

# Pengaruh *Equilibrium* Kandungan Air Batubara Halus Terhadap Nilai Kalor Bakar Batubara Halus (*Fine Coal*)

Mawardi<sup>1</sup>, Hary Sanjaya<sup>2</sup>, Meyci Trisna<sup>3</sup>

*Chemistry Department State University of Padang, West Sumatera, Indonesia*

*Pembimbing I<sup>1</sup>, Pembimbing II<sup>2</sup> Mahasiswa SI Kimia<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>mawardianwar@yahoo.com, <sup>2</sup>hari.s@fmipa.unp.ac.id, <sup>3</sup>meycitrisna@gmail.com

**Abstract** — The increasing of requirement of domestic cement for a number of years will affect directly to usage of coal as especial fuel for cement production. So that Important to know the usage condition of coal yielding coal with superordinate calorific value, with better economic value, and smaller negative impact to environment, where with slimmer usage amount of coal better yield coal with higher calorific value because more and more amount of used coal also will improve the waste that able to influence environment. Have been researched water equilibrium of fine coal with aim to lessen the amount of fine coal usage for cement production process, because from data result of research got calorific value which mounting of fine coal after done equilibrium of water content in fine coal. Fine coal sample before and after obstetrical equilibrium of its water is determined change of that calorific value (Cal/g) use Bomb Calorimeter PARR 1261, content of water (%) use Moisture Analyzer, content of sulphur (%), and its dusty content. Result of which is got that after water equilibrium happened minimizing the mass of fine coal's sample, after done the determination of water content happened minimizing of water content that is equal to 3.14% or happened minimizing that equal to 17% from water content before equilibrium. While for the calorific value increase until 189 Cal/g or happened increase equal to 3% from calorific value of sample before equilibrium, for sulphur and dusty content happened increase successively equal to 7% and 5% from content of sample before equilibrium.

**Keywords** — Fine coal, water content equilibrium, calorific value, and sulphur.

## I. PENDAHULUAN

Batubara merupakan bahan bakar langsung yang digunakan di industri semen yang digunakan dalam bentuk bubuk atau batubara halus (*fine coal*). Batubara berasal dari hasil penambangan batubara yang telah melalui proses pemecahan dan pencucian sebelum dikirim ke pabrik, di pabrik selanjutnya batubara digiling untuk memperoleh batubara halus (*fine coal*) yang merupakan batuan sedimen yang dapat terbakar sebanyak 50% hingga 70% volumenya yang selanjutnya digunakan untuk proses pembakaran pada proses produksi semen.

Equilibrium adalah suatu perlakuan terhadap batubara mentah (*Raw coal*) di laboratorium kimia PT Semen Padang dimana lengas bebas (free moisture content) akan terlepas ke udara apabila batubara dibiarkan di dalam suatu ruang pada suhu kamar, sampai terjadi kesetimbangan dengan kondisi udara di sekitarnya (Sudarsono, 2003: 12).

Maka istilah equilibrium yang digunakan di PT Semen Padang merupakan suatu istilah yang mewakili terjadinya kesetimbangan kandungan air di dalam batubara halus yang selanjutnya akan digunakan sebagai bahan bakar pada

pembuatan semen. Terjadinya kesetimbangan kandungan air pada batubara halus ini selanjutnya dibuktikan dengan penelitian ini bahwa sampel batubara halus yang digunakan disimpan di dalam suatu ruangan yang terisolasi dengan temperatur yang dijaga pada 25°C dengan kelembaban 60%.

Berat sampel sebelum dan setelah equilibrium diukur, maka selanjutnya adalah mengamati pengaruh perlakuan tersebut terhadap sampel penelitian (variable terikat), disini penulis telah meneliti pengaruh equilibrium terhadap kalor bakar, kandungan air, kandungan abu, dan kandungan sulfur dari sampel, sehingga dari hasil ini akan diketahui kualitas batubara tersebut dan kondisi penggunaan terbaik yang akan digunakan dalam proses produksi semen.

Konsep kesetimbangan sangat penting dalam menentukan arah proses, karena semua proses spontan menuju ke keadaan setimbang. Sistem disebut dalam keadaan setimbang jika tidak terjadi perubahan yang berarti antara sistem dengan lingkungannya, bila keduanya mengadakan kontak satu sama lain, (Syukri, 1999: 71).

Menurut hukum termodinamika (Alberty, 1983) ada dua jenis kesetimbangan, yaitu kesetimbangan fasa dan kesetimbangan kimia. Pada kesetimbangan fasa, apakah suatu

zat itu berupa gas, cair, atau padatan ditentukan oleh faktor tekanan dan temperatur. Demikian pula, kedua faktor ini menentukan kesetimbangan fasa dari materi yang sama. Seperti telah diketahui, sistem merupakan bagian alam semesta yang akan dipelajari.

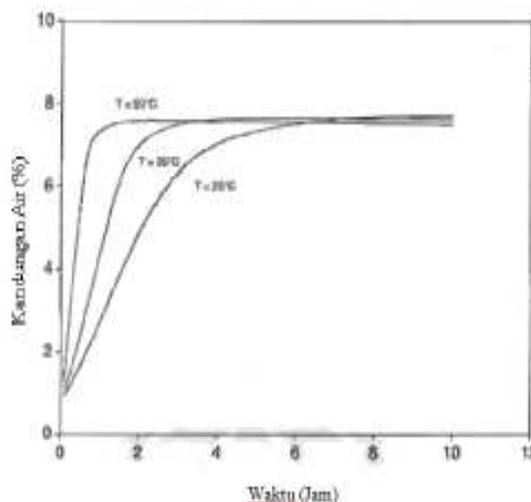
Kesetimbangan fasa dari suatu sistem harus memenuhi persyaratan berikut, yaitu sistem mempunyai lebih dari satu fasa meskipun materinya sama, terjadi perpindahan reversibel spesi kimia dari satu fasa ke fasa lain, dan seluruh bagian sistem mempunyai tekanan dan temperatur yang merata.

Suatu sistem heterogen, terdiri dari berbagai bagian yang homogen yang saling bersentuhan dengan batas yang jelas. Bagian homogen ini yang dapat dipisahkan secara mekanik disebut fasa. Oleh karena gas-gas itu bercampur secara sempurna maka dalam sistem gas hanya terdapat satu fasa. Namun sistem padatan dan sistem cairan dapat terdiri dari beberapa fasa. Jadi fasa adalah setiap bagian sistem yang homogen dan dipisahkan dari bagian lain sistem oleh batas yang jelas, sifat fisik dan sifat kimia berbeda dari bagian lain sistem, dan fasa dapat dipisahkan secara mekanik dari bagian lain sistem itu, (Achmad, 2001: 4).

Terdapat beberapa sistem fasa, yaitu sistem satu fasa, contohnya campuran gas yang tidak dapat bereaksi dan dua cairan yang dapat bercampur, sistem dua fasa, contohnya gas dan padatan ( $I_2$  padat dan uap), gas dan cairan (air dan uap air), padatan dan cairan (belerang monoklin dan rombik), dan dua cairan yang tidak bercampur, dan sistem tiga fasa, contohnya satu padatan, satu cairan, dan gas (es, air, dan uap air), dua cairan tak bercampur dengan gas, dan dua padatan dan gas (kalsium karbonat, kalsium oksida, dan karbondioksida). Sedangkan pada penelitian ini sistem kesetimbangan yang terjadi adalah sistem dua fasa yaitu gas dan cairan, yaitu antara air dan uap air.

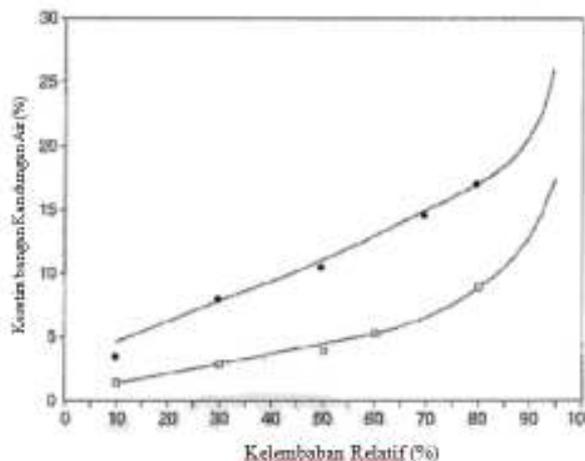
Pada batubara terdapat dua jenis air yaitu lapisan air (*chemically bound*) dan air bebas. Lapisan air mengaktifkan proses oksidasi, sedangkan air bebas menghambat oksidasi. Pada kandungan air di bawah kritikal lapisan air terbentuk, sedangkan air bebas menguap dari permukaan, (McCutcheon & Wilson).

