

**KARAKTERISASI BATUBARA JAMBI UNTUK PENINGKATAN KUALITAS  
BATUBARA MELALUI RADIASI  
GELOMBANG MIKRO**

***CHARACTERIZATION OF JAMBI COAL FOR COAL QUALITY  
IMPROVEMENT USING MICROWAVE RADIATION***

HA. Anisa<sup>1</sup>, M. Yusuf<sup>2</sup>, S. Nasir<sup>3</sup>

<sup>1-2</sup> Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Jl. Raya Palembang Prabumulih KM.32 Inderalaya, Sumatera Selatan, Indonesia

e-mail: \*<sup>1</sup>fiza.cha@gmail.com \*<sup>2</sup>maulanaysf@yahoo.co.id, <sup>3</sup>subriyer@yahoo.com

**ABSTRAK**

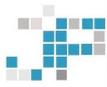
Batubara merupakan sumber energi yang dimanfaatkan secara luas di seluruh dunia untuk berbagai macam kegunaan diantaranya sebagai pembangkit tenaga listrik, bahan bakar pembuatan semen dan produksi baja serta kegiatan industri lainnya. Pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar dipengaruhi ukuran kualitas batubara. Kandungan air pada batubara dengan nilai tinggi akan mengurangi efisiensi pembakaran, selain itu batubara dengan kandungan *ash* tinggi menyebabkan terjadinya *slagging* dan *fouling*. Kandungan sulfur yang tinggi menyebabkan korosi pada *boiler*. Permasalahan-permasalahan yang terjadi dalam pemanfaatan batubara tersebut dapat diatasi dengan teknik-teknik yang telah diteliti yang dapat meningkatkan kualitas batubara khususnya penghilangan *moisture*, salah satunya dengan radiasi gelombang mikro. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik batubara awal dan kualitas batubara setelah dilakukan radiasi gelombang mikro sehingga dapat dijadikan informasi untuk perusahaan industri batubara dalam melakukan peningkatan kualitas batubara yang efektif melalui radiasi gelombang mikro. Daya yang digunakan yaitu 720W, 810W dan 900W dengan ketebalan batubara 9cm, 11cm dan 13cm. Hasil penelitian diperoleh karakteristik awal batubara Jambi dengan *total moisture* 45,04% dan nilai *gross calorific value* (ar) yaitu 3577. Setelah dilakukan radiasi gelombang mikro pada *sample* batubara Jambi pada daya 720 W, 810 W dan 900 W didapatkan rata-rata penurunan *total moisture* masing – masing yaitu 31,2 %, 31,36 %, 32,65 % dan kenaikan kalori sebesar 2011 kalori, 2042 kalori, 2139 kalori.

**Kata kunci:** Karakteristik, Batubara, Kualitas, Radiasi, Gelombang Mikro

**ABSTRACT**

*Coal is a source of energy that is widely used in the world for various of uses such as power plant, cement and steel production or other industrial activities. Coal utilization is influenced by coal quality measurement. High total moisture will reduce the combustion efficiency, high ash content causes slagging and fouling, high sulfur makes boiler corrosion. The problems that occur in coal utilization can be overcome with techniques that have been studied can improve the quality of coal, especially removal of moisture, this technique is using microwave radiation. This research purpose to analyze the initial characteristic of Jambi coal and after using microwave radiation so it can be used as information for coal industry to increase coal quality effectively using microwave radiation. The power level are use 720W, 810W and 900W with coal thickness 9cm, 11cm and 13cm. The result of this research obtained the characteristics of Jambi coal with total moisture 45.04% and gross calorific value (ar) was 3577. After using microwave radiation at 720W, 810W and 900W, average total moisture are decrease 31.62%, 31.36, 32.66% and increase in calories by 2011 Kkal/Kg, 2042 Kkal/Kg and 2139 Kkal/Kg.*

**Keywords :** Characteristic, Coal, Quality, Radiation, Microwave



## PENDAHULUAN

Kualitas batubara di Indonesia berdasarkan nilai kalornya adalah 62% berkualitas sedang, 27% berkualitas rendah, 9% berkualitas tinggi dan yang berkualitas sangat tinggi 2% [1]. Tinggi rendahnya kualitas batubara bergantung kepada karakteristik batubara yang meliputi *type*, *grade* dan *rank*. *Type* berhubungan dengan asal tumbuhan pembentuk batubara, *grade* adalah kandungan *mineral matter* pada batubara sedangkan *rank* merupakan tingkat metamorfisme batubara. Pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar dipengaruhi ukuran kualitas batubara. Nilai kandungan air pada batubara yang tinggi akan mengurangi efisiensi pembakaran, batubara dengan kandungan *ash* tinggi menyebabkan terjadinya *slagging* dan *fouling* dan batubara memiliki sulfur yang tinggi menyebabkan korosi pada *boiler*.

Kadar air batubara dapat diturunkan salah satunya adalah dengan memberikan radiasi gelombang mikro pada batubara. Energi Gelombang mikro adalah radiasi elektromagnetik dengan frekuensi 300 MHz hingga 300 GHz atau panjang gelombang 1 hingga 300 mm [2] Gelombang mikro dapat ditransmisikan, diserap, atau direfleksikan. Bahan yang terkena radiasi gelombang mikro dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok: isolator, konduktor dan peredam. Sebagian besar bahan berbasis karbon adalah penyerap gelombang mikro, tergantung pada komposisi struktural. Bahan isolasi seperti kuarsa atau PTFE adalah *microwave* transparan, sementara konduktor seperti aluminium atau baja tahan karat dapat memantulkan gelombang mikro (ketika sebagai lembaran atau blok).

Bahan yang dapat menyerap gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi dikenal sebagai dielektrik dan dapat memanaskan dengan berbagai cara. Dalam rentang pemanasan frekuensi tinggi industri ( $10^7 - 3 \times 10^9$  Hz), yang mencakup frekuensi radio dan gelombang mikro, pemanasan yang dominan. mekanisme dipolar polarisasi, konduksi dan antarmuka polarisation [3].

Dasar pemanfaatan gelombang mikro dalam memanaskan benda yaitu berdasarkan konsep radiasi gelombang mikro. dan pemanasan dielektrik yaitu ketika gelombang mikro memanaskan material dielektrik [4]. Mekanisme kerja gelombang mikro untuk peningkatan kualitas batubara yaitu *magnetron* pada alat *microwave* menghasilkan radiasi gelombang mikro untuk dipancarkan melalui batubara sehingga molekul air dalam batubara saling bergesekan. Proses ini akan menghasilkan panas dan *stirrer* pada alat *microwave* akan berputar untuk menyebarkan gelombang mikro agar mendapatkan panas yang merata

Beberapa penelitian menemukan bahwa radiasi gelombang mikro dapat digunakan untuk berbagai manfaat seperti mengurangi kadar air dan sulfur, proses

*liquefaction*, meningkatkan *grindability*, proses *pyrolysis*, *flotation*, *coking* dan *coal water slurry combustion*.

*Treatment* radiasi gelombang mikro efektif untuk menurunkan kandungan air pada batubara karena dapat langsung menembus bagian dalam sample sedangkan pada metode konvensional panas perlahan-lahan menembus *sample* sehingga beresiko untuk terjadinya oksidasi parsial [5]. Radiasi gelombang mikro memiliki peranan yang semakin penting dalam aplikasi industri, ilmiah dan kimia. Penggunaan gelombang mikro dalam pemrosesan, pengeringan dan pemanasan diperlukan karena penggunaan gelombang mikro menghasilkan pemanasan yang cepat, seragam, selektif, mudah dioperasikan dan ramah lingkungan [6].

Diperlukan pengembangan studi lebih lanjut berdasarkan hasil penelitian sebelumnya mengenai peningkatan kualitas batubara menggunakan radiasi gelombang mikro dan belum ada yang mengkaji analisis pengaruh ketebalan batubara ketika mengalami radiasi gelombang mikro.

Tujuan penelitian ini yaitu menganalisis karakteristik batubara awal, menganalisis kualitas batubara setelah dilakukan radiasi gelombang mikro dan mengidentifikasi pengaruh daya yang digunakan dan pengaruh ketebalan *sample* dalam menghilangkan kandungan *moisture* batubara selama proses *treatment*. Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan informasi untuk perusahaan industri batubara dalam melakukan peningkatan kualitas batubara yang efektif melalui *treatment* radiasi gelombang mikro, perusahaan industri dapat mengetahui gambaran karakteristik batubara sebelum dan setelah dilakukan *treatment* radiasi gelombang mikro.

## METODE PENELITIAN

Jenis penelitian adalah penelitian kuantitatif. Pengolahan data dilakukan dengan mengolah data primer yang berasal dari lokasi pengambilan *sample* kemudian *sample* dianalisis di laboratorium dan mengolah data sekunder sebagai pendukung penelitian. Hasil analisa *sample* batubara akan diolah menjadi tabel dan grafik untuk dianalisis perbedaannya. Data laboratorium hasil analisa *sample* sebelum dan sesudah dilakukan *treatment* gelombang mikro dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan peningkatan kualitas batubara.

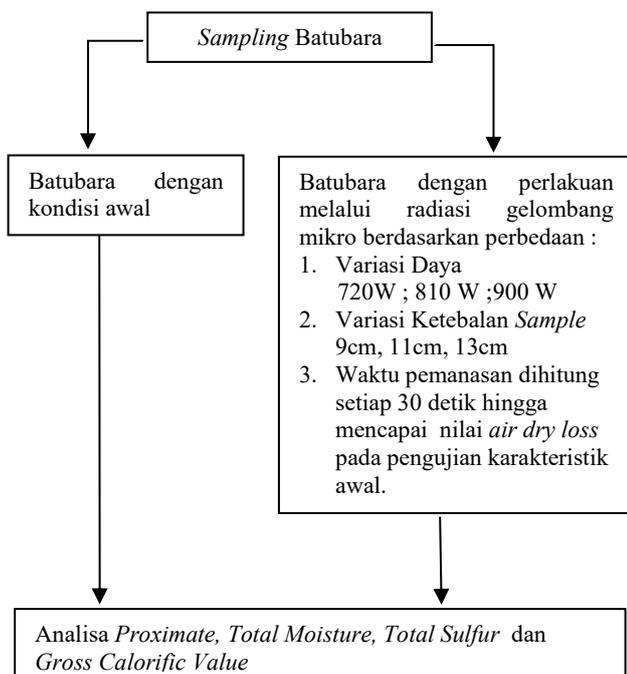
Batubara yang digunakan adalah batubara dari Sarolangun, Jambi. *Sampling* batubara dilakukan di *stockpile* terminal batubara Talang Duku dengan ukuran batubara disesuaikan dengan ukuran batubara yang ada di lokasi *stockpile* yaitu  $< 50$  mm. *Sample* batubara yang telah diambil dibagi menjadi dua bagian untuk dianalisis kondisi awal batubara dan hasil perlakuan dengan radiasi gelombang mikro. Variabel percobaan ini adalah daya gelombang mikro, ketebalan batubara dan waktu tinggal batubara dalam proses radiasi gelombang mikro.

Parameter yang diamati adalah perubahan kandungan air dan nilai kalori. Selama percobaan, *sample* batubara dimasukkan ke dalam *beaker glass* di atas dasar gelas yang berputar dan ditempatkan di tengah-tengah *microwave*. Berat *sample* batubara diukur secara berkala dengan interval 30 detik dengan mengeluarkan *beaker glass* untuk ditimbang dengan *analytical balance*. Parameter analisa batubara yang diuji adalah *proximate (ash content, volatile matter, fixed carbon), gross calorific value* dan, total sulfur (Tabel 1)

**Tabel 1.** Metode dan parameter analisa batubara

Parameter	Basis	Metode
Total Moisture (TM)	% (ar)	ASTM D 3302/ D3302 M-17
Moisture in the analysis	% (adb)	ASTM D 3173 / D 3173 M-17
Ash Content	% (adb)	ASTM D 3174-12
Volatile Matter (VM)	% (adb)	ASTM D 3175-17
Fixed Carbon (FC)	% (adb)	By Difference
Total Sulphur (TS)	% (adb)	ASTM D 4239-17
Gross Calorific Value (GCV)	Kcal/Kg (ar)	ASTM D 5865-13
Gross Calorific Value (GCV)	Kcal/Kg (adb)	ASTM D 5865-13

Berikut ini merupakan diagram alir percobaan analisis karakteristik batubara Jambi untuk peningkatan kualitas melalui radiasi gelombang mikro (Gambar 1).



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Batubara Kondisi Awal

Hasil pengambilan sampling batubara di *stockpile* pelabuhan dilakukan preparasi menggunakan metode *American Standard Testing and Material (ASTM)*. Sample tersebut selanjutnya dilakukan analisa di laboratorium untuk mengetahui karakteristik awal batubara sehingga diperoleh perbandingan awal dan hasil *treatment* menggunakan radiasi gelombang mikro. Hasil pengujian analisa karakteristik awal batubara Jambi dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil analisa batubara kondisi awal

Parameter Analisa	Satuan	Hasil
Total Moisture	%	45,04
Inherent Moisture	%	16,70
Ash Content	%	3,93
Volatile Matter	%	42,32
Fixed Carbon	%	37,05
Total Sulfur	%	0,23
Gross Calorific Value	ARB	3577
Peringkat Batubara		Lignit

Hasil analisa batubara kondisi awal (Tabel 2) menunjukkan bahwa batubara Jambi termasuk dalam peringkat lignit, berdasarkan klasifikasi ASTM D388-12. Batubara Jambi merupakan batubara dengan peringkat lignit. Lignit adalah bahan bakar dengan harga murah namun memiliki kandungan air 25% - 60%. Hal tersebut sangat membatasi aplikasinya karena ketika batubara peringkat rendah dibakar dalam *boiler*, sekitar 7% -10% bahan bakar digunakan untuk menguapkan kelembaban batubara. Penggilingan, pemisahan dan klasifikasi batubara dengan kelembaban tinggi sulit untuk ditangani karena batubara akan lengket pada alat sehingga prosesnya membutuhkan waktu yang lama. Batubara peringkat rendah juga cenderung terbakar secara spontan

### Analisis Hasil Treatment Radiasi Gelombang Mikro

Pemanfaatan gelombang mikro memiliki banyak kelebihan dibandingkan pemanasan dengan pemanasan konvensional dikarenakan waktu pemanasan menggunakan gelombang mikro lebih cepat karena tingkat pemanasan tinggi. Semakin lama waktu pemanasan menggunakan gelombang mikro maka semakin tinggi suhu yang dihasilkan. Pemanasan yang dihasilkan lebih seragam karena pemanasan bergantung pada kondisi material, kondisi material yang lembab lebih panas dibandingkan kondisi kering [7].

Peningkatan kualitas batubara Jambi melalui radiasi gelombang mikro dapat dilihat pada Tabel 3 dan parameter proximate analisis (*inherent moisture, ash*

content, volatile matter, fix carbon) dan total sulfur setelah dilakukan radiasi gelombang mikro dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 3.** Hasil analisa kandungan *total moisture* dan *gross calorific value* setelah dilakukan radiasi gelombang mikro

Daya - Ketebalan	Waktu	TM	GCV	Kenaikan Kalori
	Menit	%	Kkal/Kg	Kkal/Kg
720W-9 cm	27	14,44	5476	1899
720W-11 cm	50,5	12,56	5648	2071
720W -13 cm	53	13,25	5638	2061
810W-9 cm	24,5	11,86	5753	2176
810W-11 cm	27,5	15,18	5519	1942
810W-13 cm	29	13,99	5584	2007
900W-9 cm	20,5	14,97	5551	1974
900W-11 cm	24	11,30	5808	2231
900W-13 cm	32	10,88	5790	2213

**Tabel 4.** Hasil analisa *proximate* dan total sulfur setelah dilakukan radiasi gelombang mikro

Daya - Ketebalan	IM	ASH	VM	FC	TS
720W - 9 cm	13,70	5,47	43,42	37,41	0,25
720W - 11 cm	10,81	4,43	45,13	39,63	0,26
720W - 13 cm	10,72	4,33	45,26	39,69	0,26
810W - 9 cm	10,02	4,15	46,27	39,56	0,26
810W - 11 cm	12,97	3,74	43,96	39,33	0,23
810W - 13 cm	11,13	3,92	44,95	40,00	0,22
900W - 9 cm	12,80	4,65	45,69	36,86	0,23
900W - 11 cm	9,51	3,87	46,45	40,17	0,25
900W - 13 cm	9,57	4,10	45,84	40,49	0,23

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 dapat diketahui bahwa pemanasan dengan gelombang mikro dapat mengubah kualitas batubara. Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa pemanasan dengan gelombang mikro yang dilakukan pada batubara provinsi Jambi dapat menurunkan *total moisture* sebesar 33,74% – 29,86% sehingga mengalami kenaikan kalori dengan rentang 1899 Kkal/Kg hingga 2231 Kkal/Kg dan waktu pemanasan 27 menit hingga 53 menit. Kenaikan kalori batubara dan penurunan *moisture* sangat signifikan karena batubara Jambi merupakan peringkat lignit yang mengandung air hampir 50%. Manfaat pengeringan batubara peringkat rendah yaitu peningkatan nilai kalori, penurunan biaya transportasi

