

TEKNOLOGI BAHAN BAKAR CAMPURAN BATUBARA AIR YANG RAMAH LINGKUNGAN

FUEL TECHNOLOGY USING AN ECO-FRIENDLY COAL-WATER MIXTURE

Herry Supriyanto

Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi, BPPT
Puspittek Serpong, Klaster V Bidang Energi, Tangerang Selatan.

Email : Herry_supriyanto57@yahoo.com

Diterima (received) : 28-08-2015, Direvisi (reviewed) : 21-09-2015

Disetujui (accepted) : 04-11-2015

Abstrak

Beberapa keuntungan dapat diperoleh ketika BBM diganti atau dikonversi dengan bahan bakar campuran batubara air. Diantaranya, penghematan bahan bakar minyak secara ekonomis dan memperluas diversifikasi energi dan untuk mengatasi permasalahan angkutan, jarak jauh, polusi, biaya oprasional dan lingkungan. Tujuannya untuk menyediakan bahan baku dalam bentuk slurry untuk keperluan industri. Dengan kandungan abu yang rendah (1,31% abu), nilai kalor sekitar 6000kcal/kg, dan HGI yang cukup tinggi (64), batubara dari Asam-asam, Kalimantan Selatan cukup memberi prospek yang baik sebagai bahan baku pembuatan CWF. Dengan kondisi CWF seperti kandungan batubara: 60% penambahan aditif : 0,30% Keuntungan lainnya adalah pada fasilitas ruang pembakaran seperti pada generator, ruang pembakaran menghasilkan uap dan panas akan menghemat biaya atau harga minyak yang tidak lagi terjangkau. Penggantian minyak ke bahan campuran batubara air dapat dilakukan ketikaciri-ciri fisiknya mendekati ciri-ciri fisik minyak. Fitur tersebut dapat dicapai dengan menghancurkan batubara menjadi bubuk halus kurang dari 75 micron dicampur dengan air dan aditif MCM (Carboxy Methy Cellulose), sehingga menghasilkan cairan yang diinginkan dan stabilitas campuran tersebut tahan lama.

Kata Kunci : aditif, batubara, air, teknologi ramah lingkungan, bahan bakar.

Abstract

Several advantages can be obtained when the fuel is replaced or converted to fuels of coal water mixture. Among them, saving fuel economically and expand energy diversification and to overcome the problems of transport, distance, pollution, operational and environmental costs. The goal is to provide the raw material in the form of slurry for industrial purposes. With a low ash content (1.31% ash), the calorific value of about 6000kcal / kg, and HGI is quite high (64), the coal from acids, South Kalimantan enough to give a good prospect as a raw material for making CWF. CWF with conditions such as the content of coal: 60% additive: 0.30% Another advantage is the facility as the generator combustion chamber, the combustion chamber to produce steam and heat will save the cost or the price of oil is no longer affordable. Replacement of oil to coal water mixture can be done ketikaciri-physical characteristics approaching the physical characteristics of the oil. Such features can be achieved by destroying the coal into a fine powder of less than 75 micron mixed with water and additives MCM (methy Carboxy Cellulose), thus producing the desired fluid and durable stability of the mixture

Keywords : aditif, coal, water, technology using an eco-friendly, fuel.

1. PENDAHULUAN

Pada abad 21 akan terjadi penggeseran peranan energi dari minyak dan gas bumi ke energi alternatif.

Berdasarkan pada tingkat produksi sekarang diperkirakan bahwa pada kira-kira 40 sampai 60 tahun mendatang cadangan minyak dan gas bumi akan habis, apabila tidak diketemukan cadangan

baru. Batubara, salah satu energi alternatif di saat itu akan memegang peranan penting untuk pemenuhan kebutuhan energi di Indonesia, karena cadangannya yang melimpah ruah dan teknologi untuk pemanfaatannya telah siap.

Di antara produk minyak yang peranannya perlu diganti dengan batubara adalah minyak bakar. Seperti diketahui minyak bakar banyak digunakan di industri-industri untuk pembangkitan tenaga listrik, pabrik semen, pembangkit panas tenaga uap dan sebagainya. Suatu potensi pemakaian minyak bakar yang cukup besar terdapat pada industri kecil, kilang-kilang minyak dan produksi uap.

Semua kebutuhan tersebut dapat dicukupi oleh batubara dalam bentuk "Coal Water Fuel" (CWF). Bahan bakar ini berbentuk campuran batubara halus dan air ditambah sedikit aditif CMC (Carboxy Methy Cellulose), yang sifat fisiknya diusahakan mendekati minyak bakar, sehingga instalasi pembakaran minyak bakar yang telah ada dapat dipakai untuk pembakaran CWF. Menurut hasil pengkajian di beberapa negara penggantian minyak bakar dengan CWF pada instansi tersebut ternyata lebih menguntungkan daripada mendirikan instalasi baru pembakaran batu bara halus (Pulverized Coal) (Brochure, 1991).

Selain itu pemakaian CWF akan memberikan keuntungan seperti berikut :

- Menghemat energi minyak atau menambah pendapatan negara.
- Memperluas penganekaragaman pemakaian energi.
- Memperluas penganekaragaman pemakaian batubara.
- Bebas dari penyalaan sendiri.
- Pengangkutan yang lebih mudah pada pengangkutan batubara "bulky".
- Bahan bakar yang lebih bersih, karena dipilih dari proses teknologi batubara bersih.
- Dampak lingkungan yang baik.
- Instalasi pembakaran minyak bakar yang ada dapat dipakai untuk CWF tanpa / dengan sedikit modifikasi.
- Menambah "value added" karena batubara lebih murah dari pada minyak bakar per satuan panasnya.
- Penyerapan tenaga kerja lebih banyak, karena ada proses pembuatan CWF.

Berdasarkan latar belakang dan urgensi di atas, maka diperlukan suatu pengkajian pembuatan CWF dari batubara Indonesia dengan maksud :

- Penerapan teknologi pembuatan CWF pada batubara Indonesia.
- Menggunakan aditif CMC (Carboxy Methyl Cellulose) yang efisien dan murah.
- Penguasaan teknologi Pembuatan CWF itu sendiri.
- Memenuhi kemungkinan penggantian minyak bakar dengan CWF dari batubara Indonesia.

Batubara dalam bentuk slurries di pakai untuk pertama kali pada tahun 1916 sebagai salah satu alternatif sebagai substitusi minyak untuk kebutuhan kapal uap. Pada awalnya teknologi slurries menggunakan minyak sebagai media cair sehingga masih tersisa 60% nilai kalor yang harus disuplai oleh minyak. Kemudian batu bara atau *oil mixtures* diteliti lagi diakhir tahun 1970. Meskipun aplikasinya masih dalam proses pembakaran tidak ada perbedaan dengan minyak, akan tetapi perkembangannya terhambat dikarenakan harga minyak masih cukup rendah, dapat dikatakan batubara atau *oil slurries* tidak kompetitif. Pada *coal water slurries* minyak seluruhnya digantikan dengan air, untuk tujuan penghematan minyak. Penelitian yang pernah ada akan diarahkan untuk menghasilkan *Coal Water Fuel Slurries* secara ekonomis.

Dari berbagai metode dikembangkan untuk memompakan dan menyimpan *coal water Fuel* tanpa merusak karakteristik fluidanya atau yang dapat menyebabkan terjadinya pengendapan partikel batubara dalam slurries. Bila ternyata hal ini ditemukan pembentukan kembali suspensi slurries merupakan proses yang amat susah dilakukan.

Coal water Fuel lebih cocok digunakan dalam gasifier bertekanan dikarenakan penginjek *sian slurries* kedalam reaktor relatif lebih sederhana dibandingkan batubara kering, kondisi yang sama dapat diterapkan pada unit combustor (Baker, et al., 2010).

Perlu diketahui bahwa sifat CWF yang akan menjadi obyek penelitian adalah sifat kestabilan, bilamana sifat alir tidak sempurna, CWF menunjukkan makin tinggi konsentrasi batubara makin stabil CWF yang diperoleh. Kestabilan yang hampir sempurna dapat dicapai oleh CWF dengan konsentrasi batubara 60%. Ternyata karena konsentrasi tinggi, butiran batubara tidak mudah mengendap, tidak seperti halnya campuran encer. Kestabilan CWF dapat dicapai dengan konsentrasi 0,30% penambahan CMC dan 60% konsentrasi batubara. Kestabilan ini dapat didekati dari dua arah, yaitu dari arah penambahan aditif CMC dan dari arah penambahan konsentrasi batubara

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyediakan bahan baku batubara dalam bentuk *slurry* untuk keperluan industri.

2 METODOLOGI

2.1 Bahan Baku

2.1.1 Batubara

Batubara yang dipergunakan berasal dari daerah Asam-asam, Kalimantan Selatan. Batubara digerus dengan “pulverizer” dan kemudian diayak untuk mendapatkan ukuran butir di bawah 200 mesh.

Di samping itu, karena pada waktu produksi nanti diperlukan penggilingan barubara, maka HGI-nya perlu diketahui. Analisis dan pengujian yang dilakukan terhadap batubara asal dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Analisis dan Pengujian Bahan Baku Batubara Bituminous

Analisis dan Pengujian	Hasil
Air lembab (% berat, adb)	18,94
Abu (% berat, adb)	1,36
Zat terbang (% berat, adb)	41,33
Karbon (% berat, adb)	48,42
Belerang (% berat, adb)	0,64
Nilai kalor (kcal/kg)	6,913,00
HGI	62,00

Tabel 2. Analisa Ayak Umpat Batubara

Fraksi (Mesh)	% Berat	Kumulatif Lolos (% Berat)
-200 + 250	8,72	100,00
-250 + 270	9,85	91,28
-270 + 325	23,83	81,43
-325 + 400	14,83	57,62
-400	24,79	42,97

Seperti terlihat pada tabel 1, bahwa kandungan abu rendah bilamana dibandingkan batubara sub-bituminous dengan bron coal yang paling baik adalah sub-bituminous, oleh karenanya batubara ini cocok untuk bahan baku CWF. Demikian pula batubara ini cukup lunak sehingga untuk memperoleh batubara yang halus tidak menjadi masalah.

2.1.2 Aditif

Aditif yang dipergunakan harus efektif dan murah. Aditif mempunyai fungsi untuk menurunkan tegangan permukaan atau “surfactant”. Biasanya berupa zat organik yang mempunyai gugusan -N-CH₂-CH₂-O-. Selain aditif dapat membentuk muatan listrik pada permukaan yang menimbulkan tolak menolak antara butiran batubara korelasi antara gaya elektrostatis dan gaya Van der Waals pada kondisi tertentu dapat mengurangi penggumpalan kationik dan non-ionik. Pada tahap

percobaan sekarang ini akan dicoba aditif kanji, molasses, toksaphon dan CMC (*Carboxyl Methyl Cellulose*).

2.1.3 Karakteristik CWF

Evaluasi hasil percobaan pembuatan CWF didasarkan pada stabilitas dan sifat rheologi CWF didasarkan pada stabilitas dan sifat rheologi CWF. Untuk itu dilakukan tiga macam pengujian karakterisasi :

- Pengujian penetrasi (Pentest)
- Pengujian konsentrasi batubara
- Pengujian rheologi

Pada pengujian penetrasi, dilakukan pengukuran waktu yang ditempuh sebatang gelas dengan dimensi dan berat tertentu untuk menembus lapisan CWF dalam suatu gelas silinder standar. Makin lama waktu yang diperlukan, makin tebal endapan batubara di dasar tabung, kestabilan berkurang (W.A. Ramirez, et. Al., 2008). Dalam pengujian konsentrasi, pengukuran konsentrasi batubara dilakukan di atas, tengah dan bawah. Adanya perubahan konsentrasi batubara yang makin besar antara konsentrasi di atas, tengah dan bawah menunjukkan adanya pengendapan dan CWF tidak stabil. Kestabilan dapat ditunjukkan dengan adanya kestabilan konsentrasi (KK) dipermukaan yang didefinisikan sebagai :

$$KK = \frac{C_t}{C_o} \times 100\%$$

C_t = konsentrasi batubara di permukaan waktu t,
C_o = konsentrasi pada permulaan.

Pengujian rheologi dilakukan dengan viscometer koaksial. Dengan viskositas. Hubungan ketiga parameter tersebut dapat menentukan sifat alir CWF.

2.1.4 Percobaan Pembuatan CWF

Peralatan yang dipakai pada percobaan terdiri dari blender dengan kecepatan putar 13.000 rpm, tabung silinder standar dan alat pengujian pentest dan konsentrasi batubara serta viscometer. Pertama kali dibuat campuran tertentu antara batubara halus, air dan aditif secara manual. Kemudian dimasukkan kedalam blender dan dikocok selama empat menit. CWF yang diperoleh dimasukkan ke dalam tabung gelas standar dan didiamkan selama waktu yang diperlukan. Sementara itu dilakukan pengujian pentest dan konsentrasi batubara secara periodik (M. Pawlik P., 2005).

2.2 Prosedur Penelitian

Pada awal persiapan bahan baku batubara yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah kalimantan selatan. Batubara dicampur dan dikeringkan di udara terbuka pada temperatur kamar. Penghancuran pertama dilakukan dengan menggunakan : *Jaw Crusher*, dan *hammer mill* sampai kita dapat yang berukuran 8 mesh. Kemudian kita bagi menjadi dua bagian : sifat fisik dan sifat kimia batubara serta untuk penelitian pembuatan dan pembakaran CWF . Batubara untuk analisis digiling hingga hancur menggunakan *coffi mill* sampai berukuran -60 mesh, dan batubara untuk penelitian digiling sampai -200 mesh dengan menggunakan *ultra fine mill*. Air yang digunakan CWF adalah air yang dicampurkan batubara dan aditif diambil dari *mixer* melalui penampungan yang disalurkan melalui pipa (M. Prasad, et al., 1977).

2.2.1 Stabilitas

CWF dapat dikatakan stabil bila dalam selang waktu tertentu butiran batubaranya masih dapat terdispersi dan tidak mengendap. