mikro 640 W yang mengalami prosentase kehilangan massa sebanyak 20,53 %. Hal ini menunjukkan peningkatan daya menyebabkan penyerapan gelombang mikro yang lebih dalam pada molekul air di dalam partikel batubara sehingga mampu mengurangi kandungan *moisture* secara signifikan pada waktu pengeringan yang sama. Namun pada pemanasan gelombang mikro dengan daya > 640 W tidak memberikan efek pemanasan yang berarti pada batubara yang lebih halus dari 16 mesh. Hal ini karena setelah pemanasan 1 menit sebagian besar *moisture* sudah meninggalkan partikel batubara, dan laju pengeringan telah mengalami tingkat jatuh. Hal ini sesuai dengan penelitian Tahmasebi *et al.* (2011) yang memanaskan sampel yang berbeda pada tingkat daya yang berbeda, namun setelah pemanasan 3 menit tingkat daya yang lebih tinggi (> 765 W) tidak memberikan efek yang signifikan dibandingkan daya yang lebih rendah (< 765 W). Hasil analisis proksimat Batubara Melawan pada pemanasan gelombang mikro dengan daya 320 W; 640 W; dan 800 W dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Hasil analisis proksimat Batubara Melawan pada 320; 640 dan 800 W

NO	Nama		Analisis Proksimat				Fuel Ratio	Nilai Kalor
			Moisture	Volatile Matter	Abu	Fixed Carbon		
1	Melawan	Parent coal	24,18	34,17	4,82	36,83	1,08	4846,24
2	Melawan 320 W	Lolos 4 tertahan 16 mesh	5,93	40,84	5,02	48,22	1,18	5994,01
3	Melawan 640 W		4,47	41,95	4,96	48,63	1,16	6054,96
4	Melawan 800 W		6,73	40,38	6,87	46,04	1,14	6043,60
5	Melawan 320 W	Lolos 16 tertahan 60 mesh	9,70	39,24	7,14	43,93	1,12	5743,26
6	Melawan 640 W		4,31	41,42	7,33	46,95	1,13	5747,23
7	Melawan 800 W		4,87	42,20	3,44	49,49	1,17	5755,65
8	Melawan 320 W	Lolos 200 tertahan 325 mesh	8,07	41,51	10,27	40,16	0,97	5484,50
9	Melawan 640 W		8,81	40,49	9,61	41,11	1,02	5488,79
10	Melawan 800 W		5,66	43,33	4,51	46,56	1,07	5945,75

Terlihat pada Tabel 4.10. bahwa kandungan total *moisture* batubara Melawan yang awalnya sebesar 24,18% mampu berkurang hingga $< 10\%$ akibat pemanasan gelombang mikro. Tendensi yang sama juga terlihat pada pemanasan Batubara Melawan ini, bahwa gelombang mikro mampu menghilangkan kandungan total *moisture* dan meningkatkan *volatile matter* dan *fixed carbon*. Terlihat juga pada analisis proksimat, bahwa penghilangan *moisture* dengan gelombang mikro sedikit menaikkan *fuel ratio* Batubara Melawan. Hal ini menandakan sejumlah kecil *volatile matter* telah terlepas menjadi hidrokarbon yang lebih sederhana seperti metana, etana, karbondioksida maupun karbonmonoksida. Naiknya *fuel ratio* juga tidak melebihi 1,2 karena menurut Sukadarumuddi (1995) jika perbandingan tersebut nilainya lebih dari 1,2 maka pengapian akan kurang bagus sehingga mengakibatkan kecepatan pembakaran menurun. Hasil pemanasan gelombang mikro Batubara Eco pada daya 320 W; 640 W; dan 800 W pada ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh; lolos 16 tertahan 60 mesh; dan lolos 200 tertahan 325 mesh dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20. Pemanasan Batubara Eco pada 320; 640 dan 800 W

Terlihat pada Gambar 4.20. setelah pemanasan 2 menit pada ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh daya 320 W prosentase kehilangan massa sebanyak 18,27 %;

pada daya 640 W prosentase kehilangan massa sebanyak 28,74 %; dan pada daya 800 W prosentase kehilangan massa sebesar 31,67 %. Berarti pemanasan Batubara Eco dengan daya 640 W mengalami massa yang hilang hampir 2 kali lebih banyak dibandingkan pemanasan pada daya 320 W. Begitu juga saat pemanasan dengan daya 800 W berarti energi gelombang mikro yang diberikan ke Batubara Eco 1,25 kali lebih besar dibandingkan dengan pemanasan dengan daya 640 W, massa yang hilang akibat pemanasan berbeda 1,25 kali.

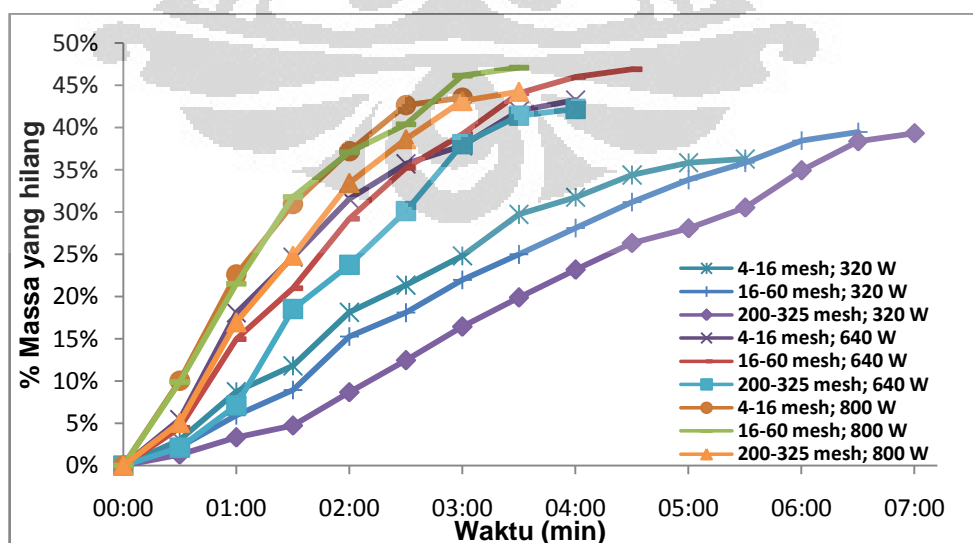
Pada ukuran lolos 16 tertahan 60 mesh setelah pemanasan 2 menit, pada daya 320 W prosentase kehilangan massa sebanyak 16,65 %; pada daya 640 W prosentase kehilangan massa sebanyak 28,38 %; dan pada daya 800 W prosentase kehilangan massa sebanyak 30,37 %. Pemanasan dengan daya 640 W berarti energi gelombang mikro yang diberikan ke Batubara Eco 2 kali lebih besar dibandingkan pemanasan dengan daya 320 W, massa yang hilang akibat pemanasan pun hampir 2 kali lebih banyak. Namun saat pemanasan dengan daya 800 W, massa yang hilang akibat pemanasan tidak jauh berbeda dengan pemanasan dengan daya 640 W.

Setelah pemanasan 2 menit pada ukuran lolos 200 tertahan 325 mesh dengan daya 800 W prosentase kehilangan massa sebanyak 28,36 % bahkan tidak jauh berbeda dengan pemanasan gelombang mikro 640 W yang mengalami prosentase kehilangan massa sebanyak 26,16 %. Hal ini menunjukkan pada Batubara Eco peningkatan daya menyebabkan penyerapan gelombang mikro yang lebih dalam pada molekul air di dalam partikel batubara sehingga mampu mengurangi kandungan *moisture* secara signifikan pada waktu pengeringan yang sama. Namun pada pemanasan gelombang mikro dengan daya > 640 W tidak memberikan efek pemanasan yang berarti pada batubara yang lebih halus dari ukuran 16 mesh. Hasil analisis proksimat Batubara Eco pada pemanasan gelombang mikro dengan daya 320 W; 640 W; dan 800 W dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Hasil analisis proksimat Batubara Eco pada 320; 640 dan 800 W

NO	Jenis Batubara		Analisis Proksimat				Fuel Ratio	Nilai Kalor
			Moisture	Volatile Matter	Abu	Fixed Carbon		
1	Eco	Parent coal	33,22	33,92	2,42	30,44	0,90	4357,55
2	Eco 320 W	Lolos 4 tertahan 16 mesh	4,93	46,49	2,88	45,71	0,98	5700,71
3	Eco 640 W		5,85	45,66	4,40	44,08	0,97	5862,74
4	Eco 800 W		6,47	46,42	2,25	44,88	0,97	5859,57
5	Eco 320 W	Lolos 16 tertahan 60 mesh	9,94	44,67	3,63	41,77	0,94	5692,56
6	Eco 640 W		7,38	45,54	4,11	42,99	0,94	5940,13
7	Eco 800 W		5,98	46,56	3,67	43,79	0,94	5759,18
8	Eco 320 W	Lolos 200 tertahan 325 mesh	11,08	45,48	3,56	39,89	0,88	5692,49
9	Eco 640 W		6,56	47,44	4,19	41,82	0,88	5777,29
10	Eco 800 W		7,55	46,91	2,58	42,97	0,92	5767,28

Pada Tabel 4.11. terlihat bahwa kandungan total *moisture* Batubara Eco yang awalnya sebesar 33,22 % mampu berkurang hingga < 11 % akibat pemanasan gelombang mikro. Tendensi yang sama juga terlihat pada pemanasan Batubara Eco dimana gelombang mikro mampu menghilangkan kandungan total *moisture* dan meningkatkan *volatile matter* dan *fixed carbon*. Namun nilai *fuel ratio* tidak berubah signifikan. Hasil pemanasan gelombang mikro Batubara Peranap pada daya 320 W; 640 W; dan 800 W pada ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh; lolos 16 tertahan 60 mesh; dan lolos 200 tertahan 325 mesh dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.16. Pemanasan Batubara Peranap pada 320; 640 dan 800 W

Terlihat pada Gambar 4.16. setelah pemanasan 3 menit pada ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh daya 320 W prosentase kehilangan massa sebanyak 24,83 %; pada daya 640 W prosentase kehilangan massa sebanyak 37,85 %; dan pada daya 800 W prosentase kehilangan massa sebesar 43,51 %. Berarti pemanasan gelombang mikro pada Batubara Peranap dengan daya 640 W mengalami massa yang hilang hampir 2 kali lebih banyak dibandingkan pemanasan pada daya 320 W. Begitu juga saat pemanasan dengan daya 800 W berarti energi gelombang mikro yang diberikan ke Batubara Peranap 1,25 kali lebih besar dibandingkan dengan pemanasan dengan daya 640 W, massa yang hilang akibat pemanasan hampir mendekati 1,25 kali.

Pada ukuran lolos 16 tertahan 60 mesh setelah pemanasan 3 menit, pada daya 320 W prosentase kehilangan massa sebanyak 21,98 %; pada daya 640 W prosentase kehilangan massa sebanyak 39,19 %; dan pada daya 800 W prosentase kehilangan massa sebanyak 46,15 %. Pemanasan dengan daya 640 W berarti energi gelombang mikro yang diberikan ke Batubara Peranap 2 kali lebih besar dibandingkan pemanasan dengan daya 320 W, massa yang hilang akibat pemanasan pun hampir 2 kali lebih banyak. Begitu juga saat pemanasan dengan daya 800 W berarti energi gelombang mikro yang diberikan ke Batubara Peranap 1,25 kali lebih besar dibandingkan dengan pemanasan dengan daya 640 W, namun massa yang hilang akibat pemanasan hanya mendekati 1,15 kali. Hal ini dimungkinkan karena Batubara Peranap memiliki kandungan *moisture* yang cukup besar yaitu 46,14 %.

Setelah pemanasan 3 menit pada ukuran lolos 200 tertahan 325 mesh dengan daya 800 W prosentase kehilangan massa sebanyak 43,14 % bahkan tidak jauh berbeda dengan pemanasan gelombang mikro 640 W yang mengalami prosentase kehilangan massa sebanyak 38,04 %. Hal ini menunjukkan pada Batubara Peranap peningkatan daya menyebabkan penyerapan gelombang mikro yang lebih dalam pada molekul air di dalam partikel batubara sehingga mampu mengurangi kandungan *moisture* secara signifikan pada waktu pengeringan yang sama. Namun pada pemanasan gelombang mikro dengan daya > 640 W tidak

memberikan efek pemanasan yang berarti pada batubara yang lebih halus dari 16 mesh.

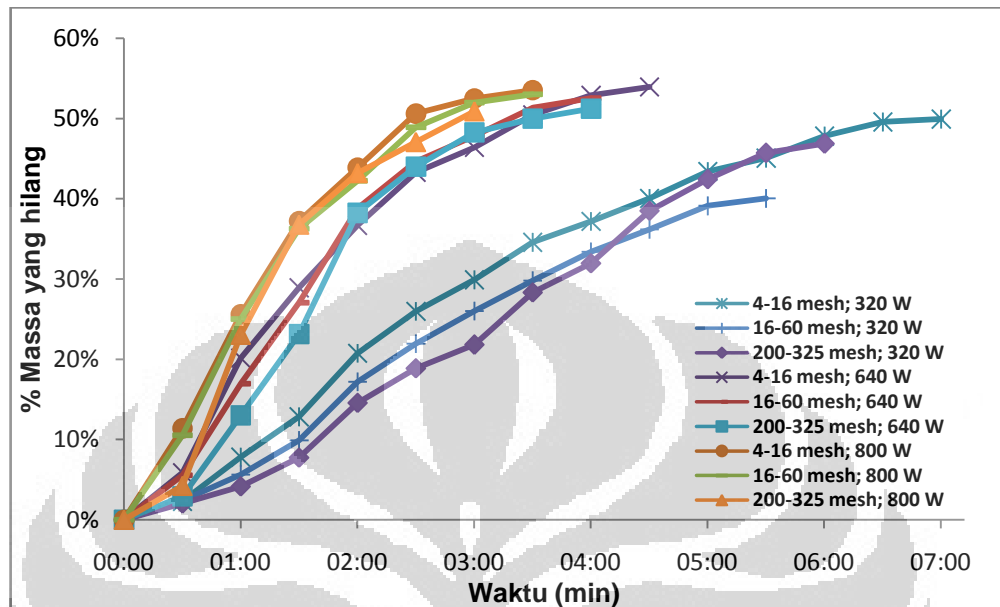
Hasil analisis proksimat Batubara Peranap pada pemanasan gelombang mikro dengan daya 320 W; 640 W; dan 800 W dapat dilihat pada Tabel 4.12. Bahwa kandungan total *moisture* batubara Peranap yang awalnya sebesar 46,14% mampu berkurang hingga < 21 % akibat pemanasan gelombang mikro. Laju massa yang hilang pada batubara Peranap mudah mendekati konstan pada pemanasan gelombang mikro dengan daya yang rendah (320 W). Hal ini dimungkinkan karena kandungan *free moisture* Batubara Peranap yang cukup besar sebanyak 36,06% sehingga mudah lepas pada daya yang rendah, namun dengan daya tersebut tidak sampai cukup dalam untuk masuk ke dalam matriks batubara sehingga laju massa yang hilang mudah mendekati konstan. Hal ini juga terlihat pada Tabel 4.12. *moisture* yang tersisa setelah pemanasan gelombang mikro dengan daya 320 W sebesar < 22 % sedangkan pemanasan gelombang mikro dengan daya 640 W dan 800 W sebesar < 14 %.

Tabel 4.12. Hasil analisis proksimat Batubara Peranap pada 320; 640 dan 800 W

NO	Jenis Batubara		Analisis Proksimat				Fuel Ratio	Nilai Kalor
			Moisture	Volatile Matter	Abu	Fixed Carbon		
1	Peranap	Parent coal	46,14	27,05	4,94	21,88	0,81	2940,16
2	Peranap 320 W	Lolos 4	21,37	38,50	5,18	34,95	0,91	5071,00
3	Peranap 640 W	tertahan	13,71	42,21	4,96	39,13	0,93	5228,79
4	Peranap 800 W	16 mesh	13,68	41,02	6,34	38,96	0,95	5374,83
5	Peranap 320 W	Lolos 16	13,60	41,06	11,37	33,98	0,83	4989,99
6	Peranap 640 W	tertahan	9,77	40,58	15,37	34,29	0,85	4892,18
7	Peranap 800 W	60 mesh	7,38	38,14	22,25	32,24	0,85	4449,90
8	Peranap 320 W	Lolos 200	15,76	41,85	8,11	34,30	0,82	5046,18
9	Peranap 640 W	tertahan	11,46	43,17	9,74	35,62	0,83	5154,31
10	Peranap 800 W	325 mesh	7,75	45,49	8,84	37,93	0,83	5471,93

Terlihat juga pada Tabel 4.12. di atas, kandungan *volatile matter* dan *fixed carbon* Batubara Peranap meningkat akibat berkurangnya kandungan total *moisture*. Namun nilai *fuel ratio* tidak berubah signifikan. Hasil pemanasan gelombang mikro Batubara Pendopo pada daya 320 W; 640 W; dan 800 W pada

ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh; lolos 16 tertahan 60 mesh; dan lolos 200 tertahan 325 mesh dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.17. Pemanasan Batubara Pendopo pada 320; 640 dan 800 W

Pada Gambar 4.17. setelah pemanasan Batubara Pendopo selama 3 menit pada ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh daya 320 W prosentase kehilangan massa sebanyak 29,90 %; pada daya 640 W prosentase kehilangan massa sebanyak 46,42 %; dan pada daya 800 W prosentase kehilangan massa sebesar 52,81 %. Berarti pemanasan gelombang mikro pada Batubara Peranap dengan daya 640 W mengalami massa yang hilang hampir 2 kali lebih banyak dibandingkan pemanasan pada daya 320 W. Begitu juga saat pemanasan dengan daya 800 W berarti energi gelombang mikro yang diberikan ke Batubara Pendopo 1,25 kali lebih besar dibandingkan dengan pemanasan dengan daya 640 W, massa yang hilang akibat pemanasan hampir mendekati 1,25 kali.

Pada ukuran lolos 16 tertahan 60 mesh setelah pemanasan 3 menit, pada daya 320 W prosentase kehilangan massa sebanyak 26,03 %; pada daya 640 W prosentase kehilangan massa sebanyak 47,82 %; dan pada daya 800 W prosentase kehilangan massa sebanyak 51,98 %. Pemanasan dengan daya 640 W berarti energi gelombang mikro yang diberikan ke Batubara Pendopo 2 kali lebih besar dibandingkan pemanasan dengan daya 320 W, massa yang hilang akibat

pemanasan pun hampir 2 kali lebih banyak. Begitu juga saat pemanasan dengan daya 800 W berarti energi gelombang mikro yang diberikan ke Batubara Pendopo 1,25 kali lebih besar dibandingkan dengan pemanasan dengan daya 640 W, namun tidak terjadi perbedaan yang signifikan pada massa yang hilang akibat pemanasan.

Setelah pemanasan 3 menit pada ukuran lolos 200 tertahan 325 mesh dengan daya 800 W prosentase kehilangan massa sebanyak 50,92 % bahkan tidak jauh berbeda dengan pemanasan gelombang mikro 640 W yang mengalami prosentase kehilangan massa sebanyak 48,28%. Hal ini menunjukkan pada Batubara Pendopo peningkatan daya menyebabkan penyerapan gelombang mikro yang lebih dalam pada molekul air di dalam partikel batubara sehingga mampu mengurangi kandungan *moisture* secara signifikan pada waktu pengeringan yang sama. Namun pada pemanasan gelombang mikro dengan daya > 640 W tidak memberikan efek pemanasan yang berarti pada batubara yang lebih halus dari ukuran 16 mesh. Hasil analisis proksimat Batubara Pendopo pada pemanasan gelombang mikro dengan daya 320 W; 640 W; dan 800 W dengan ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh; lolos 16 tertahan 60 mesh; dan lolos 200 tertahan 325 mesh dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Hasil analisis proksimat Batubara Pendopo pada 320; 640 dan 800 W

NO	Jenis Batubara		Analisis Proksimat				Fuel Ratio	Nilai Kalor
			Moisture	Volatile Matter	Abu	Fixed Carbon		
1	Pendopo	Parent coal	58,27	21,16	2,66	17,91	0,85	2481,1
2	Pendopo 320 W	Lolos 4	14,37	43,83	5,42	36,39	0,83	5098,18
3	Pendopo 640 W	tertahan 16 mesh	12,05	44,32	5,27	38,37	0,87	5259,69
4	Pendopo 800 W		11,27	44,88	5,35	38,51	0,86	5204,54
5	Pendopo 320 W	Lolos 16	24,18	40,26	6,17	29,39	0,73	4660,39
6	Pendopo 640 W	tertahan 60 mesh	10,48	45,79	7,48	36,25	0,79	5161,51
7	Pendopo 800 W		11,93	46,74	5,39	35,95	0,77	5220,66
8	Pendopo 320 W	Lolos 200	14,74	44,20	6,76	34,31	0,78	4909,68
9	Pendopo 640 W	tertahan 325 mesh	12,13	45,53	5,44	36,91	0,81	5124,77
10	Pendopo 800 W		10,83	46,10	7,27	35,81	0,78	5103,58

Terlihat pada Tabel 4.13. bahwa kandungan total *moisture* batubara Pendopo yang awalnya sebesar 58,27 % mampu berkurang hingga < 24 % pada daya 320 W; pada daya 640 W dan 800 W mampu berkurang hingga < 12 %. Tendensi yang sama seperti pada Batubara Peranap juga terjadi pada Batubara Pendopo, bahwa laju massa yang hilang pada batubara mudah mendekati konstan pada pemanasan gelombang mikro dengan daya yang rendah (320 W). Hal ini dimungkinkan karena kandungan *free moisture* Batubara Pendopo juga cukup besar sebanyak 43,99% sehingga mudah lepas pada daya yang rendah, namun pada daya tersebut tidak sampai cukup dalam untuk masuk ke dalam matriks batubara sehingga laju massa yang hilang mudah mendekati konstan. Selain itu, kandungan *volatile matter* dan *fixed carbon* Batubara Pendopo juga meningkat akibat berkurangnya kandungan total *moisture*. Namun nilai *fuel ratio* tidak berubah signifikan.

4.2.5 Hubungan Kandungan *Moisture*, Ukuran Partikel, Daya Gelombang Mikro dan Massa Batubara Terhadap Waktu Penghilangan *Moisture*

Dalam penelitian ini dilakukan analisis metode regresi linier berganda untuk mengetahui kandungan *moisture*, ukuran partikel, daya gelombang mikro yang diberikan dan massa batubara terhadap waktu penghilangan *moisture*. Metode analisis regresi linier yang dipakai adalah metode langsung, dengan menggunakan program SPSS 16. Fungsi regresi linier berganda yang dimodelkan adalah:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 \quad (4.1)$$

dimana:

Y = Waktu penghilangan *moisture*

a = Konstanta

b = Koefisien regresi

X₁ = Kandungan *total moisture*

X₂ = Ukuran partikel

X₃ = Daya yang diberikan

X₄ = Massa sampel batubara

Data sampel yang terkumpul berjumlah 51 data yang dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Data pengaruh berbagai variasi terhadap waktu penghilangan *moisture*

No.	Kandungan <i>Moisture</i>	Ukuran Partikel	Dava	Massa	Waktu
1	24,18	1	320	20	3
2	33,22	1	320	20	4
3	46,14	1	320	20	5,5
4	58,27	1	320	20	6
5	24,18	2	320	20	3,5
6	33,22	2	320	20	4,5
7	46,14	2	320	20	5
8	58,27	2	320	20	6,5
9	24,18	3	320	20	3
10	33,22	3	320	20	4
11	46,14	3	320	20	6
12	58,27	3	320	20	5
13	24,18	4	320	20	3
14	33,22	4	320	20	4
15	46,14	4	320	20	6,5
16	58,27	4	320	20	5,5
17	24,18	1	640	20	2
18	33,22	1	640	20	2
19	46,14	1	640	20	3
20	58,27	1	640	20	4
21	24,18	2	640	20	2,5
22	33,22	2	640	20	2,5
23	46,14	2	640	20	3,5
24	58,27	2	640	20	4
25	24,18	3	640	20	2,5
26	33,22	3	640	20	2,5
27	46,14	3	640	20	4
28	58,27	3	640	20	3,5
29	24,18	4	640	20	1,5
30	33,22	4	640	20	2,5
31	46,14	4	640	20	3,5
32	58,27	4	640	20	3,5
33	24,18	1	800	20	1,5
34	33,22	1	800	20	1,5
35	46,14	1	800	20	2,5
36	58,27	1	800	20	2,5
37	24,18	2	800	20	1,5
38	33,22	2	800	20	1,5
39	46,14	2	800	20	2,5
40	58,27	2	800	20	3
41	24,18	3	800	20	1
42	33,22	3	800	20	1,5
43	46,14	3	800	20	3
44	58,27	3	800	20	3
45	24,18	4	800	20	1,5
46	33,22	4	800	20	2
47	46,14	4	800	20	3
48	58,27	4	800	20	3
49	33,22	2	320	5	3
50	33,22	2	320	10	4,5
51	33,22	2	320	30	5

Ukuran partikel diberi kode dengan:

- 1 → 5/8-4 mesh
- 2 → 4-16 mesh
- 3 → 16-60 mesh
- 4 → 200-325 mesh

Dari hasil run SPSS 16 diperoleh Tabel 4.15 yang menyatakan nilai ANOVA (*Analysis of Variance*) dari analisis regresi linier yang telah dilakukan untuk mengetahui signifikansi fungsi regresi linier berganda.

Tabel 4.15. Hasil ANOVA terhadap waktu penghilangan *moisture*

ANOVA ^b						
Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	87.252	4	21.813	89.362	.000 ^a
	Residual	11.228	46	.244		
	Total	98.480	50			

a. Predictors: (Constant), Massa, Ukuran partikel, Kandungan *moisture*, Daya
b. Dependent Variable: Waktu

Model Summary ^b			
Model	R	R Square	Adjusted R Square
1	.941 ^a	.886	.876

a. Predictors: (Constant), Massa, Ukuran partikel, Kandungan *moisture*, Daya
b. Dependent Variable: Waktu

Uji signifikansi dari fungsi regresi berganda menggambarkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel tetap. *Model regression* menginformasikan variasi yang dapat dijelaskan oleh model regresi yang terbentuk. Hasil *Model Residual* memberikan informasi mengenai variasi diluar model regresi yang terbentuk (variasi yang disebabkan oleh faktor lainnya). Hasil *Model Total* menunjukkan jumlah total variasi, yaitu penjumlahan *Model Regression* dan *Model Residual*.

Terlihat pada Tabel 4.15., nilai *sum of squares* dari model regresi sebesar 87,252 dibanding dengan nilai *sum of squares* dari model residual yaitu 11,228.

Hal ini menjelaskan bahwa nilai total *sum of squares* (98,480) dimana model regresi dapat menjelaskan 88,60 % dari total variasi terhadap penghilangan moisture dengan gelombang mikro dan sisanya 11,40 % dijelaskan oleh hal-hal lain. Perbandingan *sum of squares* regresi terhadap *sum of squares* total ditunjukkan oleh nilai *R-square*, yaitu 0,941. Nilai ini cukup tinggi dan berarti bahwa model yang terbentuk cukup baik dimana terdapat sumbangan pengaruh kandungan *total moisture*; ukuran partikel; daya; dan massa awal sampel terhadap waktu penghilangan *moisture* dengan pemanasan gelombang mikro. Nilai *adjusted R-square* sebesar 0,886 menyatakan nilai *R-square* yang telah disesuaikan, yang menunjukkan sumbangan pengaruh variabel bebas terhadap variabel tetap. Sedangkan nilai *standard error of the estimate* digunakan untuk mengukur kesalahan prediksi. Dalam penelitian ini nilai *standard error of the estimate* sebesar 0,49406, yang artinya kesalahan yang dapat terjadi dalam memprediksi waktu penghilangan moisture sebesar 0,49406 menit.

ANOVA atau analisis varian merupakan uji koefisien regresi secara bersama-sama (uji F) untuk menguji signifikansi pengaruh beberapa variabel bebas (kandungan *total moisture*, ukuran partikel, daya yang diberikan, massa sampel) terhadap variabel tetap (waktu penghilangan *moisture*). Pengujian menggunakan tingkat signifikansi 0,05. Langkah-langkah uji F yaitu:

1) Merumuskan hipotesis.

Ho: kandungan *total moisture*, ukuran partikel, daya yang diberikan dan massa sampel secara bersama-sama tidak berpengaruh terhadap waktu penghilangan *moisture* dengan pemanasan gelombang mikro.

Ha: kandungan *total moisture*, ukuran partikel, daya yang diberikan dan massa sampel secara bersama-sama berpengaruh terhadap waktu penghilangan *moisture* dengan pemanasan gelombang mikro.

2) Menentukan F hitung dan signifikansi.

Nilai F menunjukkan rasio *mean square regression* dan *mean square residual*, dari output diperoleh F hitung sebesar 89,362 dengan signifikansi sebesar 0,000.

3) Menentukan F tabel.

F tabel dapat dilihat pada tabel statistik (Priyatno, 2009) pada tingkat signifikansi 0,005 dengan *degree of freedom* Df numerator (jumlah variabel - 1) = 4; dan Df denominator (jumlah data - Df numerator - 1) = 46; maka hasil yang diperoleh untuk F tabel sebesar 2,574.

4) Kriteria pengujian.

- Jika F hitung \leq F tabel, maka Ho diterima.
- Jika F hitung $>$ F tabel, maka Ho ditolak.

5) Membuat kesimpulan.

F hitung $>$ F tabel (89,362 $>$ 2,574) dan signifikansi $<$ 0,05 (0,000 $<$ 0,05), maka Ho ditolak. Jadi dapat disimpulkan bahwa kandungan moisture, ukuran partikel, daya yang diberikan dan massa sampel secara bersama-sama berpengaruh terhadap waktu penghilangan moisture dengan pemanasan gelombang mikro.

Ternyata dari uji signifikansi memberikan hasil yang signifikan bahwa ada hubungan yang linier atau terdapat pengaruh dari keempat variabel bebas terhadap variabel tetap, yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Pengaruh variasi bebas terhadap variabel tetap

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	2.779	.549		5.067	.000		
	Kandungan <i>moisture</i>	.061	.005	.551	11.038	.000	.996	1.004
	Ukuran partikel	.033	.064	.026	.514	.609	.997	1.003
	Daya	-.005	.000	-.788	-15.690	.000	.982	1.018
	Massa	.056	.024	.116	2.301	.026	.980	1.020

a. Dependent Variable: Waktu

Maka berdasarkan tabel persamaan regresi yang terbentuk menjadi:

$$Y = 2,779 + 0,061 X_1 + 0,033 X_2 - 0,005 X_3 + 0,056 X_4 \quad (4.2)$$

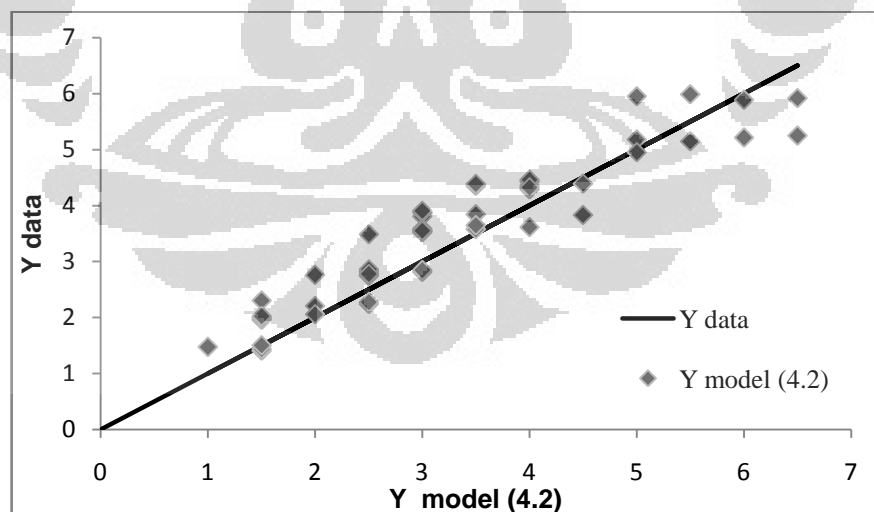
dimana:

Y = Waktu penghilangan *moisture* akibat pemanasan gelombang mikro

- X_1 = Kandungan *total moisture* batubara awal
 X_2 = Ukuran partikel
 X_3 = Daya yang diberikan
 X_4 = Massa sampel batubara

Dari persamaan tersebut, dapat dilihat bahwa koefisien regresi dari setiap faktor baik itu kandungan *total moisture*; ukuran partikel; massa batubara yang akan dikeringkan serta besarnya daya gelombang mikro yang akan diberikan memberi pengaruh terhadap lamanya waktu penghilangan *moisture*. Pengaruh terbesar adalah kandungan *total moisture*; ukuran partikel; dan massa batubara yang memberikan efek lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menghilangkan *moisture*. Sedangkan daya gelombang mikro memberikan efek pengurangan waktu yang dibutuhkan untuk menghilangkan *moisture*. Semakin besar daya gelombang mikro yang diberikan, maka akan semakin pendek waktu yang dibutuhkan untuk menghilangkan *moisture*.

Untuk mengetahui keakuratan model regresi dilakukan validasi dengan membandingkannya pada Y aktual dari data yang ada, seperti pada Gambar 4.23. di bawah ini.



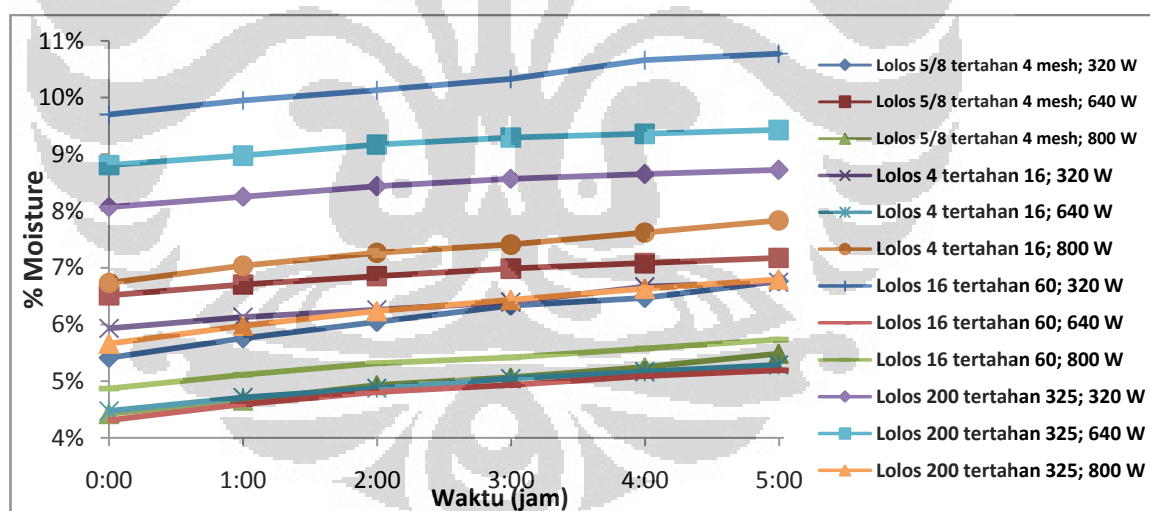
Gambar 4.23. Perbandingan waktu penghilangan *moisture* (Y) aktual dengan Y model (4.2)

Dapat dilihat pada Gambar 4.23. bahwa model regresi yang digunakan mendekati waktu penghilangan *moisture* (Y) aktual, kecuali pada batubara yang memiliki

kandungan *total moisture* > 50 % dengan ukuran partikel > 200 mesh. Hal ini berarti model regresi 4.2 dapat digunakan untuk memprediksi waktu penghilangan *moisture* akibat pemanasan gelombang mikro terutama pada batubara yang memiliki kandungan *total moisture* < 50 % dengan ukuran partikel < 200 mesh. Pada pemanasan gelombang mikro, waktu penghilangan *moisture* dipengaruhi oleh kandungan *total moisture*, ukuran partikel dan massa sampel batubara; serta besarnya daya yang diberikan oleh gelombang mikro.

4.2.6 *Moisture* Re-adsorpsi Batubara

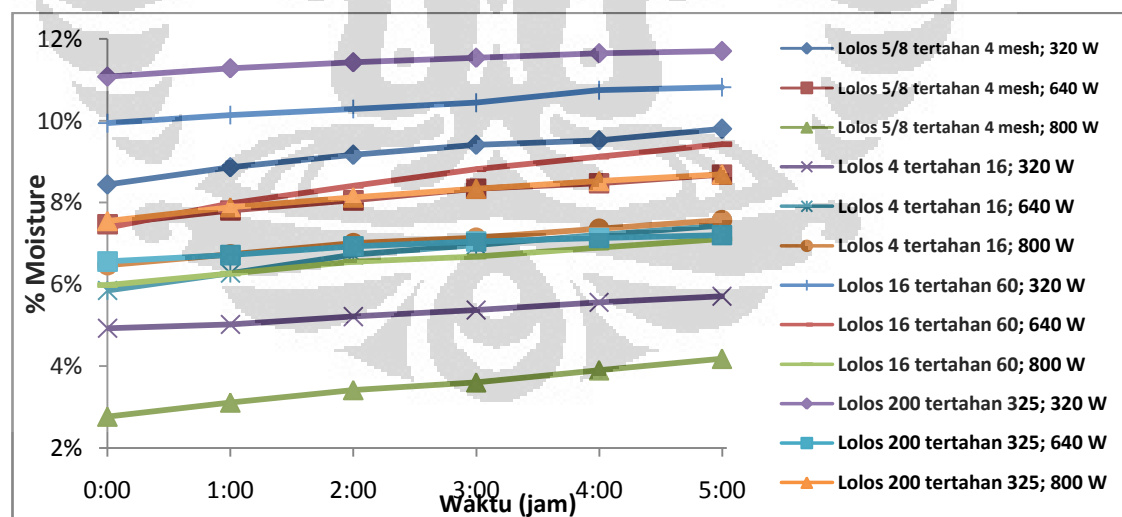
Setelah dilakukan penghilangan *moisture* dengan pemanasan gelombang mikro, maka dilihat pengaruh kelembaban terhadap sampel yang telah mengalami penghilangan *moisture*. Sampel batubara diletakkan di dalam desikator yang telah diisi air, kemudian ditutup rapat. Sehingga suhu terjaga 30 °C dan kelembaban ruangan (*humidity*) terjaga 85 %. Sampel ditimbang setiap 1 jam. Profil *moisture* re-adsorpsi Batubara Melawan dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24. *Moisture* re-adsorpsi Batubara Melawan setelah pemanasan 320; 640 dan 800 W

Setelah dibiarkan selama 5 jam, *moisture* Batubara Melawan berukuran lolos 5/8 tertahan 4 mesh naik sekitar 0,66-1,35 % pada daya 320; 640; dan 800 W. *Moisture* Batubara Melawan ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh setelah dibiarkan selama 5 jam naik sekitar 0,81-1,10 % pada daya 320; 640; dan 800 W. Pada Batubara Melawan ukuran lolos 16 tertahan 60 mesh *moisture* setelah 5 jam naik

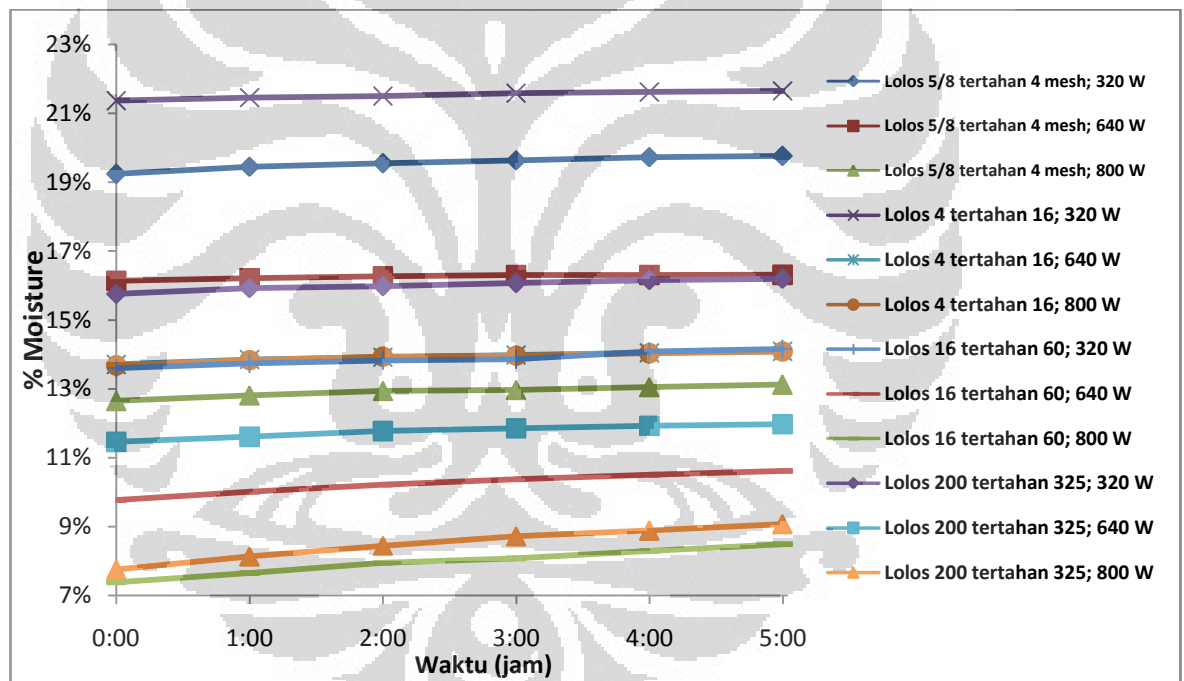
sekitar 0,86-1,07 % pada daya 320; 640; dan 800 W. Dan pada Batubara Melawan ukuran lolos 200 tertahan 325 mesh *moisture* setelah 5 jam naik sekitar 0,62-1,13 % pada daya 320; 640; dan 800 W. Pada ukuran partikel lolos 200 tertahan 325 yang mengalami pemanasan dengan daya 320 W dan 640 W, sampel batubara mengalami kenaikan yang paling rendah $< 0,65$ % *moisture*. Selain pada sampel tersebut, ternyata pada Batubara Melawan pemanasan gelombang mikro pada tingkatan daya yang berbeda tidak memberikan tendensi *moisture* re-adsorpsi serupa untuk ukuran sampel yang sama. Berbeda dengan penelitian Xianchun *et al.* (2009) yang melakukan penelitian terhadap *equilibrium moisture* pada batubara yang telah dikeringkan secara termal. Kandungan *equilibrium moisture* menurun dengan meningkatnya suhu pengeringan, dimana pada pengeringan termal struktur matriks batubara peringkat rendah yang runtuh mengakibatkan luas permukaan partikel batubara berkurang untuk menyerap kembali (re-adsorpsi) *moisture* dari atmosfer sekitarnya. Namun tendensi ini tidak ditemukan pada Batubara Melawan yang telah mengalami pemanasan gelombang mikro meski terjadi variasi tingkatan daya. Efek pemanasan gelombang mikro terhadap *moisture* re-adsorpsi Batubara Eco dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25. Moisture re-adsorpsi Batubara Eco setelah pemanasan 320; 640 dan 800 W

Setelah pemanasan dengan gelombang mikro, Batubara Eco dibiarkan selama 5 jam, pada ukuran lolos 5/8 tertahan 4 mesh *moisture* naik sekitar 1,2-1,4

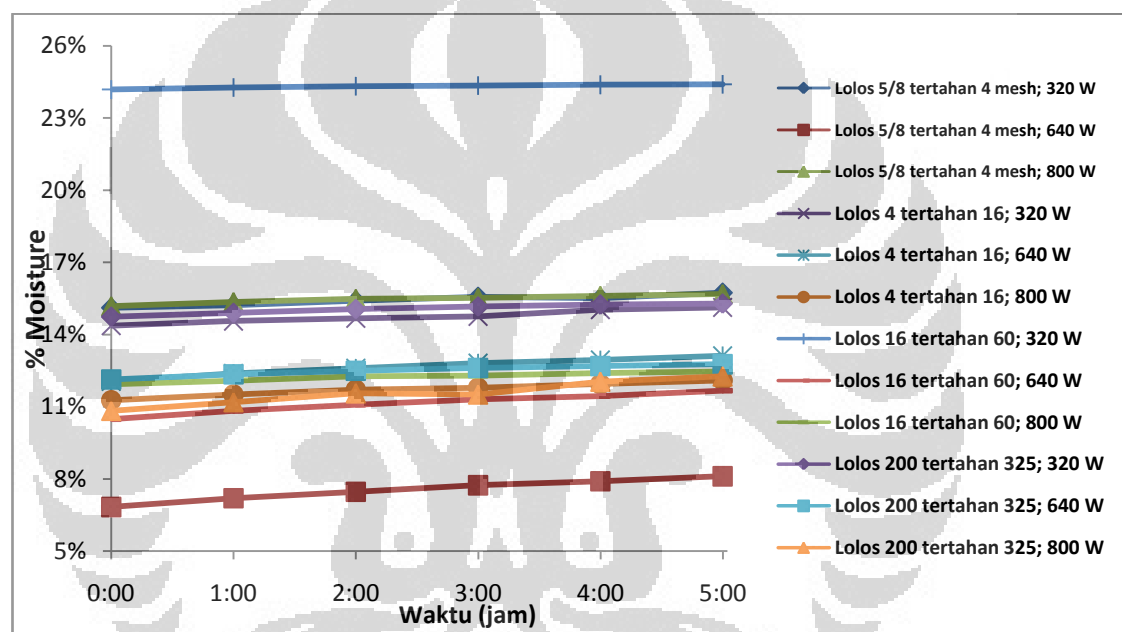
%; pada ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh *moisture* naik sekitar 0,78-1,59 %; pada ukuran lolos 16 tertahan 60 mesh *moisture* naik sekitar 0,88-2,04 %; dan pada ukuran lolos 200 tertahan 325 mesh *moisture* naik sekitar 0,63-1,14 % pada daya 320; 640; dan 800 W. Namun pada ukuran partikel lolos 200 tertahan 325 yang mengalami pemanasan dengan daya 320 W dan 640 W, sampel Batubara Eco mengalami kenaikan yang paling rendah < 0,65 % *moisture*, sama seperti Batubara Melawan. Selain pada sampel tersebut, ternyata pada Batubara Eco pemanasan gelombang mikro pada tingkatan daya yang berbeda tidak memberikan tendensi *moisture* re-adsorpsi serupa untuk ukuran sampel yang sama. Efek pemanasan gelombang mikro terhadap *moisture* re-adsorpsi Batubara Peranap dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26. Moisture re-adsorpsi Batubara Peranap setelah pemanasan 320; 640 dan 800 W

Setelah Batubara Peranap mengalami pemanasan gelombang mikro, Batubara Peranap dibiarkan selama 5 jam, *moisture* pada batubara berukuran lolos 5/8 tertahan 4 mesh naik sekitar 0,17-0,52 %; pada ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh *moisture* naik sekitar 0,28- 0,40 %; pada ukuran lolos 16 tertahan 60 mesh *moisture* naik sekitar 0,56-1,11 %; dan pada ukuran lolos 200 tertahan 325 mesh

moisture naik sekitar 0,44-1,33 %. Pada ukuran partikel lolos 200 tertahan 325 yang mengalami pemanasan dengan daya 320 W dan 640 W, sampel Batubara Peranap mengalami kenaikan yang paling rendah < 0,51% *moisture*. Selain pada sampel tersebut, ternyata pada Batubara Peranap pemanasan gelombang mikro pada tingkatan daya yang berbeda tidak memberikan tendensi *moisture* re-adsorpsi serupa untuk ukuran sampel yang sama. Efek pemanasan gelombang mikro terhadap *moisture* re-adsorpsi Batubara Pendopo dapat dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27. Moisture re-adsorpsi Batubara Pendopo setelah pemanasan 320; 640; 800 W

Pada Batubara Pendopo yang telah mengalami pemanasan gelombang mikro, dibiarkan selama 5 jam, *moisture* batubara ukuran lolos 5/8 tertahan 4 mesh naik sekitar 0,50-1,28 %; pada ukuran lolos 4 tertahan 16 mesh *moisture* naik sekitar 0,75-1,06 %; pada ukuran lolos 16 tertahan 60 mesh *moisture* naik sekitar 0,22-1,19 %; dan pada ukuran lolos 200 tertahan 325 mesh *moisture* naik sekitar 0,54-1,43 %. Pada ukuran partikel lolos 200 tertahan 325 yang mengalami pemanasan dengan daya 320 W dan 640 W, sampel Batubara Pendopo mengalami kenaikan yang paling rendah < 0,63% *moisture*. Selain pada sampel tersebut, ternyata pada Batubara Pendopo pemanasan gelombang mikro pada tingkatan

daya yang berbeda tidak memberikan tendensi *moisture* re-adsorpsi serupa untuk ukuran sampel yang sama.

Ternyata keempat jenis batubara memiliki pengaruh yang sama untuk ukuran batubara lolos 200 tertahan 325 mesh yang telah mengalami pemanasan dengan daya 320 W dan 640 W, setelah dibiarkan selama 5 jam mengalami kenaikan *moisture* < 0,65 %. Selain ukuran tersebut meski pada tingkatan daya yang sama, gelombang mikro tidak mempengaruhi *moisture* re-adsorpsi batubara. Menurut Xianchun *et al.* (2009) pada pengeringan termal, batubara peringkat rendah yang mengandung air dianggap sebagai struktur gel, sehingga pengeringan menyebabkan runtuhnya struktur pori batubara akibat *moisture* hilang dan menguap, yang menyebabkan luas permukaan partikel batubara yang mampu menyerap kembali (re-adsorpsi) *moisture* (kelembaban) dari atmosfer di sekitarnya berkurang. Namun menurut Lester *et al.* (2004) sebagai akibat komponen non karbon dalam batubara merespon gelombang mikro lebih cepat dibandingkan komponen karbon, terjadi retak dan celah pada batubara yang disebabkan ekspansi termal komponen non karbon. Hal ini memungkinkan *moisture* re-adsorpsi pada batubara yang ukuran partikelnya lebih besar dari 60 mesh tidak tergantung pada daya yang diberikan oleh gelombang mikro. Selain itu, air merupakan molekul polar sehingga terjadi gaya Van der Waals yang berasal dari induksi dipol-dipol. Sehingga air mudah teradsorp secara fisik oleh matriks batubara.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah dilakukan penelitian terhadap empat jenis batubara Indonesia dengan menghilangkan *moisture* menggunakan gelombang mikro, diperoleh beberapa kesimpulan dan saran dari penelitian ini.

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan dari penelitian ini, adalah:

1. Waktu penghilangan *moisture* pada batubara Indonesia dipengaruhi oleh kandungan awal *total moisture* pada batubara. Batubara Melawan (kandungan awal *total moisture*: 24,18 %) memerlukan waktu penghilangan *moisture* yang paling pendek yaitu sekitar 1,5-2 menit pada pemanasan dengan daya 800 W, sedangkan Batubara Pendopo (kandungan *total moisture*: 58,27 %) memerlukan waktu terlama yaitu antara 3-3,5 menit dengan daya pemanasan yang sama.
2. Secara umum berbeda dengan pemanasan termal biasa, pada pemanasan dengan gelombang mikro ukuran partikel batubara yang lebih besar memberikan laju penghilangan *moisture* yang lebih besar dibandingkan dengan batubara yang lebih halus. Hal ini disebabkan *moisture* yang telah menjadi uap akibat gelombang mikro, harus keluar dengan cepat dari celah antar partikel, dimana rongga-rongga antar partikel pada batubara yang lebih halus sangat sempit dibandingkan batubara yang lebih besar.
3. Peningkatan daya menyebabkan peningkatan penyerapan gelombang mikro pada batubara, sehingga laju penghilangan *moisture* akan semakin besar pada waktu pengeringan yang sama. Namun daya gelombang mikro > 640 W tidak memberikan efek pemanasan yang berarti pada batubara yang lebih halus dari 16 mesh.
4. Secara umum, batubara mengalami kenaikan nilai kalor, *volatile matter* dan *fixed carbon* akibat berkurangnya kandungan *total moisture*. Sedangkan *fuel ratio* tidak mengalami perubahan yang signifikan.

5. Penghilangan *moisture* dengan pemanasan gelombang mikro terjadi karena adanya mekanisme polarisasi molekul-molekul polar (air) akibat radiasi gelombang mikro; dan adanya ion-ion pada batubara yang bertumbukan akibat pemberian medan listrik.
6. Dengan menggunakan program SPSS 16 diperoleh persamaan regresi linier berganda:

$$Y = 2,779 + 0,061 X_1 + 0,033 X_2 - 0,005 X_3 + 0,056 X_4$$

dimana:

Y = Waktu penghilangan *moisture* akibat pemanasan gelombang mikro

X_1 = Kandungan *total moisture* batubara awal

X_2 = Ukuran partikel

X_3 = Daya yang diberikan

X_4 = Massa sampel batubara

Persamaan model regresi dapat digunakan untuk memprediksi waktu penghilangan *moisture* akibat pemanasan gelombang mikro; dimana waktu penghilangan *moisture* dipengaruhi oleh kandungan *total moisture*, ukuran partikel dan massa sampel batubara; serta besarnya daya yang diberikan oleh gelombang mikro.

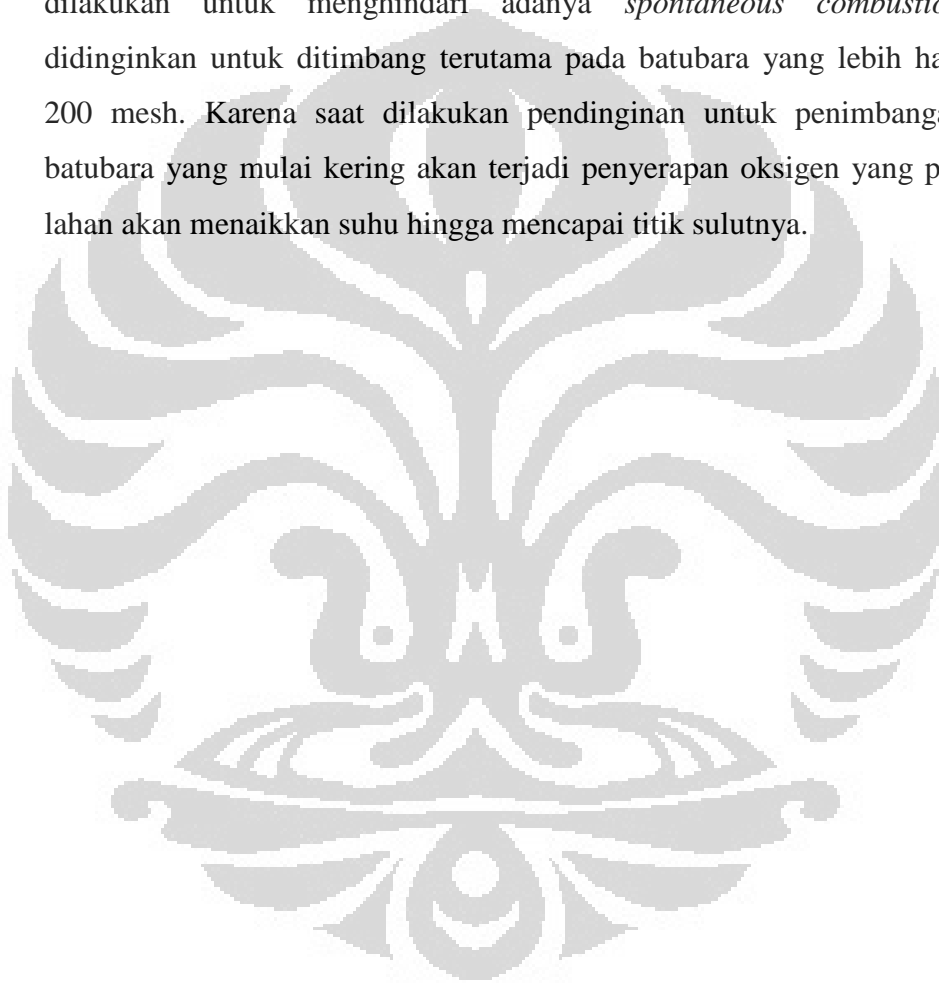
7. *Moisture* re-adsorpsi batubara yang telah mengalami penghilangan *moisture* dengan gelombang mikro tidak dipengaruhi oleh kandungan awal *total moisture*, daya yang diberikan maupun ukuran partikel. Kecuali pada batubara halus berukuran lolos 200 mesh, *moisture* re-adsorpsi mengalami kenaikan paling kecil $< 0,65$ pada batubara yang telah mengalami pemanasan gelombang mikro dengan daya 320 dan 640 W.

5.2 Saran

Setelah penelitian ini, didapat beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai kandungan mineral pada batubara sebelum dan setelah mengalami penghilangan *moisture* dengan gelombang mikro untuk mengetahui pengaruhnya terhadap laju penghilangan *moisture*.

2. *Moisture* re-adsorpsi sebaiknya dilakukan dalam jangka waktu yang lebih lama 1-3 bulan untuk mengetahui efek gelombang mikro terhadap batubara yang telah mengalami penghilangan *moisture*, karena para pelaku tambang juga membutuhkan waktu 1-3 bulan dari batubara ditambang hingga mencapai PLTU.
3. Pemanasan gelombang mikro sebaiknya dihentikan saat prosentase massa yang hilang telah mencapai 1 % wt/ 30 sec atau 2 % wt/ min, hal ini dilakukan untuk menghindari adanya *spontaneous combustion* saat didinginkan untuk ditimbang terutama pada batubara yang lebih halus dari 200 mesh. Karena saat dilakukan pendinginan untuk penimbangan pada batubara yang mulai kering akan terjadi penyerapan oksigen yang perlahan-lahan akan menaikkan suhu hingga mencapai titik sulutnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Adiarso, Darmawan, Priambodo, T. B., Iman, Mataliti, H. J., Komariah, W. E., (2008), *Coal Blending*, Laporan Riset Unggulan Strategis Nasional Pengembangan Energi Baru Terbarukan, Serpong: Universitas Sriwijaya.
- CDIEMR. (2009). *Handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2008*, p.5-6. Jakarta: Center for Data and Information on Energy and Mineral Resources, Ministry Energy and Mineral Resources.
- Considine, Douglas, M. (1977). *Energy Technology Handbook*, p.1.15-1.25, Los Angeles: McGraw Hill Book Company.
- Ewart, Donald L. Jr., Vaughn, Robert, Marston, Marston (2009). Review the Indonesian thermal coal Industry. *World Coal Asia Special*, 16-18. December 2, 2011. <http://www.worldcoal.com/>
- Faisal, Amir, Kristanto, Ari (2008). *Sistem pengukuran kuantitas batubara pada instalasi penyaluran bahan bakar*, laporan kerja praktek, hal 46-49, Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Farady, Caesario (2009). *Analisis pengaruh lingkungan kerja terhadap pekerjaan pemipetan di laboratorium pangan dengan menggunakan metode regresi linier berganda*, skripsi, hal. 47-51. Depok: Universitas Indonesia.
- Hadiyanto, A. (2008). *Perancangan awal pabrik teknologi peningkatan kualitas batubara skala komersial kapasitas 150 ton/jam: unit pengering*, skripsi, hal 12-15. Jawa Barat: Institut Teknologi Bandung.
- Graham, J. (2007). *Microwaves for quality improvement: the drycol project*, DBAGlobal Australia, US Patent Application 20070151147; International Patents Pending.
- Lester, E., Kingman, S. (2004). The effect of microwave pre-heating on five different coals. *Fuel Vol. 83*, p.1941-1947.
- Lowry, H. H. (1963). *Chemistry of Coal Utilization*, Vol.2, p.15-17, New York: Wiley.

- Paramitha, S. S. (2008). *Aplikasi pengadukan ultrasonik dan pemanasan microwave untuk memurnikan karbon nanotube yang disintesis dengan metode dekomposisi katalitik metana*, skripsi, hal. 23-25. Depok: Universitas Indonesia.
- Priyatno, Duwi (2009). *5 jam belajar olah data dengan SPSS 17*, hal. 137-148. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- PT. Adaro, Tbk. (2008). *Annual Report PT. Adaro, Tbk. 2008*, p.7. Oktober 20, 2011. (<http://www.adaro.com/AnnualReport2008/id.html>)
- Sahoo, B. K., De, S., Meikap, B. C. (2011). Improvement of grinding characteristic of Indian coal by microwave pre-treatment. *Fuel Processing Technology Vol. 92*, p.1920-1928.
- Seehra, M. S., Kalra, A., Manivannan, A. (2007). Dewatering of fine coal slurries by selective heating with microwave. *Fuel Vol. 86*, p.829-834.
- Sukandarrumidi (1995). *Batubara dan Gambut*, hal. 20-21. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Tahmasebi, Arash, Yu, Jianglong, Li, Xianchun, Meesri, Chatpol (2011). Experimental study on microwave drying of Chinese and Indonesian low-rank coals. *Fuel Processing Technology Vol 92*, p.1821-1829.
- Xianchun, Li, Song, Hui, Wang, Qi, Meesri, Chatpol, Wall, Terry, Yu, Jianglong (2009). Experimental study on drying and moisture re-adsorption kinetics of an Indonesian low rank coal. *Journal of Environmental Sciences Supplement Vol. 5*, p.127-S130.

Lampiran 1: Data Variasi Massa

1) Batubara Ecocoal ukuran 4 – 16 mesh, massa 5 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6202	36,6245	5,0043	36,2651	56	0,3594	7,18%	
00:30	36,4685	41,4700	5,0015	41,1268	57	0,3432	6,86%	7,02%
01:00	31,6181	36,6185	5,0004	35,9011	68	0,7174	14,35%	
01:00	36,4661	41,4689	5,0028	40,8667	70	0,6022	12,04%	13,19%
01:30	31,6173	36,6205	5,0032	35,7619	78	0,8586	17,16%	
01:30	36,4658	41,4684	5,0026	40,6312	80	0,8372	16,74%	16,95%
02:00	31,6175	36,6219	5,0044	35,3499	93	1,2720	25,42%	
02:00	36,4645	41,4660	5,0015	40,2725	91	1,1935	23,86%	24,64%
02:30	31,6180	36,6191	5,0011	35,2727	87	1,3464	26,92%	
02:30	36,4641	41,4647	5,0006	40,1503	84	1,3144	26,28%	26,60%
03:00	36,4633	41,4666	5,0033	40,0015	103	1,4651	29,28%	
03:00	31,6216	36,6227	5,0011	35,1457	104	1,4770	29,53%	29,41%
03:30	36,4685	41,4697	5,0012	39,9843	107	1,4854	29,70%	
03:30	31,6196	36,6215	5,0019	35,1381	110	1,4834	29,66%	29,68%

2) Batubara Ecocoal ukuran 4 – 16 mesh, massa 10 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6159	41,6170	10,0011	41,0994	63	0,5176	5,18%	
00:30	36,4637	46,4649	10,0012	45,9958	62	0,4691	4,69%	4,93%
01:00	31,6157	41,6165	10,0008	40,6097	66	1,0068	10,07%	
01:00	36,4631	46,4635	10,0004	45,3948	68	1,0687	10,69%	10,38%
01:30	31,6153	41,6187	10,0034	40,0072	75	1,6115	16,11%	
01:30	36,4630	46,4653	10,0023	44,7497	77	1,7156	17,15%	16,63%
02:00	31,6127	41,6135	10,0008	39,2879	86	2,3256	23,25%	
02:00	36,4605	46,4623	10,0018	44,2188	65	2,2435	22,43%	22,84%
02:30	31,6118	41,6129	10,0011	39,0849	93	2,5280	25,28%	
02:30	36,4598	46,4605	10,0007	43,9052	90	2,5553	25,55%	25,41%
03:00	31,6106	41,6114	10,0008	38,8643	85	2,7471	27,47%	
03:00	36,4573	46,4609	10,0036	43,9409	93	2,5200	25,19%	26,33%
03:30	31,6118	41,6132	10,0014	38,7705	99	2,8427	28,42%	
03:30	36,4589	46,4601	10,0012	43,6656	98	2,7945	27,94%	28,18%
04:00	31,6096	41,6123	10,0027	38,5523	99	3,0600	30,59%	
04:00	36,4713	46,4737	10,0024	43,3925	99	3,0812	30,80%	30,70%
04:30	31,6102	41,6125	10,0023	38,4491	111	3,1634	31,63%	
04:30	31,6111	41,6112	10,0001	38,4803	113	3,1309	31,31%	31,47%

(lanjutan)

3) Batubara Ecocoal ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6105	51,6130	20,0025	50,8851	68	0,7279	3,64%	
00:30	36,4616	56,4624	20,0008	55,7831	70	0,6793	3,40%	3,52%
01:00	36,4597	56,4606	20,0009	54,5981	81	1,8625	9,31%	
01:00	36,4579	56,4589	20,0010	54,5599	80	1,8990	9,49%	9,40%
01:30	31,6098	51,6102	20,0004	48,9105	85	2,6997	13,50%	
01:30	36,4586	56,4619	20,0033	53,8377	83	2,6242	13,12%	13,31%
02:00	31,6115	51,6119	20,0004	47,8838	88	3,7281	18,64%	
02:00	31,6180	51,6188	20,0008	48,0377	83	3,5811	17,90%	18,27%
02:30	31,6141	51,6157	20,0016	47,2422	82	4,3735	21,87%	
02:30	36,4581	56,4613	20,0032	52,2651	80	4,1962	20,98%	21,42%
03:00	36,4568	56,4578	20,0010	51,7686	77	4,6892	23,44%	
03:00	31,6095	51,6111	20,0016	47,0405	75	4,5706	22,85%	23,15%
03:30	36,4559	56,4579	20,0020	51,1023	85	5,3556	26,78%	
03:30	31,6093	51,6106	20,0013	46,4557	87	5,1549	25,77%	26,27%
04:00	36,4548	56,4571	20,0023	50,8935	95	5,5636	27,81%	
04:00	31,6104	51,6126	20,0022	45,9398	89	5,6728	28,36%	28,09%
04:30	36,4763	56,4774	20,0011	50,3144	101	6,1630	30,81%	
04:30	31,6075	51,6088	20,0013	45,6034	107	6,0054	30,03%	30,42%
05:00	36,4568	56,4568	20,0000	50,1839	104	6,2729	31,36%	
05:00	31,6064	51,6083	20,0019	45,3993	106	6,2090	31,04%	31,20%

4) Batubara Ecocoal ukuran 4 – 16 mesh, massa 30 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4656	66,4666	30,0010	66,0795	57	0,3871	1,29%	
00:30	36,4636	66,4639	30,0003	66,1121	59	0,3518	1,17%	1,23%
01:00	36,4621	66,4645	30,0024	64,8959	75	1,5686	5,23%	
01:00	36,4616	66,4639	30,0023	64,9015	67	1,5624	5,21%	5,22%
01:30	36,4641	66,4680	30,0039	63,6468	79	2,8212	9,40%	
01:30	36,4613	66,4655	30,0042	63,6047	76	2,8608	9,53%	9,47%
02:00	36,4632	66,4660	30,0028	62,2331	77	4,2329	14,11%	
02:00	36,4619	66,4636	30,0017	62,0995	80	4,3641	14,55%	14,33%
02:30	31,6179	61,6194	30,0015	56,5062	85	5,6132	17,04%	
02:30	31,6142	61,6173	30,0031	56,7327	83	4,8846	16,28%	16,66%
03:00	31,6146	61,6155	30,0009	55,6294	86	5,9861	19,95%	
03:00	36,4654	66,4690	30,0036	60,5361	87	5,9329	19,77%	19,86%
03:30	31,6167	61,6177	30,0010	54,3351	91	7,2826	24,27%	
03:30	36,4701	66,4724	30,0023	59,1323	93	7,3401	24,47%	24,37%
04:00	31,6121	61,6131	30,0010	53,9627	88	7,6504	25,50%	
04:00	31,6141	61,6147	30,0006	53,8189	97	7,7958	25,99%	25,74%
04:30	31,6148	61,6155	30,0007	53,1095	91	8,5060	28,35%	
04:30	31,6131	61,6170	30,0039	53,2893	98	8,3277	27,76%	28,05%
05:00	31,6127	61,6165	30,0038	52,8966	105	8,7199	29,06%	
05:00	36,4596	66,4617	30,0021	57,7215	104	8,7402	29,13%	29,10%
05:30	31,6132	61,6143	30,0011	52,7263	113	8,8880	29,63%	
05:30	36,4589	66,4588	29,9999	57,4277	112	9,0311	30,10%	29,86%

Lampiran 2: Data ukuran partikel lolos 5/8 tertahan 4 mesh pada daya 320 W

1) Batubara Melawan ukuran 5/8 – 4 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4610	56,4642	20,0032	55,5116	73	0,9526	4,76%	
00:30	36,4868	56,4878	20,0010	55,8488	72	0,6390	3,19%	3,98%
01:00	31,6123	51,6162	20,0039	50,1828	81	1,4334	7,17%	
01:00	31,6324	51,6331	20,0007	50,0679	83	1,5652	7,83%	7,50%
01:30	36,4597	56,4462	19,9865	54,3794	85	2,0668	10,34%	
01:30	31,6357	51,6404	20,0047	49,4267	86	2,2137	11,07%	10,70%
02:00	31,6122	51,6137	20,0015	48,5902	86	3,0235	15,12%	
02:00	36,4824	56,4847	20,0023	53,4835	87	3,0012	15,00%	15,06%
02:30	36,4575	56,4579	20,0004	53,0495	93	3,4084	17,04%	
02:30	36,4849	56,4855	20,0006	53,1404	91	3,3451	16,72%	16,88%
03:00	31,6368	51,6409	20,0041	47,8193	96	3,8216	19,10%	
03:00	36,4873	56,4919	20,0046	52,7783	98	3,7136	18,56%	18,83%
03:30	36,4597	56,4604	20,0007	52,5282	105	3,9322	19,66%	
03:30	31,6332	51,6362	20,0030	47,6139	102	4,0223	20,11%	19,88%

2) Batubara Ecocoal ukuran 5/8 – 4 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4909	56,4926	20,0017	55,6689	77	0,8237	4,12%	
00:30	36,4814	56,4835	20,0021	55,7584	75	0,7251	3,63%	3,87%
01:00	36,4871	56,4883	20,0012	54,5937	84	1,8946	9,47%	
01:00	36,4819	56,4823	20,0004	54,4667	82	2,0156	10,08%	9,78%
01:30	36,4868	56,4903	20,0035	53,8745	85	2,6158	13,08%	
01:30	31,6302	51,6336	20,0034	49,0900	87	2,5436	12,72%	12,90%
02:00	36,4857	56,4888	20,0031	52,6755	91	3,8133	19,06%	
02:00	31,6294	51,6341	20,0047	48,0163	96	3,6178	18,08%	18,57%
02:30	36,4841	56,4866	20,0025	51,9947	97	4,4919	22,46%	
02:30	31,6296	51,6327	20,0031	47,2732	95	4,3595	21,79%	22,13%
03:00	31,6388	51,6417	20,0029	46,7549	101	4,8868	24,43%	
03:00	31,6346	51,6377	20,0031	46,5800	102	5,0577	25,28%	24,86%
03:30	31,6356	51,6416	20,0060	46,1968	104	5,4448	27,22%	
03:30	31,6350	51,6385	20,0035	46,2675	105	5,3710	26,85%	27,03%
04:00	31,6344	51,6372	20,0028	45,8468	108	5,7904	28,95%	
04:00	31,6311	51,6335	20,0024	45,9300	111	5,7035	28,51%	28,73%
04:30	31,6341	51,6363	20,0022	45,6103	112	6,0260	30,13%	
04:30	36,4798	56,4816	20,0018	50,6761	114	5,8055	29,02%	29,58%

(lanjutan)

3) Batubara Peranap ukuran 5/8 – 4 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4823	56,4867	20,0044	55,5703	73	0,9164	4,58%	
00:30	31,6272	51,6299	20,0027	50,7797	84	0,8502	4,25%	4,42%
01:00	36,4823	56,4849	20,0026	54,9133	78	1,5716	7,86%	
01:00	31,6256	51,6259	20,0003	49,9559	85	1,6700	8,35%	8,10%
01:30	36,4798	56,4813	20,0015	53,5995	83	2,8818	14,41%	
01:30	36,4762	56,4779	20,0017	53,4213	85	3,0566	15,28%	14,84%
02:00	36,4799	56,4805	20,0006	52,6529	85	3,8276	19,14%	
02:00	31,6268	51,6188	19,9920	47,6379	89	3,9809	19,91%	19,52%
02:30	36,4793	56,4797	20,0004	52,0345	88	4,4452	22,23%	
02:30	36,4752	56,4762	20,0010	51,8214	86	4,6548	23,27%	22,75%
03:00	31,6311	51,6346	20,0035	46,5454	94	5,0892	25,44%	
03:00	36,4731	56,4746	20,0015	51,5522	97	4,9224	24,61%	25,03%
03:30	31,6316	51,6358	20,0042	46,2569	97	5,3789	26,89%	
03:30	31,6229	51,6267	20,0038	46,0459	96	5,5808	27,90%	27,39%
04:00	31,6300	51,6345	20,0045	45,7786	97	5,8559	29,27%	
04:00	31,6237	51,6267	20,0030	45,4915	99	6,1352	30,67%	29,97%
04:30	31,6286	51,6307	20,0021	44,9440	104	6,6867	33,43%	
04:30	36,4740	56,4767	20,0027	49,6555	105	6,8212	34,10%	33,77%
05:00	31,6278	51,6305	20,0027	44,2747	112	7,3558	36,77%	
05:00	36,4740	56,4768	20,0028	49,2675	107	7,2093	36,04%	36,41%
05:30	36,4790	56,4811	20,0021	48,6437	112	7,8374	39,18%	
05:30	36,4749	56,4753	20,0004	48,7054	117	7,7699	38,85%	39,02%
06:00	31,6254	51,6291	20,0037	43,5298	112	8,0993	40,49%	
06:00	31,6264	51,6293	20,0029	43,7254	123	7,9039	39,51%	40,00%

(lanjutan)

4) Batubara Pendopo ukuran 5/8 – 4 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4772	56,4815	20,0043	55,1707	73	1,3108	6,55%	
00:30	36,4861	56,4880	20,0019	55,2555	77	1,2325	6,16%	6,36%
01:00	36,4761	56,4795	20,0034	54,0735	86	2,4060	12,03%	
01:00	36,4856	56,4896	20,0040	54,1362	85	2,3534	11,76%	11,90%
01:30	31,6268	51,6296	20,0028	48,2136	86	3,4160	17,08%	
01:30	36,4840	56,4846	20,0006	52,9055	88	3,5791	17,89%	17,49%
02:00	31,6264	51,6298	20,0034	46,8353	97	4,7945	23,97%	
02:00	31,6308	51,6355	20,0047	46,3858	95	5,2497	26,24%	25,11%
02:30	31,6262	51,6307	20,0045	45,8103	98	5,8204	29,10%	
02:30	36,4778	56,4786	20,0008	50,6989	99	5,7797	28,90%	29,00%
03:00	31,6277	51,6298	20,0021	45,3985	100	6,2313	31,15%	
03:00	31,6324	51,6357	20,0033	45,2441	101	6,3916	31,95%	31,55%
03:30	36,4767	56,4799	20,0032	49,4778	99	7,0021	35,00%	
03:30	31,6337	51,6349	20,0012	44,4112	99	7,2237	36,12%	35,56%
04:00	36,4765	56,4811	20,0046	48,5948	93	7,8863	39,42%	
04:00	36,4808	56,4854	20,0046	48,3491	97	8,1363	40,67%	40,05%
04:30	36,4760	56,4788	20,0028	47,8031	104	8,6757	43,37%	
04:30	36,4805	56,4847	20,0042	47,7634	108	8,7213	43,60%	43,48%
05:00	36,4761	56,4765	20,0004	47,2185	107	9,2580	46,29%	
05:00	36,4762	56,4799	20,0037	47,3184	113	9,1615	45,80%	46,04%
05:30	36,4758	56,4771	20,0013	46,9477	103	9,5294	47,64%	
05:30	36,4780	56,4814	20,0034	46,9637	105	9,5177	47,58%	47,61%
06:00	36,4758	56,4760	20,0002	46,5579	109	9,9181	49,59%	
06:00	36,4835	56,4838	20,0003	46,5010	110	9,9828	49,91%	49,75%
06:30	36,4764	56,4772	20,0008	46,5029	110	9,9743	49,87%	
06:30	31,6231	51,6235	20,0004	41,6198	110	10,0037	50,02%	49,94%

**Lampiran 3: Data ukuran partikel lolos 4 tertahan 16 mesh
pada daya 320 W**

1) Batubara Melawan ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6266	51,6296	20,0030	50,9533	94	0,6763	3,38%	
00:30	31,6225	51,6235	20,0010	50,9568	89	0,6667	3,33%	3,36%
01:00	31,6262	51,6302	20,0040	50,2212	89	1,4090	7,04%	
01:00	31,6248	51,6251	20,0003	50,1852	93	1,4399	7,20%	7,12%
01:30	36,4733	56,4779	20,0046	54,3693	92	2,1086	10,54%	
01:30	36,4742	56,4754	20,0012	54,4902	97	1,9852	9,93%	10,23%
02:00	36,4754	56,4763	20,0009	53,3607	103	3,1156	15,58%	
02:00	31,6226	51,6228	20,0002	48,6573	99	2,9655	14,83%	15,20%
02:30	36,4768	56,4795	20,0027	53,1617	105	3,3178	16,59%	
02:30	36,4766	56,4757	19,9991	53,1410	104	3,3347	16,67%	16,63%
03:00	31,6258	51,6279	20,0021	47,8635	109	3,7644	18,82%	
03:00	36,4714	56,4753	20,0039	52,9321	110	3,5432	17,71%	18,27%
03:30	36,4756	56,4757	20,0001	52,5011	110	3,9746	19,87%	
03:30	36,4779	56,4821	20,0042	52,4525	110	4,0296	20,14%	20,01%
04:00	36,4746	56,4769	20,0023	52,2002	115	4,2767	21,38%	
04:00	31,6223	51,6248	20,0025	47,5306	117	4,0942	20,47%	20,92%

2) Batubara Ecocoal ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6105	51,6130	20,0025	50,8851	68	0,7279	3,64%	
00:30	36,4616	56,4624	20,0008	55,7831	70	0,6793	3,40%	3,52%
01:00	36,4597	56,4606	20,0009	54,5981	81	1,8625	9,31%	
01:00	36,4579	56,4589	20,0010	54,5599	80	1,8990	9,49%	9,40%
01:30	31,6098	51,6102	20,0004	48,9105	85	2,6997	13,50%	
01:30	36,4586	56,4619	20,0033	53,8377	83	2,6242	13,12%	13,31%
02:00	31,6115	51,6119	20,0004	47,8838	88	3,7281	18,64%	
02:00	31,6180	51,6188	20,0008	48,0377	83	3,5811	17,90%	18,27%
02:30	31,6141	51,6157	20,0016	47,2422	82	4,3735	21,87%	
02:30	36,4581	56,4613	20,0032	52,2651	80	4,1962	20,98%	21,42%
03:00	36,4568	56,4578	20,0010	51,7686	77	4,6892	23,44%	
03:00	31,6095	51,6111	20,0016	47,0405	75	4,5706	22,85%	23,15%
03:30	36,4559	56,4579	20,0020	51,1023	85	5,3556	26,78%	
03:30	31,6093	51,6106	20,0013	46,4557	87	5,1549	25,77%	26,27%
04:00	36,4548	56,4571	20,0023	50,8935	95	5,5636	27,81%	
04:00	31,6104	51,6126	20,0022	45,9398	89	5,6728	28,36%	28,09%
04:30	36,4763	56,4774	20,0011	50,3144	101	6,1630	30,81%	
04:30	31,6075	51,6088	20,0013	45,6034	107	6,0054	30,03%	30,42%
05:00	36,4568	56,4568	20,0000	50,1839	104	6,2729	31,36%	
05:00	31,6064	51,6083	20,0019	45,3993	106	6,2090	31,04%	31,20%

(lanjutan)

3) Batubara Peranap ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6242	51,6281	20,0039	51,0778	78	0,5503	2,75%	
00:30	31,6208	51,6229	20,0021	50,9613	86	0,6616	3,31%	3,03%
01:00	31,6268	51,6274	20,0006	49,8543	90	1,7731	8,87%	
01:00	31,6161	51,6190	20,0029	49,8971	99	1,7219	8,61%	8,74%
01:30	31,6165	51,6179	20,0014	49,0208	100	2,5971	12,98%	
01:30	36,4653	56,4666	20,0013	54,3397	99	2,1269	10,63%	11,81%
02:00	31,6181	51,6196	20,0015	47,9847	100	3,6349	18,17%	
02:00	36,4636	56,4671	20,0035	52,8477	101	3,6194	18,09%	18,13%
02:30	31,6184	51,6194	20,0010	47,3167	101	4,3027	21,51%	
02:30	36,4635	56,4652	20,0017	52,2257	100	4,2395	21,20%	21,35%
03:00	36,4695	56,4699	20,0004	51,4238	99	5,0461	25,23%	
03:00	36,4630	56,4651	20,0021	51,5791	100	4,8860	24,43%	24,83%
03:30	36,4656	56,4667	20,0011	50,5058	91	5,9609	29,80%	
03:30	31,6135	51,6149	20,0014	45,6844	90	5,9305	29,65%	29,73%
04:00	36,4663	56,4666	20,0003	50,2421	101	6,2245	31,12%	
04:00	31,6139	51,6159	20,0020	45,1367	104	6,4792	32,39%	31,76%
04:30	31,6156	51,6175	20,0019	44,7264	105	6,8911	34,45%	
04:30	36,4663	56,4663	20,0000	49,6063	107	6,8600	34,30%	34,38%
05:00	36,4735	56,4758	20,0023	49,3299	109	7,1459	35,73%	
05:00	36,4647	56,4655	20,0008	49,2754	113	7,1901	35,95%	35,84%
05:30	31,6222	51,6228	20,0006	44,4143	115	7,2085	36,04%	
05:30	36,4622	56,4639	20,0017	49,1605	114	7,3034	36,51%	36,28%

4) Batubara Pendopo ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+	SAMPEL	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg	% Massa yg	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4635	56,4674	20,0039	55,9438	82	0,5236	2,62%	
00:30	36,4613	56,4641	20,0028	56,0678	74	0,3963	1,98%	2,30%
01:00	36,4619	56,4622	20,0003	55,0525	87	1,4097	7,05%	
01:00	36,4608	56,4611	20,0003	54,7471	86	1,7140	8,57%	7,81%
01:30	36,4612	56,4644	20,0032	53,9147	87	2,5497	12,75%	
01:30	31,6138	51,6177	20,0039	49,0351	88	2,5826	12,91%	12,83%
02:00	31,6133	51,6159	20,0026	47,6011	89	4,0148	20,07%	
02:00	36,4602	56,4614	20,0012	52,1701	89	4,2913	21,46%	20,76%
02:30	31,6151	51,6168	20,0017	46,3425	86	5,2743	26,37%	
02:30	31,6144	51,6164	20,0020	46,4985	88	5,1179	25,59%	25,98%
03:00	31,6139	51,6141	20,0002	45,5535	86	6,0606	30,30%	
03:00	31,6136	51,6169	20,0033	45,7149	89	5,9020	29,51%	29,90%
03:30	31,6138	51,6143	20,0005	44,6211	98	6,9932	34,97%	
03:30	36,4600	56,4612	20,0012	49,6244	100	6,8368	34,18%	34,57%
04:00	31,6139	51,6166	20,0027	44,0984	100	7,5182	37,59%	
04:00	36,4605	56,4636	20,0031	49,1071	100	7,3565	36,78%	37,18%
04:30	36,4605	56,4616	20,0011	48,3571	105	8,1045	40,52%	
04:30	31,6116	51,6136	20,0020	43,6997	100	7,9139	39,57%	40,04%
05:00	36,4588	56,4593	20,0005	47,8021	109	8,6572	43,28%	
05:00	36,4593	56,4606	20,0013	47,7535	112	8,7071	43,53%	43,41%
05:30	31,6129	51,6154	20,0025	42,4945	121	9,1209	45,60%	
05:30	36,4700	56,4701	20,0001	47,5651	127	8,9050	44,52%	45,06%
06:00	31,6118	51,6153	20,0035	41,9461	134	9,6692	48,34%	
06:00	31,6131	51,6139	20,0008	42,1508	131	9,4631	47,31%	47,83%
06:30	36,4587	56,4591	20,0004	46,5525	134	9,9066	49,53%	
06:30	36,4679	56,4686	20,0007	46,5427	131	9,9259	49,63%	49,58%
07:00	31,6209	51,6232	20,0023	41,6361	127	9,9871	49,93%	
07:00	31,6186	51,6199	20,0013	41,6335	140	9,9864	49,93%	49,93%

**Lampiran 4: Data ukuran partikel lolos 16 tertahan 60 mesh
pada daya 320 W**

1) Batubara Melawan ukuran 16 – 60 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6154	51,6156	20,0002	51,1887	79	0,4269	2,13%	
00:30	36,4751	56,4771	20,0020	56,0628		0,4143	2,07%	2,10%
01:00	31,6142	51,6151	20,0009	50,4451	83	1,1700	5,85%	
01:00	31,6253	51,6262	20,0009	50,4089	79	1,2173	6,09%	5,97%
01:30	36,4854	56,4868	20,0014	54,3077	86	2,1791	10,89%	
01:30	36,4814	56,4824	20,0010	54,8577	84	1,6247	8,12%	9,51%
02:00	36,4830	56,4846	20,0016	53,5651	83	2,9195	14,60%	
02:00	31,6311	51,6325	20,0014	48,6947	87	2,9378	14,69%	14,64%
02:30	31,6343	51,6352	20,0009	48,1185	84	3,5167	17,58%	
02:30	31,6255	51,6259	20,0004	48,3558	94	3,2701	16,35%	16,97%
03:00	31,6256	51,6263	20,0007	47,8959	103	3,7304	18,65%	
03:00	36,4752	56,4761	20,0009	52,8323	104	3,6438	18,22%	18,43%
03:30	31,6295	51,6297	20,0002	47,7991	111	3,8306	19,15%	
03:30	36,4807	56,4812	20,0005	52,6029	113	3,8783	19,39%	19,27%

2) Batubara Ecocoal ukuran 16 – 60 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6188	51,6194	20,0006	50,8894	86	0,7300	3,65%	
00:30	36,4646	56,4653	20,0007	56,0161	85	0,4492	2,25%	2,95%
01:00	36,4638	56,4644	20,0006	55,1735	87	1,2909	6,45%	
01:00	36,4631	56,4641	20,0010	55,2574	84	1,2067	6,03%	6,24%
01:30	31,6155	51,6164	20,0009	49,4315	88	2,1849	10,92%	
01:30	36,4629	56,4636	20,0007	54,4795	88	1,9841	9,92%	10,42%
02:00	31,6152	51,6153	20,0001	48,3167	89	3,2986	16,49%	
02:00	31,6156	51,6159	20,0003	48,2545	82	3,3614	16,81%	16,65%
02:30	31,6166	51,6175	20,0009	47,7077	95	3,9098	19,55%	
02:30	31,6157	51,6159	20,0002	47,7835	94	3,8324	19,16%	19,35%
03:00	36,4673	56,4682	20,0009	51,8292	96	4,6390	23,19%	
03:00	31,6143	51,6144	20,0001	47,1377	97	4,4767	22,38%	22,79%
03:30	36,4627	56,4629	20,0002	51,4625	100	5,0004	25,00%	
03:30	36,4587	56,4596	20,0009	51,6068	102	4,8528	24,26%	24,63%
04:00	36,4625	56,4629	20,0004	51,1337	108	5,3292	26,65%	
04:00	36,4621	56,4628	20,0007	51,2084	110	5,2544	26,27%	26,46%
04:30	36,4619	56,4622	20,0003	50,9595	112	5,5027	27,51%	
04:30	31,6241	51,6252	20,0011	46,2277	117	5,3975	26,99%	27,25%

(lanjutan)

3) Batubara Peranap ukuran 16 – 60 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6289	51,6305	20,0016	51,2637	76	0,3668	1,83%	
00:30	31,6356	51,6359	20,0003	51,1208	78	0,5151	2,58%	2,20%
01:00	36,4796	56,4801	20,0005	55,4411	80	1,0390	5,19%	
01:00	36,4859	56,4863	20,0004	55,1465	82	1,3398	6,70%	5,95%
01:30	31,6304	51,6305	20,0001	49,8859	79	1,7446	8,72%	
01:30	36,4840	56,4851	20,0011	54,6452	82	1,8399	9,20%	8,96%
02:00	31,6292	51,6317	20,0025	48,6743	83	2,9574	14,79%	
02:00	31,6330	51,6334	20,0004	48,4811	84	3,1523	15,76%	15,27%
02:30	36,4800	56,4809	20,0009	52,9069	90	3,5740	17,87%	
02:30	31,6316	51,6325	20,0009	47,9671	92	3,6654	18,33%	18,10%
03:00	36,4817	56,4823	20,0006	52,1823	85	4,3000	21,50%	
03:00	36,4825	56,4827	20,0002	51,9910	99	4,4917	22,46%	21,98%
03:30	36,4790	56,4807	20,0017	51,6322	101	4,8485	24,24%	
03:30	31,6302	51,6305	20,0003	46,4815	99	5,1490	25,74%	24,99%
04:00	36,4762	56,4763	20,0001	50,8591	96	5,6172	28,09%	
04:00	36,4810	56,4814	20,0004	50,8528	96	5,6286	28,14%	28,11%
04:30	31,6296	51,6298	20,0002	45,3271	94	6,3027	31,51%	
04:30	36,4775	56,4778	20,0003	50,3119	87	6,1659	30,83%	31,17%
05:30	31,6256	51,6257	20,0001	44,8765	109	6,7492	33,75%	
05:00	36,4790	56,4794	20,0004	49,7053	105	6,7741	33,87%	33,81%
05:30	31,6253	51,6255	20,0002	44,3743	117	7,2512	36,26%	
05:30	36,4781	56,4785	20,0004	49,3954	112	7,0831	35,41%	35,84%
06:00	36,4746	56,4755	20,0009	48,7289	125	7,7466	38,73%	
06:00	31,6290	51,6291	20,0001	43,9911	119	7,6380	38,19%	38,46%
06:30	36,4745	56,4752	20,0007	48,5753	127	7,8999	39,50%	
06:30	36,4768	56,4770	20,0002	48,5831	117	7,8939	39,47%	39,48%

4) Batubara Pendopo ukuran 16 – 60 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+	SAMPEL	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg	% Massa yg	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6277	51,6285	20,0008	51,1485	73	0,4800	2,40%	
00:30	31,6329	51,6336	20,0007	51,1563	74	0,4773	2,39%	2,39%
01:00	36,4774	56,4784	20,0010	55,3328	81	1,1456	5,73%	
01:00	36,4833	56,4838	20,0005	55,3861	82	1,0977	5,49%	5,61%
01:30	36,4798	56,4801	20,0003	54,5862	84	1,8939	9,47%	
01:30	36,4815	56,4817	20,0002	54,4147	85	2,0670	10,33%	9,90%
02:00	36,4812	56,4826	20,0014	53,1201	89	3,3625	16,81%	
02:00	31,6310	51,6317	20,0007	48,1173	90	3,5144	17,57%	17,19%
02:30	31,6303	51,6309	20,0006	47,1591	92	4,4718	22,36%	
02:30	31,6294	51,6297	20,0003	47,3205	88	4,3092	21,55%	21,95%
03:00	31,6288	51,6289	20,0001	46,3651	96	5,2638	26,32%	
03:00	36,4795	56,4797	20,0002	51,3331	94	5,1466	25,73%	26,03%
03:30	36,4793	56,4801	20,0008	50,5551	97	5,9250	29,62%	
03:30	36,4784	56,4789	20,0005	50,4821	96	5,9968	29,98%	29,80%
04:00	31,6289	51,6309	20,0020	45,0143	98	6,6166	33,08%	
04:00	31,6291	51,6297	20,0006	44,8888	94	6,7409	33,70%	33,39%
04:30	36,4784	56,4791	20,0007	49,1081	97	7,3710	36,85%	
04:30	36,4757	56,4761	20,0004	49,3675	101	7,1086	35,54%	36,20%
05:00	31,6255	51,6256	20,0001	43,7044	100	7,9212	39,61%	
05:00	31,6248	51,6252	20,0004	43,8947	102	7,7305	38,65%	39,13%
05:30	36,4774	56,4775	20,0001	48,4355	104	8,0420	40,21%	
05:30	31,6275	51,6282	20,0007	43,6523	106	7,9759	39,88%	40,04%

**Lampiran 5: Data ukuran partikel lolos 200 tertahan 325 mesh
pada daya 320 W**

1) Batubara Melawan ukuran 200 – 325 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	37,0038	57,0039	20,0001	56,7983	68	0,2056	1,03%	
00:30	31,6272	51,6299	20,0027	51,3797	70	0,2502	1,25%	1,14%
01:00	38,5886	58,5888	20,0002	57,9865	77	0,6023	3,01%	
01:00	36,4814	56,4835	20,0021	55,7584	75	0,7251	3,63%	3,32%
01:30	37,0016	57,0017	20,0001	55,7657	85	1,2360	6,18%	
01:30	31,6123	51,6162	20,0039	50,2828	87	1,3334	6,67%	6,42%
02:00	38,6091	58,6092	20,0001	55,6843	90	2,9249	14,62%	
02:00	36,4824	56,4847	20,0023	53,4835	87	3,0012	15,00%	14,81%
02:30	37,6404	57,6404	20,0000	54,0096	103	3,6308	18,15%	
02:30	38,8198	58,8199	20,0001	55,2727	101	3,5472	17,74%	17,94%
03:00	38,7565	58,7567	20,0002	54,6527	107	4,1040	20,52%	
03:00	31,3908	51,3908	20,0000	47,2813	109	4,1095	20,55%	20,53%
03:30	38,8266	58,8267	20,0001	54,4076	113	4,4191	22,10%	
03:30	38,8654	58,8655	20,0001	54,5421	130	4,3234	21,62%	21,86%

2) Batubara Ecocoal ukuran 200 – 325 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4097	56,4097	20,0000	56,0350	64	0,3747	1,87%	
00:30	36,4058	56,4058	20,0000	56,1174	66	0,2884	1,44%	1,66%
01:00	38,8452	58,8453	20,0001	57,6711	78	1,1742	5,87%	
01:00	31,3724	51,3725	20,0001	50,5413	80	0,8312	4,16%	5,01%
01:30	36,9892	56,9896	20,0004	55,7433	83	1,2463	6,23%	
01:30	38,8440	58,8440	20,0000	57,4115	84	1,4325	7,16%	6,70%
02:00	37,6057	57,6057	20,0000	55,0666	89	2,5391	12,70%	
02:00	36,9854	56,9854	20,0000	54,5702	90	2,4152	12,08%	12,39%
02:30	38,5746	58,5746	20,0000	55,4531	92	3,1215	15,61%	
02:30	38,5697	58,5698	20,0001	55,6933	93	2,8765	14,38%	14,99%
03:00	38,7210	58,7210	20,0000	54,7330	96	3,9880	19,94%	
03:00	38,7918	58,7919	20,0001	54,5946	98	4,1973	20,99%	20,46%
03:30	35,6075	55,6077	20,0002	50,9215	100	4,6862	23,43%	
03:30	37,6488	57,6488	20,0000	52,9474	101	4,7014	23,51%	23,47%
04:00	38,7651	58,7651	20,0000	53,9592	110	4,8059	24,03%	
04:00	31,4008	51,4010	20,0002	46,4789	113	4,9221	24,61%	24,71%
04:30	38,8367	58,8371	20,0004	53,7575	113	5,0796	25,40%	
04:30	38,6142	58,6142	20,0000	53,4454	114	5,1688	25,84%	25,23%

(lanjutan)

3) Batubara Peranap ukuran 200 – 325 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+	SAMPEL	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg	% Massa yg	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	38,8589	58,8591	20,0002	58,6225	70	0,2366	1,18%	
00:30	36,6277	56,6278	20,0001	56,3438	72	0,2840	1,42%	1,30%
01:00	36,6329	56,6331	20,0002	56,0363	77	0,5968	2,98%	
01:00	36,6268	56,6270	20,0002	55,8954	80	0,7316	3,66%	3,32%
01:30	36,0535	56,0536	20,0001	55,1521	83	0,9015	4,51%	
01:30	36,4833	56,4835	20,0002	55,4861	82	0,9974	4,99%	4,75%
02:00	36,6292	56,6293	20,0001	54,8743	85	1,7550	8,77%	
02:00	36,4608	56,4611	20,0003	54,7471	86	1,7140	8,57%	8,67%
02:30	36,4279	56,4282	20,0003	54,0057	88	2,4225	12,11%	
02:30	36,6292	56,6317	20,0025	54,0743	87	2,5574	12,79%	12,45%
03:00	36,4559	56,4560	20,0001	53,1223	90	3,3337	16,67%	
03:00	36,4635	56,4635	20,0000	53,2257	89	3,2378	16,19%	16,43%
03:30	37,0074	57,0075	20,0001	53,1463	92	3,8612	19,31%	
03:30	36,4602	56,4614	20,0012	52,3701	89	4,0913	20,46%	19,88%
04:00	36,4673	56,4674	20,0001	51,8293	96	4,6381	23,19%	
04:00	36,6302	56,6305	20,0003	51,9989	95	4,6316	23,16%	23,17%
04:30	38,5931	58,5933	20,0002	53,2902	99	5,3031	26,52%	
04:30	36,4810	56,4814	20,0004	51,2528	96	5,2286	26,14%	26,33%
05:00	36,4767	56,4769	20,0002	50,8776	99	5,5993	28,00%	
05:00	36,6135	56,6136	20,0001	50,9844	100	5,6292	28,15%	28,07%
05:30	38,8124	58,8126	20,0002	52,6761	99	6,1365	30,68%	
05:30	36,4781	56,4785	20,0004	50,3954	102	6,0831	30,41%	30,55%
06:00	36,4784	56,4786	20,0002	49,4081	107	7,0705	35,35%	
06:00	36,4768	56,4770	20,0002	49,5831	104	6,8939	34,47%	34,91%
06:30	36,0535	56,0536	20,0001	48,3607	111	7,6929	38,46%	
06:30	38,4167	58,4169	20,0002	50,7677	109	7,6492	38,25%	38,35%
07:00	38,4111	58,4113	20,0002	50,5257	117	7,8856	39,43%	
07:00	36,4343	56,4345	20,0002	48,5894	118	7,8451	39,23%	39,33%

(lanjutan)

4) Batubara Pendopo ukuran 200 – 325 mesh, massa 20 g dan P = 320 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,0673	56,0673	20,0000	55,7222	67	0,3451	1,73%	
00:30	31,6225	51,6225	20,0000	51,1568	69	0,4657	2,33%	2,03%
01:00	36,4440	56,4442	20,0002	55,7102	82	0,7340	3,67%	
01:00	36,4861	56,4862	20,0001	55,5555	77	0,9307	4,65%	4,16%
01:30	35,5985	55,5985	20,0000	54,1960	88	1,4025	7,01%	
01:30	36,4579	56,4580	20,0001	54,7599	86	1,6981	8,49%	7,75%
02:00	38,8715	58,8715	20,0000	55,9936	89	2,8779	14,39%	
02:00	36,4840	56,4840	20,0000	53,5355	88	2,9485	14,74%	14,57%
02:30	37,0215	57,0215	20,0000	53,3072	92	3,7143	18,57%	
02:30	31,6157	51,6159	20,0002	47,7835	94	3,8324	19,16%	18,87%
03:00	38,6075	58,6076	20,0001	54,3200	96	4,2876	21,44%	
03:00	36,4635	56,4636	20,0001	52,0257	100	4,4379	22,19%	21,81%
03:30	37,6383	57,6384	20,0001	52,0854	101	5,5530	27,76%	
03:30	36,4778	56,4778	20,0000	50,6989	99	5,7789	28,89%	28,33%
04:00	38,7548	58,7548	20,0000	52,3420	103	6,4128	32,06%	
04:00	31,6139	51,6139	20,0000	45,2367	104	6,3772	31,89%	31,98%
04:30	38,8259	58,8259	20,0000	51,0579	109	7,7680	38,84%	
04:30	31,6290	51,6291	20,0001	43,9911	119	7,6380	38,19%	38,51%
05:00	36,4319	56,4319	20,0000	48,0640	110	8,3679	41,84%	
05:00	36,4593	56,4594	20,0001	47,8535	112	8,6059	43,03%	42,43%
05:30	35,5891	55,5892	20,0001	46,4909	117	9,0983	45,49%	
05:30	38,8661	58,8662	20,0001	49,6811	118	9,1851	45,93%	45,71%
06:00	38,6016	58,6017	20,0001	49,1635	121	9,4382	47,19%	
06:00	36,4700	56,4701	20,0001	47,1651	127	9,3050	46,52%	46,86%

Lampiran 6: Data ukuran partikel lolos 5/8 tertahan 4 mesh pada daya 640 W

1) Batubara Melawan ukuran 5/8 – 4 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4803	56,4815	20,0012	55,6123	75	0,8692	4,35%	
00:30	31,6283	51,6283	20,0000	50,7957	75	0,8326	4,16%	4,25%
01:00	31,6301	51,6306	20,0005	49,3590	82	2,2716	11,36%	
01:00	36,4785	56,4797	20,0012	54,0711	84	2,4086	12,04%	11,70%
01:30	31,6288	51,6305	20,0017	48,0129	96	3,6176	18,09%	
01:30	31,6266	51,6282	20,0016	48,2289	98	3,3993	17,00%	17,54%
02:00	36,4783	56,4800	20,0017	52,3119	101	4,1681	20,84%	
02:00	36,4763	56,4786	20,0023	52,5061	103	3,9725	19,86%	20,35%
02:30	36,4759	56,4766	20,0007	52,2838	139	4,1928	20,96%	
02:30	36,4745	56,4757	20,0012	52,1383	125	4,3374	21,69%	21,32%

2) Batubara Ecocoal ukuran 5/8 – 4 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6340	51,6355	20,0015	49,9865	78	1,6490	8,24%	
00:30	31,6322	51,6322	20,0000	50,1502	80	1,4820	7,41%	7,83%
01:00	36,4859	56,4887	20,0028	52,9614	83	3,5273	17,63%	
01:00	36,4813	56,4814	20,0001	52,5928	91	3,8886	19,44%	18,54%
01:30	31,6322	51,6325	20,0003	46,8226	96	4,8099	24,05%	
01:30	31,6317	51,6317	20,0000	46,5653	100	5,0664	25,33%	24,69%
02:00	36,4815	56,4829	20,0014	50,6159	109	5,8670	29,33%	
02:00	36,4816	56,4847	20,0031	50,3512	110	6,1335	30,66%	30,00%
02:30	31,6315	51,6351	20,0036	45,4812	130	6,1539	30,76%	
02:30	36,4821	56,4827	20,0006	50,2794	127	6,2033	31,02%	30,89%

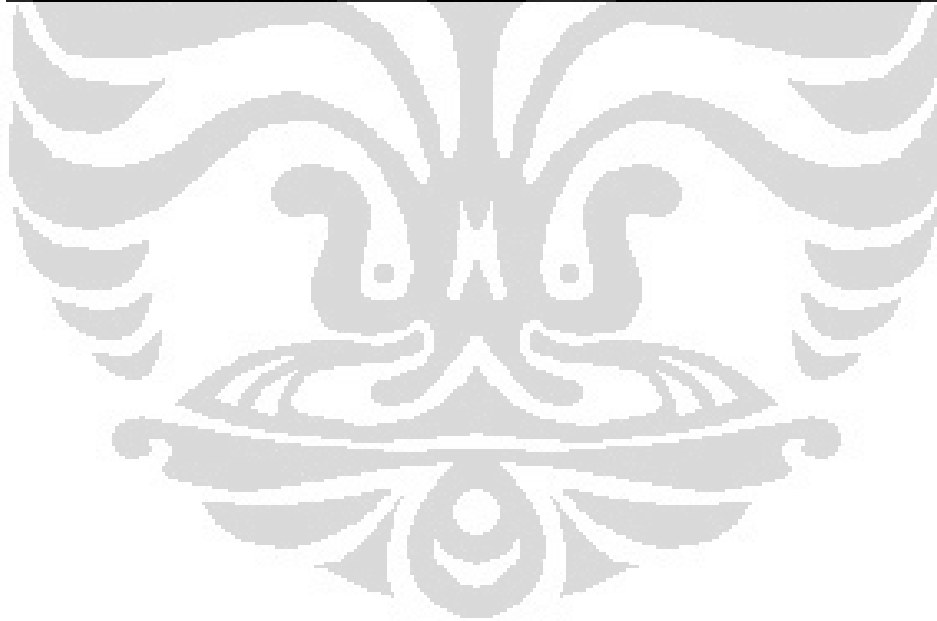
3) Batubara Peranap ukuran 5/8 – 4 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4736	56,4748	20,0012	55,3263	82	1,1485	5,74%	
00:30	31,6389	51,6383	19,9994	50,3725	85	1,2658	6,33%	6,04%
01:00	31,6248	51,6264	20,0016	48,1572	88	3,4692	17,34%	
01:00	36,4884	56,4906	20,0022	52,7519	88	3,7387	18,69%	18,02%
01:30	36,4719	56,4757	20,0038	51,6846	96	4,7911	23,95%	
01:30	31,6365	51,6383	20,0018	46,5823	96	5,0560	25,28%	24,61%
02:00	31,6234	51,6266	20,0032	46,0056	102	5,6210	28,10%	
02:00	31,6356	51,6366	20,0010	45,8856	99	5,7510	28,75%	28,43%
02:30	36,4718	56,4737	20,0019	49,5598	111	6,9139	34,57%	
02:30	36,4873	56,4899	20,0026	49,3389	119	7,1510	35,75%	35,16%
03:00	36,4851	56,4857	20,0006	48,6780	119	7,8077	39,04%	
03:00	36,4802	56,4804	20,0002	48,4754	121	8,0050	40,02%	39,53%
03:30	36,4723	56,4746	20,0023	48,3129	129	8,1617	40,80%	
03:30	31,6344	51,6351	20,0007	43,5471	150	8,0880	40,44%	40,62%

(lanjutan)

4) Batubara Pendopo ukuran 5/8 – 4 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4885	56,4891	20,0006	54,8470	77	1,6421	8,21%	
00:30	31,6315	51,6324	20,0009	49,6029	80	2,0295	10,15%	9,18%
01:00	31,6376	51,6391	20,0015	47,3946	82	4,2445	21,22%	
01:00	36,4818	56,4821	20,0003	51,9026	89	4,5795	22,90%	22,06%
01:30	36,4868	56,4875	20,0007	50,5214	94	5,9661	29,83%	
01:30	36,4797	56,4805	20,0008	50,6075	96	5,8730	29,36%	29,60%
02:00	31,6367	51,6385	20,0018	44,1932	98	7,4453	37,22%	
02:00	31,6311	51,6325	20,0014	44,1956	100	7,4369	37,18%	37,20%
02:30	31,6342	51,6372	20,0030	42,9427	101	8,6945	43,47%	
02:30	36,4792	56,4792	20,0000	48,0349	102	8,4443	42,22%	42,84%
03:00	31,6301	51,6319	20,0018	42,2682	112	9,3637	46,81%	
03:00	36,4757	56,4761	20,0004	47,1651	110	9,3110	46,55%	46,68%
03:30	31,6292	51,6295	20,0003	41,7171	135	9,9124	49,56%	
03:30	36,4793	56,4800	20,0007	46,5199	138	9,9601	49,80%	49,68%
04:00	31,6298	51,6313	20,0015	41,1395	143	10,4918	52,46%	
04:00	31,6292	51,6325	20,0033	41,1003	157	10,5322	52,65%	52,55%
04:30	36,4795	56,4815	20,0020	45,9241		10,5574	52,78%	
04:30	31,6336	51,6359	20,0023	40,9231	173	10,7128	53,56%	53,17%



**Lampiran 7: Data ukuran partikel lolos 4 tertahan 16 mesh
pada daya 640 W**

1) Batubara Melawan ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6242	51,6255	20,0013	50,2565	78	1,3690	6,84%	
00:30	31,6268	51,6272	20,0004	50,3613	82	1,2659	6,33%	6,59%
01:00	36,4739	56,4748	20,0009	53,6947	94	2,7801	13,90%	
01:00	31,6249	51,6249	20,0000	49,0408	88	2,5841	12,92%	13,41%
01:30	36,4721	56,4745	20,0024	52,9183	106	3,5562	17,78%	
01:30	36,4747	56,4769	20,0022	53,1317	102	3,3452	16,72%	17,25%
02:00	31,6229	51,6229	20,0000	47,4846	117	4,1383	20,69%	
02:00	31,6249	51,6253	20,0004	47,5467	113	4,0786	20,39%	20,54%
02:30	36,4707	56,4726	20,0019	51,9931	130	4,4795	22,40%	
02:30	36,4733	56,4741	20,0008	52,0328	127	4,4413	22,21%	22,30%
03:00	31,6232	51,6243	20,0011	46,9796	147	4,6447	23,22%	
03:00	31,6215	51,6217	20,0002	46,9539	139	4,6678	23,34%	23,28%

2) Batubara Ecocoal ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6288	51,6289	20,0001	50,3415	78	1,2874	6,44%	
00:30	36,4782	56,4786	20,0004	55,0048	85	1,4738	7,37%	6,90%
01:00	36,4801	56,4809	20,0008	52,8853	89	3,5956	17,98%	
01:00	31,6292	51,6294	20,0002	48,1100	85	3,5194	17,60%	17,79%
01:30	31,6306	51,6313	20,0007	46,8707	99	4,7606	23,80%	
01:30	36,4783	56,4787	20,0004	51,7675	103	4,7112	23,56%	23,68%
02:00	36,4794	56,4799	20,0005	50,7347	117	5,7452	28,73%	
02:00	36,4790	56,4790	20,0000	50,7275	127	5,7515	28,76%	28,74%
02:30	31,6284	51,6290	20,0006	45,4703	141	6,1587	30,79%	
02:30	31,6286	51,6286	20,0000	45,4507	137	6,1779	30,89%	30,84%
03:00	31,6285	51,6287	20,0002	45,1312	151	6,4975	32,49%	
03:00	36,4781	56,4787	20,0006	50,0977	155	6,3810	31,90%	32,20%

(lanjutan)

3) Batubara Peranap ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4759	56,4785	20,0026	55,3941	85	1,0844	5,42%	
00:30	31,6298	51,6305	20,0007	50,5371	88	1,0934	5,47%	5,44%
01:00	31,6259	51,6260	20,0001	48,0582	89	3,5678	17,84%	
01:00	31,6291	51,6305	20,0014	47,9661	85	3,6644	18,32%	18,08%
01:30	36,4752	56,4762	20,0010	51,4137	97	5,0625	25,31%	
01:30	36,4789	56,4801	20,0012	51,6803	98	4,7998	24,00%	24,65%
02:00	31,6265	51,6271	20,0006	45,1607	110	6,4664	32,33%	
02:00	31,6289	51,6303	20,0014	45,4786	104	6,1517	30,76%	31,54%
02:30	36,4744	56,4747	20,0003	49,3849	111	7,0898	35,45%	
02:30	36,4786	56,4787	20,0001	49,2833	113	7,1954	35,98%	35,71%
03:00	31,6254	51,6260	20,0006	44,1089	125	7,5171	37,58%	
03:00	31,6281	51,6299	20,0018	44,0076	117	7,6223	38,11%	37,85%
03:30	36,4739	56,4743	20,0004	48,0874	147	8,3869	41,93%	
03:30	36,4786	56,4787	20,0001	48,0776	131	8,4011	42,01%	41,97%
04:00	31,6247	51,6255	20,0008	42,9240	157	8,7015	43,51%	
04:00	31,6269	51,6276	20,0007	43,0201	137	8,6075	43,04%	43,27%

4) Batubara Pendopo ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6229	51,6246	20,0017	50,4221	82	1,2025	6,01%	
00:30	31,6265	51,6266	20,0001	50,4866	82	1,1400	5,70%	5,86%
01:00	36,4784	56,4788	20,0004	52,4880	86	3,9908	19,95%	
01:00	36,4768	56,4769	20,0001	52,4057	84	4,0712	20,36%	20,15%
01:30	36,4777	56,4784	20,0007	50,5618	101	5,9166	29,58%	
01:30	31,6259	51,6259	20,0000	45,9771	90	5,6488	28,24%	28,91%
02:00	31,6322	51,6331	20,0009	44,2551	104	7,3780	36,89%	
02:00	36,4751	56,4755	20,0004	49,1758	92	7,2997	36,50%	36,69%
02:30	31,6282	51,6283	20,0001	42,9037	134	8,7246	43,62%	
02:30	31,6254	51,6255	20,0001	43,0361	113	8,5894	42,95%	43,28%
03:00	31,6269	51,6279	20,0010	42,3347	116	9,2932	46,46%	
03:00	36,4742	56,4747	20,0005	47,2007	122	9,2740	46,37%	46,42%
03:30	31,6254	51,6255	20,0001	41,4161	121	10,2094	51,05%	
03:30	31,6276	51,6294	20,0018	41,6435	132	9,9859	49,93%	50,49%
04:00	36,4747	56,4747	20,0000	45,8961	135	10,5786	52,89%	
04:00	36,4773	56,4789	20,0016	46,0651	142	10,4138	52,06%	52,89%
04:30	31,6356	51,6370	20,0014	40,6517	167	10,9853	54,92%	
04:30	31,6341	51,6353	20,0012	40,8446	150	10,7907	53,95%	53,95%

**Lampiran 8: Data ukuran partikel lolos 16 tertahan 60 mesh
pada daya 640 W**

1) Batubara Melawan ukuran 16 – 60 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6198	51,6199	20,0001	50,5398	86	1,0801	5,40%	
00:30	36,4827	56,4828	20,0001	55,3505	82	1,1323	5,66%	5,53%
01:00	36,4703	56,4704	20,0001	53,6639	90	2,8065	14,03%	
01:00	31,6323	51,6325	20,0002	48,6677	87	2,9648	14,82%	14,43%
01:30	36,4696	56,4697	20,0001	52,9219	102	3,5478	17,74%	
01:30	31,6309	51,6319	20,0010	47,9591	94	3,6728	18,36%	18,05%
02:00	31,6208	51,6208	20,0000	47,3336	105	4,2872	21,44%	
02:00	36,4803	56,4804	20,0001	52,0438	117	4,4366	22,18%	21,81%
02:30	36,4684	56,4688	20,0004	51,8534	132	4,6154	23,08%	
02:30	31,6287	51,6296	20,0009	46,9118	133	4,7178	23,59%	23,33%
03:00	31,6197	51,6198	20,0001	46,9177	146	4,7021	23,51%	
03:00	36,4769	56,4771	20,0002	51,6591	147	4,8180	24,09%	23,80%

2) Batubara Ecocoal ukuran 16 – 60 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6289	51,6291	20,0002	50,1063	78	1,5228	7,61%	
00:30	31,6377	51,6378	20,0001	49,7721	77	1,8657	9,33%	8,47%
01:00	36,4781	56,4783	20,0002	52,7492	86	3,7291	18,65%	
01:00	36,4895	56,4897	20,0002	52,3386	88	4,1511	20,76%	19,70%
01:30	36,4850	56,4851	20,0001	51,4668	96	3,5478	17,74%	
01:30	31,6342	51,6344	20,0002	46,6070	97	5,0274	25,14%	21,44%
02:00	31,6357	51,6358	20,0001	45,8600	101	5,7758	28,88%	
02:00	36,4862	56,4862	20,0000	50,9100	110	5,5762	27,88%	28,38%
02:30	31,6334	51,6335	20,0001	45,5398	113	6,0937	30,47%	
02:30	31,6316	51,6321	20,0005	45,5049	114	6,1272	30,64%	30,55%
03:00	36,4821	56,4822	20,0001	50,2895	123	6,1927	30,96%	
03:00	36,4811	56,4815	20,0004	50,2121	121	6,2694	31,35%	31,15%

(lanjutan)

3) Batubara Peranap ukuran 16 – 60 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4722	56,4728	20,0006	55,6522	79	0,8206	4,10%	
00:30	36,4885	56,4887	20,0002	55,5264	80	0,9623	4,81%	4,46%
01:00	31,6237	51,6246	20,0009	48,7028	82	2,9218	14,61%	
01:00	31,6357	51,6359	20,0002	48,5676	83	3,0683	15,34%	14,97%
01:30	36,4726	56,4729	20,0003	52,1172	88	4,3557	21,78%	
01:30	36,4865	56,4868	20,0003	52,4541	90	4,0327	20,16%	20,97%
02:00	31,6242	51,6254	20,0012	45,6701	90	5,9553	29,77%	
02:00	31,6346	51,6351	20,0005	45,9075	90	5,7276	28,64%	29,21%
02:30	36,4728	56,4739	20,0011	49,2309	102	7,2430	36,21%	
02:30	36,4844	56,4853	20,0009	49,6412	99	6,8441	34,22%	35,22%
03:00	36,4843	56,4844	20,0001	48,6605	136	7,8239	39,12%	
03:00	36,4910	56,4911	20,0001	48,6404	95	7,8507	39,25%	39,19%
03:30	31,6303	51,6309	20,0006	42,7174	140	8,9135	44,57%	
03:30	36,4817	56,4827	20,0010	47,7745	135	8,7082	43,54%	44,05%
04:00	36,4799	56,4800	20,0001	47,2194	151	9,2606	46,30%	
04:00	36,4830	56,4835	20,0005	47,3505	149	9,1330	45,66%	45,98%
04:30	36,4777	56,4778	20,0001	47,0973	172	9,3805	46,90%	
04:30	36,4751	56,4752	20,0001	47,1523	149	9,3229	46,61%	46,76%

4) Batubara Pendopo ukuran 16 – 60 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4734	56,4736	20,0002	55,5155	82	0,9581	4,79%	
00:30	36,4915	56,4919	20,0004	55,2285	74	1,2634	6,32%	5,55%
01:00	36,4713	56,4719	20,0006	53,2387	84	3,2332	16,17%	
01:00	31,6229	51,6230	20,0001	46,8523	86	3,5478	17,74%	16,95%
01:30	31,6404	51,6410	20,0006	46,3102	82	5,3308	26,65%	
01:30	36,4886	56,4887	20,0001	50,9931	89	5,4956	27,48%	27,07%
02:00	31,6225	51,6228	20,0003	43,9417	96	7,6811	38,40%	
02:00	31,6382	51,6382	20,0000	43,7988	97	7,8394	39,20%	38,80%
02:30	36,4717	56,4719	20,0002	47,6218	101	8,8501	44,25%	
02:30	31,6367	51,6368	20,0001	42,6236	108	9,0132	45,07%	44,66%
03:00	31,6220	51,6228	20,0008	42,1895	106	9,4333	47,16%	
03:00	36,4888	56,4889	20,0001	46,7946	117	9,6943	48,47%	47,82%
03:30	36,4873	56,4873	20,0000	46,2720	155	10,2153	51,08%	
03:30	31,6361	51,6361	20,0000	41,3099	119	10,3262	51,63%	51,35%
04:00	36,4850	56,4852	20,0002	45,9852	167	10,5000	52,50%	
04:00	36,4873	56,4873	20,0000	45,9780	137	10,5093	52,55%	52,52%

**Lampiran 9: Data ukuran partikel lolos 200 tertahan 325 mesh
pada daya 640 W**

1) Batubara Melawan ukuran 200 – 325 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,0689	56,0689	20,0000	54,8762	82	1,1927	5,96%	
00:30	36,4610	56,4611	20,0001	55,4116	83	1,0495	5,25%	5,61%
01:00	35,6008	55,6008	20,0000	52,5066	89	3,0942	15,47%	
01:00	31,6311	51,6312	20,0001	48,5947	87	3,0365	15,18%	15,33%
01:30	36,4458	56,4458	20,0000	52,4043	103	4,0415	20,21%	
01:30	35,5895	55,5895	20,0000	51,4202	107	4,1693	20,85%	20,53%
02:00	31,3895	51,3898	20,0003	46,7550	136	4,6348	23,17%	
02:00	36,4344	56,4355	20,0011	51,9201	141	4,5154	22,58%	22,87%
02:30	48,8739	68,8739	20,0000	SC	157			

2) Batubara Ecocoal ukuran 200 – 325 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	37,0229	57,0229	20,0000	56,4121	78	0,6108	3,05%	
00:30	36,4411	56,4412	20,0001	55,6340	78	0,8072	4,04%	3,54%
01:00	38,6078	58,6078	20,0000	55,7562	83	2,8516	14,26%	
01:00	31,3944	51,3944	20,0000	48,0907	88	3,3037	16,52%	15,39%
01:30	38,8699	58,8699	20,0000	54,5926	92	4,2773	21,39%	
01:30	31,6252	51,6252	20,0000	47,5497	124	4,0755	20,38%	20,88%
02:00	38,6056	58,6056	20,0000	53,3971	101	5,2085	26,04%	
02:00	36,4621	56,4622	20,0001	51,2084	110	5,2538	26,27%	26,16%
02:30	37,0196	57,0196	20,0000	51,3259	138	5,6937	28,47%	
02:30	38,8205	58,8205	20,0000	53,1407	128	5,6798	28,40%	28,43%
03:00	36,4360	56,4360	20,0000	50,5974	131	5,8386	29,19%	
03:00	36,4810	56,4814	20,0004	50,5528	96	5,9286	29,64%	29,42%

(lanjutan)

3) Batubara Peranap ukuran 200 – 325 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	37,6461	57,6463	20,0002	57,2756	83	0,3707	1,85%	
00:30	36,4616	56,4616	20,0000	55,9831	80	0,4785	2,39%	2,12%
01:00	38,7625	58,7625	20,0000	57,3310	92	1,4315	7,16%	
01:00	31,6253	51,6253	20,0000	50,2089	89	1,4164	7,08%	7,12%
01:30	38,8338	58,8339	20,0001	55,1517	98	3,6822	18,41%	
01:30	31,6157	51,6159	20,0002	47,8835	99	3,7324	18,66%	18,54%
02:00	36,0702	56,0703	20,0001	51,4597	100	4,6106	23,05%	
02:00	36,4825	56,4825	20,0000	51,5910	99	4,8915	24,46%	23,76%
02:30	35,6036	55,6036	20,0000	49,4535	113	6,1501	30,75%	
02:30	31,6311	51,6313	20,0002	45,7311	111	5,9002	29,50%	30,13%
03:00	36,4299	56,4299	20,0000	48,9219	125	7,5080	37,54%	
03:00	38,5945	58,5945	20,0000	50,8852	115	7,7093	38,55%	38,04%
03:30	31,3860	51,3860	20,0000	43,0822	131	8,3038	41,52%	
03:30	37,0083	57,0084	20,0001	48,7446	129	8,2638	41,32%	41,42%
04:00	38,8607	58,8607	20,0000	50,3135	147	8,5472	42,74%	
04:00	36,4749	56,4753	20,0004	48,1454	141	8,3299	41,65%	42,19%

4) Batubara Pendopo ukuran 200 – 325 mesh, massa 20 g dan P = 640 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	37,0141	57,0144	20,0003	56,5084	74	0,5060	2,53%	
00:30	31,6268	51,6272	20,0004	50,9613	78	0,6659	3,33%	2,93%
01:00	38,5995	58,5999	20,0004	56,0313	82	2,5686	12,84%	
01:00	36,4884	56,4886	20,0002	53,8519	88	2,6367	13,18%	13,01%
01:30	37,6306	57,6308	20,0002	53,0820	90	4,5488	22,74%	
01:30	36,4783	56,4787	20,0004	51,7675	93	4,7112	23,56%	23,15%
02:00	36,4523	56,4523	20,0000	48,8338	94	7,6185	38,09%	
02:00	38,8205	58,8205	20,0000	51,1407	98	7,6798	38,40%	38,25%
02:30	31,3991	51,3992	20,0001	42,6098	109	8,7894	43,95%	
02:30	36,4769	56,4771	20,0002	47,6591	107	8,8180	44,09%	44,02%
03:00	38,8761	58,8763	20,0002	49,1458	120	9,7305	48,65%	
03:00	31,6385	51,6384	19,9999	42,0563	126	9,5821	47,91%	48,28%
03:30	37,0288	57,0288	20,0000	46,9688	129	10,0600	50,30%	
03:30	36,0554	56,0555	20,0001	46,1131	132	9,9424	49,71%	50,01%
04:00	38,6147	58,6147	20,0000	48,3372	146	10,2775	51,39%	
04:00	36,4344	56,4355	20,0011	46,2201	139	10,2154	51,07%	51,23%
04:30	35,5847	55,5847	20,0000	SC	191			

Lampiran 10: Data ukuran partikel lolos 5/8 tertahan 4 mesh pada daya 800 W

1) Batubara Melawan ukuran 5/8 – 4 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4779	56,4787	20,0008	54,2911	77	2,1876	10,94%	
00:30	31,6285	51,6286	20,0001	49,4041	76	2,2245	11,12%	11,03%
01:00	36,4745	56,4750	20,0005	52,9174	105	3,5576	17,79%	
01:00	31,6249	51,6279	20,0030	48,4099	106	3,2180	16,09%	16,94%
01:30	36,4726	56,4731	20,0005	52,3054	119	4,1677	20,84%	
01:30	36,4715	56,4724	20,0009	52,2928	143	4,1796	20,90%	20,87%
02:00	31,6231	51,6248	20,0017	47,2268	115	4,3980	21,99%	
02:00	31,6226	51,6237	20,0011	47,2402	147	4,3835	21,92%	21,95%

2) Batubara Ecocoal ukuran 5/8 – 4 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6354	51,6366	20,0012	49,1041	86	2,5325	12,66%	
00:30	36,4858	56,4877	20,0019	54,0124	87	2,4753	12,38%	12,52%
01:00	31,6325	51,6353	20,0028	47,1435	101	4,4918	22,46%	
01:00	36,4833	56,4848	20,0015	52,2215	106	4,2633	21,31%	21,89%
01:30	31,6303	51,6307	20,0004	46,5509	126	5,0798	25,40%	
01:30	36,4798	56,4809	20,0011	51,4781	121	5,0028	25,01%	25,21%
02:00	31,6297	51,6306	20,0009	46,4197	135	5,2109	26,05%	
02:00	36,4795	56,4831	20,0036	51,2315	129	5,2516	26,25%	26,15%

3) Batubara Peranap ukuran 5/8 – 4 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6321	51,6336	20,0015	49,0251	78	2,6085	13,04%	
00:30	36,4653	56,4666	20,0013	53,8397	99	2,6269	13,13%	13,09%
01:00	36,4825	56,4837	20,0012	51,7459	86	4,7378	23,69%	
01:00	31,6404	51,6410	20,0006	47,0102	88	4,6308	23,15%	23,42%
01:30	31,6317	51,6336	20,0019	44,6927	113	6,9409	34,70%	
01:30	36,4751	56,4755	20,0004	49,5758	112	6,8997	34,50%	34,60%
02:00	36,4822	56,4847	20,0025	48,6150	122	7,8697	39,34%	
02:00	36,4793	56,4800	20,0007	48,5199	128	7,9601	39,80%	39,57%
02:30	31,6273	51,6276	20,0003	42,8584	133	8,7692	43,85%	
02:30	36,4852	56,4862	20,0010	47,8024	135	8,6838	43,42%	43,63%
03:00	36,4803	56,4815	20,0012	47,6366	141	8,8449	44,22%	
03:00	31,6311	51,6319	20,0008	42,6537	135	8,9782	44,89%	44,56%

(lanjutan)

4) Batubara Pendopo ukuran 5/8 – 4 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4859	56,4879	20,0020	53,4506	78	3,0373	15,18%	
00:30	36,4840	56,4851	20,0011	53,6152	80	2,8699	14,35%	14,77%
01:00	31,6345	51,6364	20,0019	45,2391	85	6,3973	31,98%	
01:00	36,4653	56,4666	20,0013	50,0397	86	6,4269	32,13%	32,06%
01:30	36,4829	56,4836	20,0007	47,7124	90	8,7712	43,85%	
01:30	36,4732	56,4752	20,0020	47,7934	92	8,6818	43,40%	43,63%
02:00	31,6335	51,6348	20,0013	41,4341	97	10,2007	51,00%	
02:00	31,6281	51,6293	20,0012	41,5289	101	10,1004	50,50%	50,75%
02:30	36,4815	56,4819	20,0004	46,0711	136	10,4108	52,05%	
02:30	31,6299	51,6311	20,0012	41,2672	128	10,3639	51,82%	51,93%
03:00	31,6312	51,6339	20,0027	41,0344	152	10,5995	52,99%	
03:00	36,4816	56,4828	20,0012	45,8933	146	10,5895	52,94%	52,97%



Lampiran 11: Data ukuran partikel lolos 4 tertahan 16 mesh pada daya 800 W

1) Batubara Melawan ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6208	51,6209	20,0001	49,8238	86	1,7971	8,99%	
00:30	36,4700	56,4711	20,0011	54,5894	89	1,8817	9,41%	9,20%
01:00	31,6203	51,6207	20,0004	48,2221	104	3,3986	16,99%	
01:00	36,4686	56,4694	20,0008	53,0378	107	3,4316	17,16%	17,07%
01:30	31,6194	51,6201	20,0007	47,2713	122	4,3488	21,74%	
01:30	31,6261	51,6269	20,0008	47,2609	124	4,3660	21,83%	21,79%
02:00	31,6197	51,6198	20,0001	47,0156	158	4,6042	23,02%	
02:00	36,4726	56,4727	20,0001	51,9241	167	4,5486	22,74%	22,88%

2) Batubara Ecocoal ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6233	51,6240	20,0007	49,2210	92	2,4030	12,01%	
00:30	31,6279	51,6284	20,0005	49,3757	90	2,2527	11,26%	11,64%
01:00	31,6277	51,6279	20,0002	46,7411	101	4,8868	24,43%	
01:00	31,6277	51,6278	20,0001	46,6438	100	4,9840	24,92%	24,68%
01:30	36,4692	56,4705	20,0013	50,2496	105	6,2209	31,10%	
01:30	31,6244	51,6251	20,0007	45,4134	106	6,2117	31,06%	31,08%
02:00	36,4765	56,4766	20,0001	50,1205	116	6,3561	31,78%	
02:00	31,6257	51,6276	20,0019	45,3158	119	6,3118	31,56%	31,67%

3) Batubara Peranap ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4802	56,4808	20,0006	54,4219	71	2,0589	10,29%	
00:30	36,4885	56,4887	20,0002	54,5264	70	1,9623	9,81%	10,05%
01:00	31,6312	51,6314	20,0002	47,1002	79	4,5312	22,66%	
01:00	36,4783	56,4787	20,0004	51,9675	83	4,5112	22,56%	22,61%
01:30	36,4788	56,4798	20,0010	50,2661	107	6,2137	31,07%	
01:30	36,4763	56,4786	20,0023	50,3061	103	6,1725	30,86%	30,96%
02:00	31,6294	51,6297	20,0003	44,1273	120	7,5024	37,51%	
02:00	31,6286	51,6291	20,0005	44,2507	117	7,3784	36,89%	37,20%
02:30	36,4795	56,4809	20,0014	48,0091	125	8,4718	42,36%	
02:30	31,6286	51,6297	20,0011	43,0344	123	8,5953	42,97%	42,67%
03:00	31,6298	51,6307	20,0009	42,9279	140	8,7028	43,51%	
03:00	36,4789	56,4792	20,0003	47,6581	134	8,8211	44,10%	43,51%

(lanjutan)

4) atubara Pendopo ukuran 4 – 16 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6249	51,6253	20,0004	49,2758	82	2,3495	11,75%	
00:30	36,4726	56,4731	20,0005	54,2617	76	2,2114	11,06%	11,40%
01:00	31,6241	51,6244	20,0003	46,6021	92	5,0223	25,11%	
01:00	36,4717	56,4723	20,0006	51,2542	96	5,2181	26,09%	25,60%
01:30	31,6235	51,6241	20,0006	44,3035	104	7,3206	36,60%	
01:30	36,4724	56,4725	20,0001	48,9043	103	7,5682	37,84%	37,22%
02:00	31,6239	51,6239	20,0000	42,7980	117	8,8259	44,13%	
02:00	36,4865	56,4868	20,0003	47,7541	110	8,7327	43,66%	43,90%
02:30	36,4718	56,4721	20,0003	46,3193	125	10,1528	50,76%	
02:30	36,4840	56,4843	20,0003	46,3927	121	10,0916	50,46%	50,61%
03:00	31,6313	51,6318	20,0005	41,0979	161	10,5339	52,67%	
03:00	36,4825	56,4825	20,0000	46,0131	163	10,4694	52,35%	52,51%
03:30	31,6228	51,6232	20,0004	40,9778	167	10,6454	53,23%	
03:30	36,4854	56,4858	20,0004	45,7147	165	10,7711	53,85%	53,54%

**Lampiran 12: Data ukuran partikel lolos 16 tertahan 60 mesh
pada daya 800 W**

1) Batubara Melawan ukuran 16 – 60 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6248	51,6248	20,0000	49,5796	85	2,0452	10,23%	
00:30	31,6256	51,6256	20,0000	49,5202	82	2,1054	10,53%	10,38%
01:00	31,6241	51,6244	20,0003	47,7902	102	3,8342	19,17%	
01:00	31,6243	51,6246	20,0003	47,8198	101	3,8048	19,02%	19,10%
01:30	36,4736	56,4740	20,0001	52,5174	111	3,9563	19,78%	
01:30	36,4733	56,4747	20,0014	52,3968	112	4,0779	20,39%	20,08%

2) Batubara Ecocoal ukuran 16 – 60 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4796	56,4796	20,0000	54,2874	82	2,1922	10,96%	
00:30	31,6295	51,6295	20,0000	49,5277	84	2,1018	10,51%	10,74%
01:00	31,6274	51,6274	20,0000	46,9921	98	4,6353	23,18%	
01:00	36,4777	56,4780	20,0003	51,8609	99	4,6171	23,09%	23,13%
01:30	36,4758	56,4758	20,0000	50,6451	117	5,8307	29,15%	
01:30	36,4746	56,4748	20,0002	50,5952	123	5,8796	29,40%	29,28%
02:00	31,6277	51,6279	20,0002	45,5753	140	6,0526	30,26%	
02:00	36,4886	56,4887	20,0001	50,3931	137	6,0956	30,48%	30,37%

3) Batubara Peranap ukuran 16 – 60 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4776	56,4778	20,0002	54,5717	78	1,9061	9,53%	
00:30	31,6302	51,6305	20,0003	49,5815	79	2,0490	10,24%	9,89%
01:00	31,6300	51,6301	20,0001	47,3556	91	4,2745	21,37%	
01:00	36,4635	56,4638	20,0003	52,1257	90	4,3381	21,69%	21,53%
01:30	36,4775	56,4777	20,0002	50,2103	99	6,2674	31,34%	
01:30	31,6139	51,6145	20,0006	45,1698	104	6,4447	32,22%	31,78%
02:00	31,6282	51,6287	20,0005	44,1791	123	7,4496	37,25%	
02:00	36,4629	56,4634	20,0005	49,0795	128	7,3839	36,92%	37,08%
02:30	31,6268	51,6278	20,0010	43,6151	143	8,0127	40,06%	
02:30	36,4752	56,4756	20,0004	48,3323	141	8,1433	40,72%	40,39%
03:00	36,4765	56,4771	20,0006	47,2624	159	9,2147	46,07%	
03:00	36,4758	56,4764	20,0006	47,2318	151	9,2446	46,22%	46,15%
03:30	31,6266	51,6269	20,0003	42,2464	182	9,3805	46,90%	
03:30	36,4755	56,4757	20,0002	47,0197	175	9,4560	47,28%	47,09%

(lanjutan)

4) Batubara Pendopo ukuran 16 – 60 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	31,6356	51,6359	20,0003	49,6247	76	2,0112	10,06%	
00:30	36,4873	56,4875	20,0002	54,2782	77	2,2093	11,05%	10,55%
01:00	36,4873	56,4874	20,0001	51,4530	83	5,0344	25,17%	
01:00	36,4621	56,4622	20,0001	51,4959	85	4,9663	24,83%	25,00%
01:30	31,6335	51,6345	20,0001	44,3582	104	7,2754	36,38%	
01:30	36,4777	56,4778	20,0001	49,2394	99	7,2384	36,19%	36,28%
02:00	31,6284	51,6284	20,0000	43,3027	108	8,3257	41,63%	
02:00	36,4616	56,4617	20,0001	47,8842	111	8,5775	42,89%	42,26%
02:30	36,4772	56,4772	20,0000	46,7752	133	9,7020	48,51%	
02:30	36,4627	56,4628	20,0001	46,6034	127	9,8594	49,30%	48,90%
03:00	31,6279	51,6279	20,0000	41,1778	143	10,4501	52,25%	
03:00	36,4787	56,4787	20,0000	46,1381	152	10,3406	51,70%	51,98%
03:30	31,6279	51,6279	20,0000	40,9221	166	10,7058	53,53%	
03:30	36,4782	56,4782	20,0000	45,9748	147	10,5034	52,52%	53,02%



**Lampiran 13: Data ukuran partikel lolos 200 tertahan 325 mesh
pada daya 800 W**

1) Batubara Melawan ukuran 200 – 325 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4400	56,4400	20,0000	55,2924	82	1,1476	5,74%	
00:30	36,4608	56,4611	20,0003	55,1847	86	1,2764	6,38%	6,06%
01:00	38,8694	58,8694	20,0000	55,9230	87	2,9464	14,73%	
01:00	36,4755	56,4757	20,0002	53,6793	91	2,7964	13,98%	14,36%
01:30	38,6051	58,6051	20,0000	54,7850	121	3,8201	19,10%	
01:30	37,6351	57,6352	20,0001	53,7231	112	3,9121	19,56%	19,33%
02:00	37,0193	57,0193	20,0000	SC	129			

2) Batubara Ecocoal ukuran 200 – 325 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	38,8642	58,8642	20,0000	57,0417	81	1,8225	9,11%	
00:30	38,7625	58,7625	20,0000	57,0310	82	1,7315	8,66%	8,89%
01:00	37,0101	57,0102	20,0001	53,3592	88	3,6510	18,25%	
01:00	36,4865	56,4868	20,0003	52,7541	90	3,7327	18,66%	18,46%
01:30	38,5951	58,5952	20,0001	53,5489	108	5,0463	25,23%	
01:30	36,4818	56,4821	20,0003	51,4026	89	5,0795	25,40%	25,31%
02:00	37,6261	57,6261	20,0000	51,9537	131	5,6724	28,36%	
02:00	36,0550	56,0553	20,0003	50,2832	126	5,7721	28,86%	28,61%
02:30	56,4312	76,4314	20,0002	SC	138			

3) Batubara Peranap ukuran 200 – 325 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4328	56,4331	20,0003	55,5166	78	0,9165	4,58%	
00:30	36,6161	56,6163	20,0002	55,4971	79	1,1192	5,60%	5,09%
01:00	36,0584	56,0585	20,0001	52,6993	87	3,3592	16,80%	
01:00	36,4635	56,4635	20,0000	53,0278	86	3,4357	17,18%	16,99%
01:30	38,8633	58,8635	20,0002	53,9597	95	4,9038	24,52%	
01:30	36,4788	56,4789	20,0001	51,4438	94	5,0351	25,18%	24,85%
02:00	37,0117	57,0119	20,0002	50,2673	105	6,7446	33,72%	
02:00	36,4587	56,4589	20,0002	49,8172	107	6,6417	33,21%	33,47%
02:30	38,5977	58,5979	20,0002	50,8181	116	7,7798	38,90%	
02:30	36,4790	56,4791	20,0001	48,8053	105	7,6738	38,37%	38,63%
03:00	38,8166	58,8166	20,0000	50,1713	127	8,6453	43,23%	
03:00	38,8572	58,8573	20,0001	50,2471	126	8,6102	43,05%	43,14%
03:30	38,4147	58,4148	20,0001	49,6516	136	8,7632	43,82%	
03:30	36,4249	56,4249	20,0000	47,4938	138	8,9311	44,66%	44,24%

(lanjutan)

4) Batubara Pendopo ukuran 200 – 325 mesh, massa 20 g dan P = 800 W

Time	Alas+ Tutup	SAMPEL +Alas+Tutup	SEBELUM	SETELAH	SUHU	Massa yg hilang	% Massa yg hilang	Rata-rata
00:00							0,00%	0,00%
00:30	36,4473	56,4473	20,0000	55,6929	84	0,7544	3,77%	
00:30	31,6202	51,6204	20,0002	50,6845	56	0,9359	4,68%	4,23%
01:00	38,8752	58,8753	20,0001	54,1272	89	4,7481	23,74%	
01:00	36,4635	56,4636	20,0001	51,9806	93	4,4830	22,42%	23,08%
01:30	37,0256	57,0257	20,0001	49,7170	107	7,3087	36,54%	
01:30	36,4733	56,4734	20,0001	49,0693	109	7,4041	37,02%	36,78%
02:00	38,6117	58,6118	20,0001	49,9984	117	8,6134	43,07%	
02:00	31,6242	51,6245	20,0003	42,9565	115	8,6680	43,34%	43,20%
02:30	37,6421	57,6422	20,0001	48,1867	129	9,4555	47,28%	
02:30	31,6143	51,6144	20,0001	42,2377	131	9,3767	46,88%	47,08%
03:00	58,8300	78,8302	20,0002	68,7047	146	10,1255	50,63%	
03:00	57,0165	77,0165	20,0000	66,7738	152	10,2427	51,21%	50,92%
03:30	36,0681	56,0681	20,0000	SC	171			