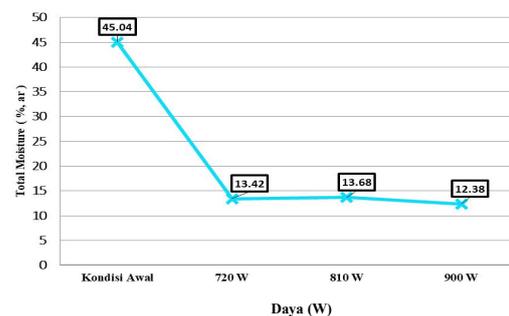
dan penanganan, efisiensi yang lebih tinggi selama pembakaran dan penurunan emisi pembangkit listrik.

### Pengaruh Radiasi Gelombang Mikro

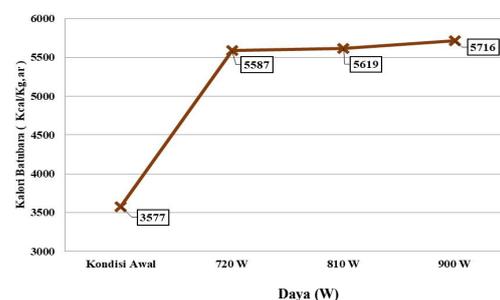
Pengaruh radiasi gelombang mikro terhadap penggunaan daya dan ketebalan batubara yaitu sebagai berikut :

#### a. Pengaruh Daya Gelombang Mikro

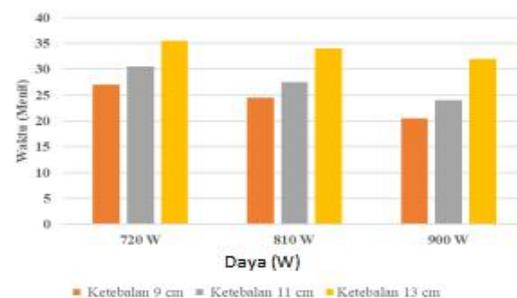
Daya gelombang mikro yang digunakan pada penelitian ini yaitu daya 720W, 810W dan 900W. Pengaruh besarnya daya yang digunakan terhadap hasil *total moisture*, nilai kalori dan waktu pemanasan hingga mencapai nilai *air dry loss* pada pengujian karakteristik awal dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4.



**Gambar 2.** Pengaruh daya terhadap nilai *total moisture*



**Gambar 3.** Pengaruh daya terhadap nilai kalori



**Gambar 4.** Pengaruh daya terhadap waktu

Gambar 2 dan Gambar 3 memperlihatkan bahwa penggunaan daya mempunyai pengaruh terhadap nilai *total moisture* dan kalori batubara. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada batubara Jambi, semakin tinggi daya yang digunakan maka semakin tinggi nilai kalori batubara yang dihasilkan. Penggunaan daya 900W menghasilkan nilai *total moisture* yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan daya 720W dan 810W sehingga nilai kalori yang dihasilkan menjadi lebih besar.

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa semakin rendah daya yang digunakan maka semakin lama waktu yang diperlukan untuk mengurangi *moisture*. Waktu yang paling lama digunakan untuk penurunan *moisture* yaitu penggunaan daya 720W sedangkan waktu yang paling cepat yaitu penggunaan daya 900W. Penggunaan daya yang lebih tinggi menyebabkan penyerapan gelombang mikro lebih banyak pada partikel batubara karena gelombang mikro dapat dengan mudah menembus permukaan batubara yang kering dan memanaskan area yang lembab di dalam partikel batubara, menghasilkan panas internal dan tekanan uap, memaksa uap air untuk bermigrasi ke permukaan sehingga semakin tinggi daya yang digunakan maka secara signifikan dapat memperpendek waktu pengeringan.

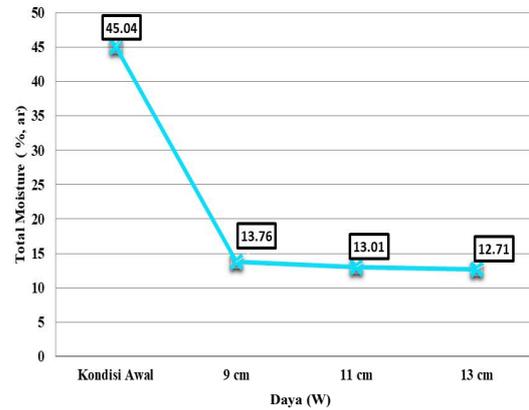
Peningkatan level daya output menghasilkan lebih banyak penyerapan gelombang mikro oleh molekul air di dalam batubara, yang mengarah ke tingkat pengeringan yang lebih tinggi dan waktu pengeringan yang lebih kecil [8-9]. Level daya gelombang mikro harus dipilih sesuai dengan tujuan pemanasan batubara. Penggunaan level *power* yang lebih rendah cocok untuk pemanasan gelombang mikro yang menghasilkan panas yang homogenitas dan penghematan energi. Penggunaan level *power* yang lebih tinggi digunakan untuk pemanasan diferensial atau pemanasan cepat seperti pirolisis, *coking*, penggilingan dan kominusi batubara, desulfurisasi dan *recovery* CBM [6].

**b. Pengaruh Ketebalan Batubara**

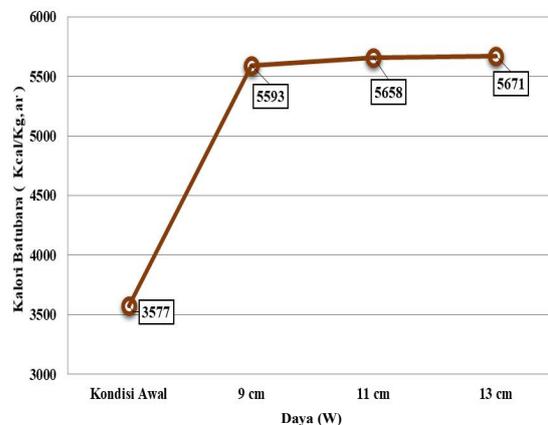
Radiasi Gelombang mikro dilakukan dengan tiga variasi ketebalan. Batubara dimasukkan ke dalam *beaker glass* berukuran 1000 ml dengan variasi ketebalan batubara 9cm, 11cm dan 13cm. Variasi ketebalan dilakukan untuk melihat efektifitas penghilangan *moisture* pada batubara. Pengaruh ketebalan batubara terhadap hasil *total moisture* dan nilai kalori dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Berdasarkan hasil penelitian seperti yang terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6, peningkatan kualitas batubara Jambi melalui radiasi gelombang mikro diperoleh pengaruh ketebalan batubara terhadap kandungan *total moisture* dan nilai kalori batubara yang menunjukkan bahwa batubara dengan ketebalan 13cm menghasilkan *total moisture* yang lebih rendah dari ketebalan 9cm dan

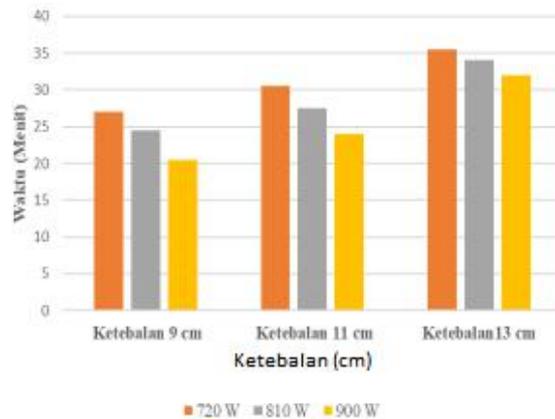
11cm sehingga kalorinya meningkat menjadi 5671 Kcal/Kg dengan nilai kalori awal 3577 Kcal/Kg.



**Gambar 5.** Pengaruh ketebalan terhadap nilai *total Moisture*

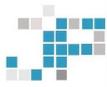


**Gambar 6.** Pengaruh ketebalan terhadap nilai kalori



**Gambar 7.** Pengaruh variasi ketebalan

Pengaruh ketebalan batubara terhadap waktu pemanasan (Gambar 7) memperlihatkan bahwa ketebalan batubara yang membutuhkan waktu penurunan *moisture* paling cepat adalah ketebalan 9cm, sedangkan waktu yang



dibutuhkan untuk menurunkan *moisture* paling lama yaitu ketebalan 13cm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tebal batubara maka semakin lama waktu yang diperlukan untuk menurunkan *moisture* batubara. Hal ini berkaitan dengan jumlah energi yang ditransfer ke partikel batubara. Absorpsi gelombang mikro pada *sample* batubara menurun ketika ketebalan *sample* batubara meningkat karena jumlah daya yang diserap oleh *sample* meningkat. Tingkat ketebalan *sample* berpengaruh karena berhubungan dengan jumlah massa air total yang terkandung akan lebih besar sehingga pada tingkat penggunaan daya keluaran gelombang mikro yang sama, dibutuhkan lebih banyak waktu untuk proses pengeringan.

Pemanasan melalui gelombang mikro dapat menghilangkan hampir semua air dengan sangat cepat dan pengeringan gelombang mikro lebih efektif dalam menghilangkan air yang terikat lebih longgar tetapi penghilangan molekul air yang lebih terikat atau terletak di struktur pori yang lebih dalam akan lebih sulit dan membutuhkan energi yang lebih besar [10].

## KESIMPULAN

Hasil penelitian diperoleh analisa karakteristik batubara awal pada batubara Jambi yaitu *total moisture* 45,04% dengan nilai *gross calorific value* (ar) yaitu 3577 Kcal/Kg. Setelah dilakukan *treatment* dengan radiasi gelombang mikro diperoleh penurunan kandungan *moisture*. Semakin tinggi kandungan *total moisture* batubara, maka semakin banyak *total moisture* yang dapat dihilangkan melalui radiasi gelombang mikro. *Sample* batubara Jambi memiliki rata-rata penurunan *total moisture* 31,62 %, 31,36 %, 32,66 % dan kenaikan kalori sebesar 2011 kalori, 2042 kalori, 2139 kalori. Semakin rendah daya yang digunakan maka semakin lama waktu yang diperlukan untuk menurunkan kandungan *moisture*. Waktu yang paling lama digunakan untuk penurunan *moisture* yaitu penggunaan daya 720W sedangkan waktu yang paling cepat yaitu penggunaan daya 900W. Semakin tebal batubara maka semakin lama waktu yang diperlukan untuk menurunkan *moisture* batubara karena berkaitan dengan jumlah energi yang ditransfer ke partikel batubara.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim (2018). *Report on Indonesia Mining Sector diagnostic*. Indonesia Mining Institute.
- [2] Binner, Eleanor., Lester, Edward., Kingman, Sam., Dodd, Chris., (2014). A review of microwave coal processing. *Jurnal Microwave power and electromagnetic energy*.
- [3] Komariah, EW. (2012). *Peningkatan Kualitas Batubara Indonesia Peringkat Rendah Melalui Penghilangan Moisture dengan Pemanasan Gelombang Mikro*. Tesis,

- Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Kimia : Universitas Indonesia.
- [4] Tahmasebi, Arash., Yu, Jianglong., Li, Xianchun. (2011). Experimental study on microwave drying of Chinese and Indonesian low-rank coals. *Jurnal Fuel Process Technology* 92, 1821-1829.
  - [5] Ge, Lichao., Zhang Y., Wang Z., Zhou J., Cen K. (2013). Effects of microwave irradiation treatment on physicochemical characteristics of Chinese low-rank coals. *Jurnal Energy Conversation and Management* 71, Page : 84-91.
  - [6] Lin, Baiquan., Li, He., Chen, Zhongwei., Zheng, Chunshan., Hong, Yidu and Wang, Zheng.,(2017). Sensitivity Analysis on The Microwave Heating of Coal : A Coupled Electromagnetic and Heat Transfer Mode. *Jurnal Applied Thermal Engineering*.
  - [7] Song, Zhanlong., Jing, Chuanming., Yao, Liansheng. (2016). Microwave drying performance of single-particle coal slime and energy consumption analyses. *Jurnal Fuel Processing Technology* 143, 69–78.
  - [8] Yi.-du. Hong, Lin, Bai-quan., Li, H., Dai, H.-m., Zhu, C.-j., Yao, H. (2015) Three-dimensional simulation of microwave heating coal sample with varying parameters, *Jurnal Applied Thermal Engineering* 93, 1145-1154.
  - [9] Pickles, C.A, Gao, F., Kelebek, S., (2013). Microwave drying of a low-rank sub-bituminous coal. *Jurnal Minerals Engineering*.
  - [10] Mesroghli, Sh., Yperman, J., Jorjani, E., Carleer, R., Noaparast., (2015). Evaluation of microwave treatment on coal structure and sulfur species by reductive pyrolysis-mass spectrometry method. *Jurnal Fuel Processing Technology* 131, 193–202.