Kedua jenis air di atas akan mengalami proses penyerapan dan pelepasan kandungan air pada batubara. Kesetimbangan penyerapan dan pelepasan kandungan air dari batubara kering atau basah sangat dipengaruhi oleh temperatur dan kelembaban relatif, (Monazam, 1998), dapat dilihat pada gambar berikut :



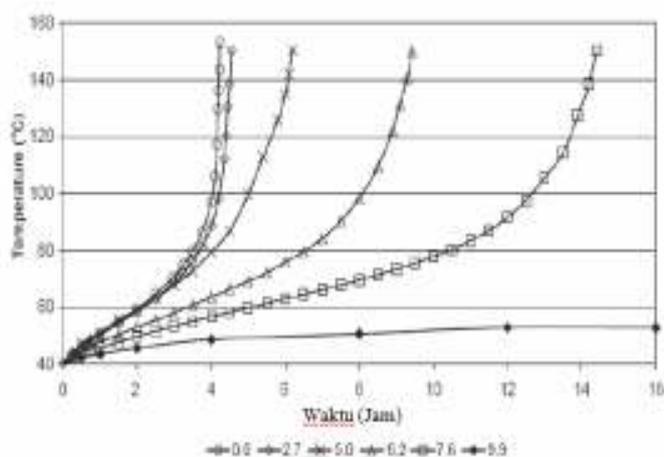
Gambar 2. Pengaruh temperatur terhadap kesetimbangan kandungan air pada satu partikel batubara (Monazam, 1998).

Gambar di atas menunjukkan kondisi apabila batubara diberikan aliran udara dengan kelembaban tertentu maka akan terjadi proses penyerapan dan penguapan air sampai mencapai kesetimbangan kadar air pada batubara. Bertambah besarnya kelembaban maka bertambah tinggi kesetimbangan kandungan airnya, seperti yang dibuktikan oleh Monazam pada gambar berikut :



Gambar 3. Kesetimbangan kandungan air dengan variasi kelembaban (.) Glanville; (o) Nordon dan Bainbrige pada 25°C (Monazam, 1998).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Beamish (2005) dimana pembahasan mengenai pengaruh temperatur terhadap waktu dengan variasi kandungan air pada batubara BH9 (Boundary Hill-9), menghasilkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik temperatur terhadap waktu dengan variasi kandungan air pada batubara BH9 (Boundary Hill-9), (Beamish, 2005)

Pada grafik terlihat bahwa temperatur batubara meningkat terhadap waktu yang dapat diartikan bahwa kandungan airnya berkurang atau terjadi penguapan air hingga mencapai kesetimbangan kadar air pada batubara. Pada grafik ini terlihat temperatur terus meningkat dari jam ke-0 hingga jam ke-12 dan konstan dari jam ke-12 hingga jam ke-16.

Berdasarkan teori di atas bahwa kandungan air dalam fine coal akan berada dalam kesetimbangan bila disimpan pada kondisi lingkungan tertentu, dimana kandungan kimia di dalam batubara memiliki peranan penting didalam pemanfaatan batubara (Bayuseno, 2008). Pada penggunaan batubara di pabrik semen, kandungan yang paling diperhitungkan adalah kandungan karbon dari suatu batubara dimana salah satu parameter penentu kualitas batubara adalah nilai kalor bakarnya yaitu seberapa banyak energi yang dihasilkan persatuan massanya, sehingga kita dapat menentukan jumlah pemakaian batubara untuk pembakaran pada proses produksi semen berdasarkan nilai kalor bakar yang dihasilkan batubara tersebut.

Oleh karena itu, menjadi penting untuk mengetahui kondisi penggunaan batubara yang menghasilkan nilai kalor bakar yang lebih tinggi dengan nilai ekonomis yang lebih baik, dan dampak negatif yang lebih kecil terhadap lingkungan, dimana dengan jumlah penggunaan batubara yang lebih sedikit sebaiknya menghasilkan kalor bakar yang lebih besar karena semakin banyak jumlah batubara yang digunakan juga akan meningkatkan limbah yang dihasilkan yang dapat mempengaruhi lingkungan, maka dalam penelitian ini dipelajari pengaruh equilibrium kandungan air batubara halus dalam meningkatkan nilai kalor bakar batubara halus (fine coal).

## I. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Biro Jaminan Kualitas dan Pelayanan Teknis PT Semen Padang dari bulan November 2012 sampai dengan bulan Januari 2013. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen yaitu penelitian yang mengadakan perlakuan (manipulasi) terhadap variabel penelitian (variabel bebas). Kemudian mengamati pengaruh atau konsekuensi perlakuan tersebut terhadap objek penelitian (variabel terikat).

Sedangkan objek penelitian ini adalah batubara halus (*fine coal*) hasil pengolahan batubara mentah (*Raw Coal*) di pabrik dengan menggunakan peralatan berupa peralatan gelas, Neraca analitis digital, Furnace, Oven, Krus Platina, Krus Porselen, Penjepit Krus, Desikator, Hot Plate, Wadah untuk proses equilibrium, Sendok sampel, Ruang tempat proses equilibrium yang diatur pada temperatur kamar, untuk pengujian kalor berdasarkan ISO Peribol Bomb Calorimeter PARR 1261, yaitu *Water handling system*, Printer PARR 1755, krus, untuk pengujian kadar air *Moisture Analyzer/Sartorius moisture balance* dan sendok sampel.

Sampel yang digunakan adalah batubara halus (*fine coal*) pabrik Indarung II, III, IV, dan V, masing-masing 5 hari produksi dengan reagen dan pelarut HCl 1:1, Indikator Metil Orange, BaCl<sub>2</sub> 10% (m/v), Aquades, NH<sub>4</sub>OH 1:6, Kertas saring Whatman No. 41, Kertas saring Whatman No. 42, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 10% (m/v), dengan prosedur umum equilibrium dimana 250 gram sampel batubara halus pabrik Indarung II, III, IV, dan V ditempatkan dalam wadah dan diratakan, kemudian ditimbang, selanjutnya disimpan pada ruangan equilibrium yang diatur pada temperatur 25°C dengan kelembaban yang diukur pada 60% selama 16 jam, kemudian ditimbang kembali.

Pengaruh equilibrium kandungan air batubara halus terhadap nilai kalor bakar batubara halus (*fine coal*) pada penelitian ini dilihat dari hasil pengukuran nilai kalor bakar, kandungan air, kandungan sulfur, dan kandungan abu dari sampel batubara halus pabrik Indarung II, III, IV, dan V sebelum dan setelah equilibrium dengan jumlah masing-masing 5 sampel untuk setiap pabrik.

## II. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

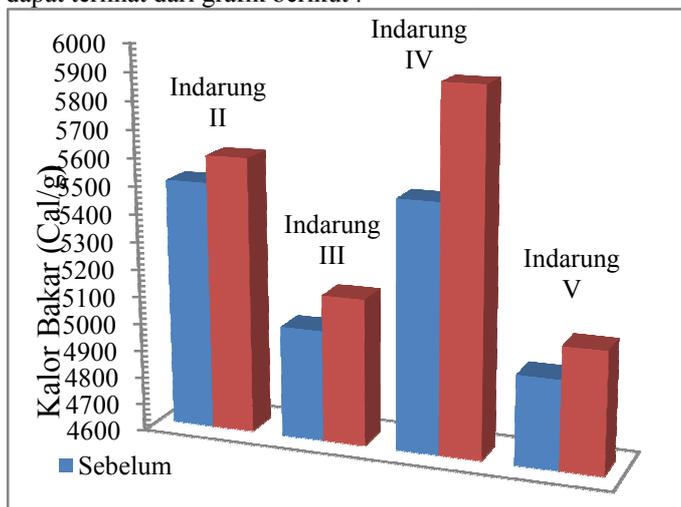
Penentuan nilai kalor bakar sampel batubara halus sebelum dan setelah *equilibrium* dilakukan terhadap sampel batubara halus pabrik Indarung II, III, IV, dan V. Pengaruh *equilibrium* terhadap sampel juga dilihat dari kandungan air, kandungan abu, dan kandungan sulfur dari sampel sebelum dan setelah *equilibrium*, yang dilihat pada 5 sampel untuk setiap pabrik Indarung II, III, IV, dan V.

### A. Pengaruh Equilibrium Terhadap Nilai Kalor Bakar

Pengaruh *equilibrium* kandungan air batubara halus terhadap nilai kalor bakar ini dilihat dari sampel batubara halus pabrik Indarung II, III, IV, dan V sebanyak 5 hari produksi yang telah ditimbang, selanjutnya disimpan pada ruangan *equilibrium* yang dijaga pada suhu tetap, yaitu pada suhu 25°C, selanjutnya nilai kalor bakar sampel batubara

halus sebelum dan setelah *equilibrium* tersebut diuji nilai kalor bakarnya.

Dari hasil pengujian terjadi kenaikan nilai kalor bakar dari masing-masing sampel pabrik Indarung II, III, IV, dan V, namun kenaikan tertinggi adalah pada sampel Indarung IV, terlihat rata-rata selisih nilai kalor bakar sampel batubara halus Indarung IV adalah 407 Cal/g, begitu juga dengan sampel pabrik Indarung II, III, dan V, dengan lebih jelasnya dapat terlihat dari grafik berikut :



Gambar 6. Pengaruh equilibrium terhadap nilai kalor bakar

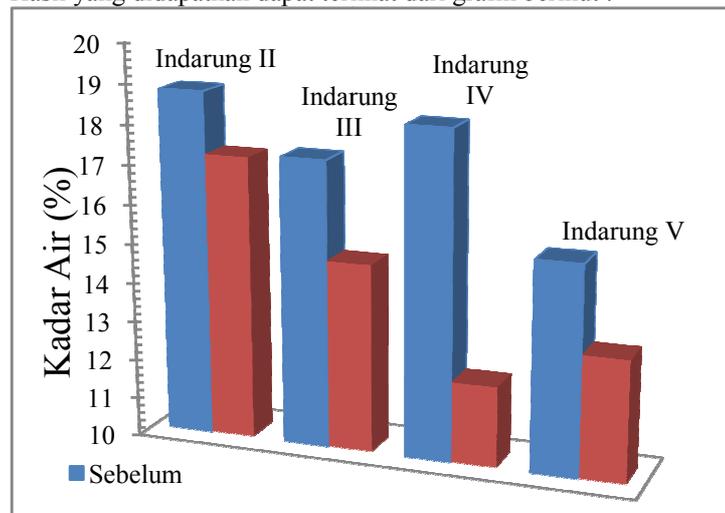
Dari grafik dapat terlihat kenaikan tertinggi nilai kalor bakar batubara halus adalah pada sampel Indarung IV terlihat pada grafik mencapai 400 Cal/g, selanjutnya Indarung III, Indarung V, dan Indarung II. Kenaikan ini tentu saja akan sangat berpengaruh terhadap penggunaan batubara sebagai bahan bakar, dimana batubara dengan nilai kalor tinggi akan disenangi karena akan mengamankan biaya peralatan dan biaya operasi. Batubara dengan nilai kalor tinggi akan menurunkan konsumsi panas spesifik untuk pembakaran klinker, menaikkan secara simultan masukan ke kiln disebabkan oleh temperatur nyala yang tinggi.

Disamping memiliki nilai ekonomis yang lebih baik, batubara dengan kandungan kalor bakar yang lebih tinggi akan menghasilkan dampak negatif yang lebih kecil terhadap lingkungan, dimana dengan jumlah penggunaan batubara yang lebih sedikit juga akan mengurangi limbah yang dihasilkan yang dapat mempengaruhi lingkungan.

#### B. Pengaruh Equilibrium Terhadap Kandungan Air

Pengaruh *equilibrium* terhadap kandungan air dilihat dari sampel batubara halus pabrik Indarung II, III, IV, dan V, masing-masing 5 hari produksi, kemudian dilakukan pengukuran kandungan airnya terhadap setiap sampel sebelum dan setelah *diequilibrium* dengan menggunakan alat *Moisture analyzer* (*Sartorius Moisture Balance*), dimana hasil yang

didapatkan berupa persen hasil kandungan air dalam sampel. Hasil yang didapatkan dapat terlihat dari grafik berikut :



Gambar 7. Pengaruh equilibrium terhadap kadar air

Dari grafik terlihat kenaikan tertinggi kandungan air sampel sebelum dan setelah *equilibrium* yaitu terdapat pada sampel pabrik Indarung IV, artinya sampel pabrik Indarung IV merupakan sampel dengan kandungan air tertinggi yang terlepas ke udara, yaitu dari data didapatkan rata-rata selisih kandungan air sebelum dan setelah *equilibrium* untuk Indarung IV adalah sebesar 6.30% (Tabel 4), selanjutnya adalah Indarung III, V, dan II, yaitu masing-masingnya 2.5%, 2.21%, dan 1.56%.

Pengurangan ini tentu saja akan menguntungkan, kadar air batubara terutama sekali akan sangat berpengaruh terhadap titik nyala batubara. Semakin tinggi kadar air batubara maka semakin tinggi pula titik nyala batubara sehingga menyulitkan proses pembakaran. Kadar air batubara yang tinggi juga akan berpengaruh pada masalah handling, volume ruang bakar, sistem pengering (*coal mill*), dan temperatur keluar *fuel gas*.

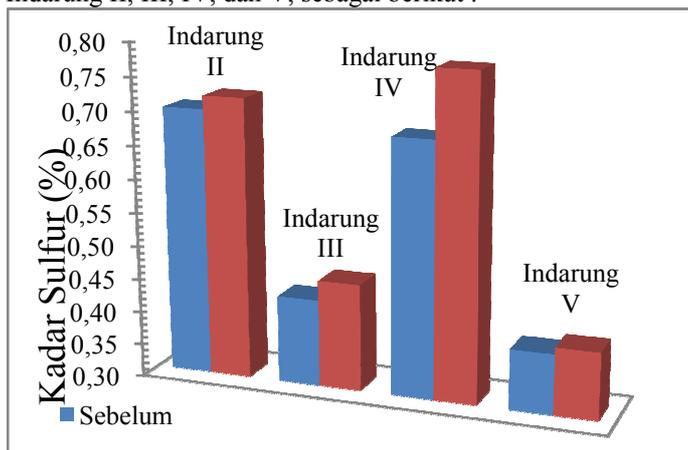
Kadar air tidak hanya berpengaruh pada grindabilitas, tetapi juga pada kapasitas sistem pengeringan. Batubara dengan kadar air tinggi, diatas 15% tidak cukup dikeringkan dalam sirkuit penggerusan konvensional sehingga diperlukan pengeringan terpisah. Dengan kadar air di bawah 15%, sirkuit penggerusan mampu menghasilkan batubara halus dengan kadar 1 sampai 1.5% air dengan menggunakan udara dari pendingin klinker dan gas buang kiln sebagai sumber panas. Kadar air mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas mill. Umumnya, jika kadar air naik 1 sampai 3%, kapasitas tube mill turun sekitar 45-50% dan bersamaan dengan itu konsumsi energi spesifik naik sekitar 10% untuk ukuran partikel yang sama.

#### C. Pengaruh Equilibrium Terhadap Kandungan Sulfur

Pengujian pengaruh *equilibrium* terhadap kandungan sulfur bertujuan untuk melihat selisih kandungan sulfur di

dalam sampel sebelum dan setelah *diequilibrium* kandungan airnya, pengujian kandungan sulfur dilakukan terhadap sampel pabrik Indarung II, III, IV, dan V, masing-masing 5 hari produksi untuk setiap pabrik dengan prinsip pengujian bahwa penentuan kandungan sulfur dilakukan dengan cara mengoksidasi sulfur batubara menjadi  $\text{SO}_2$  dan  $\text{SO}_3$ , senyawa ini selanjutnya diubah menjadi endapan garam sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ). Berat sulfur dihitung dari berat endapan  $\text{BaSO}_4$  yang diperoleh.

Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada grafik hasil pengujian kandungan sulfur sampel batubara halus pabrik Indarung II, III, IV, dan V, sebagai berikut :



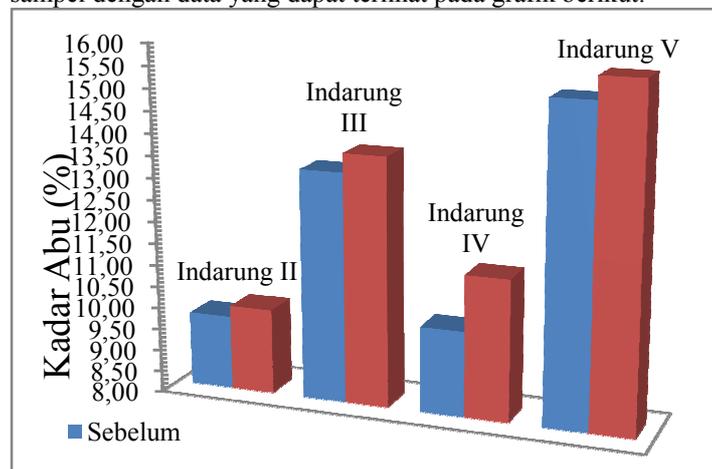
Gambar 8. Pengaruh equilibrium terhadap kandungan sulfur

Dari grafik terlihat terdapatnya selisih kandungan sulfur antara sampel sebelum dengan setelah *equilibrium*, dimana berbeda dengan kandungan air yang berkurang setelah dilakukan *equilibrium*, untuk kandungan sulfur terjadi sebaliknya, yaitu terjadi peningkatan kandungan sulfur pada masing-masing sampel, namun masih dalam batas yang diizinkan atau dibawah nilai ambang batas kandungan sulfur batubara, seperti dapat kita lihat pada grafik di atas dimana kenaikan yang terjadi tidak terlalu besar, yaitu kenaikan tertinggi adalah pada sampel pabrik Indarung IV, yaitu sekitar 0.1%, selanjutnya yaitu berturut-turut Indarung II, III, dan V yaitu 0.03%, 0.03%, dan 0.01%.

Senyawa sulfur di dalam batubara tentunya juga akan mempengaruhi operasi pembakaran dan akhirnya juga akan mempengaruhi operasi boiler. Apabila batubara dipakai sebagai bahan bakar untuk pabrik semen, maka adanya unsur sulfur dalam batubara tidak terlalu menimbulkan masalah. Sulfur memasuki tanur putar bersama-sama material umpan, keluar sebagai kalsium sulfat di dalam klinker dan dalam jumlah lebih kecil keluar bersama-sama gas buang. Standar Industri membatasi jumlah kalsium sulfat di dalam klinker itu cukup tinggi, sehingga batubara dengan kadar sulfur sampai 3% atau 4% masih bisa digunakan tanpa menimbulkan masalah yang berarti.

#### D. Pengaruh Equilibrium Terhadap Kandungan Abu

Pengaruh *equilibrium* terhadap kandungan abu dilihat pada sampel pabrik Indarung II, III, IV, dan V, yaitu dengan menimbang residu sampel setelah pembakaran pada suhu  $800^\circ\text{C}$  selama 2 Jam, sehingga diperoleh kandungan abu dari sampel dengan data yang dapat terlihat pada grafik berikut:



Gambar 9. Pengaruh equilibrium terhadap kadar abu

Dari grafik juga terlihat kenaikan kandungan abu terbesar setelah *equilibrium* adalah pada sampel Indarung IV yaitu terlihat sekitar 1 %, selanjutnya berturut-turut pada sampel Indarung V, III, dan II, yaitu sebesar 0.51%, 0.43%, dan 0.26%. Pada Industri semen, kuantitas abu dalam batubara jarang menimbulkan masalah karena abu akan menjadi klinker. Akan tetapi yang terpenting bahwa kuantitas (jumlah dan jenis komponen abu) harus konsisten sehingga bisa dibuat dengan perbandingan tertentu sebagai bagian dari umpan keseluruhan. Disamping itu, komposisi abu juga harus sesuai dengan komposisi klinker, artinya tidak mengandung komponen tertentu dalam jumlah banyak, misalnya fosfor yang dapat memberi pengaruh negatif pada kualitas semen.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh *equilibrium* kandungan air terhadap nilai kalor bakar batubara sangat besar, ini terlihat dari hasil pengujian bahwa kalor bakar sampel Indarung IV meningkat hingga 407 Cal/g, atau sekitar 7% dari kandungan kalor bakar semula, hasil ini tentu saja akan memberikan manfaat tidak hanya bagi PT Semen Padang tetapi juga terhadap lingkungan apabila proses *equilibrium* kandungan air ini

- dapat diaplikasikan terhadap batubara halus sebelum digunakan sebagai bahan bakar.
2. Dari empat sampel pabrik Indarung II, III, IV, dan V yang diuji, equilibrium kandungan air dalam meningkatkan nilai kalor bakar batubara halus paling efektif terjadi pada sampel pabrik Indarung IV, ini dapat dilihat dari hasil kenaikan nilai kalor bakar tertinggi setelah diequilibrium yaitu terjadi pada sampel Indarung IV dengan kenaikan mencapai 7%.
  3. Dari hasil pengujian kalor bakar dan kandungan air juga dapat disimpulkan bahwa, semakin besar kandungan air maka kandungan kalor bakar sampel akan semakin kecil, sehingga *equilibrium* sampel akan menjadi efektif untuk meningkatkan kandungan kalor bakar sampel dan untuk mengurangi kandungan airnya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada Bapak Dr. Mawardi, M.Si. dan Bapak Hary Sanjaya, M.Si. serta kepada Bapak Drs. Bahrizal, M.Si., Ibu Yerimadesi, M.Si., dan Ibu Desy Kurniawati, M.Si., tidak lupa seluruh staf pengajar jurusan Kimia FMIPA UNP.

#### REFERENSI

- [1] Achmad, Hiskia. 2001. *Wujud Zat dan Kesetimbangan Kimia*. Bandung: PT Citra Aditya Bakti.
- [2] Alberty, Robert A, dan Daniels, Farrington. 1983. *Kimia Fisika (terjemahan)* edisi ketujuh. Jakarta: Erlangga.
- [3] Beamish, B.B., Hamilton, G.R. 2005. *Effect of Moisture Content on the R70 Self-Heating Rate of Callide Coal*. International Journal of Coal and Geology. 64. 133-138.
- [4] Bayuseno, dkk. 2008. *Pengaruh Sifat Fisik dan Struktur Mineral Batu Bara Lokal Terhadap Sifat Pembakaran*. Semarang: UNDIP.
- [5] British Standard. 1997. *Analysis and testing of coal and coke*. BS 1016 Part 104,1. Determination of moisture content of the general analysis sample of coal. London: BSI.
- [6] McCutcheon, Alan L, Wilson, Michael A. 2002. *Low Temperature Oxidation of Bituminous Coal and The Influence of Moisture*. International Journal of Energy and Fuels. 12. 1299-1304.
- [7] Muchjidin. 2006. *Pengendalian Mutu dalam Industri Batubara*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- [8] Monazam, Esmail, R. 1998. *Water Absorption and Desorption by Coals and Chars*. International Journal of Energy and Fuels. 12. 1299-1304.
- [9] Napitulu, Farel H. 2006. *Analisis Nilai kalor Bahan Bakar Serabut dan Cangkang sebagai Bahan Bakar Ketel Uap di Pabrik Kelapa*. Vol 23. No1 ISSN : 0854-4468.
- [10] Nugroho, Y., S. Muksin. 2006. *Pengaruh Kandungan Air dan Temperatur Awal Pada Laju Pembakaran Spontan Batubara Peringkat Rendah*.
- [11] Thompson, Stephen., Staley, Joe., & Peacock, Mery. *General Equilibrium*. United States: United States Department of Education Press.
- [12] Rigel, Satria. 2006. *Pengukuran Kalori pada Tepung sagu, Tepung Terigu dan Gula dengan menggunakan Calorimeter Bomb*. Dalam <http://eprints.undip.ac.id/26431>, diakses 29 Agustus 2012.
- [13] S, Syukri. 1999. *Kimia Dasar 1*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [14] Sudarsono, Arief S. 2003. *Pengantar Preparasi dan Pencucian Batubara*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [15] Pasymi. 2008. *Batubara*. Padang: Bung Hatta University Press.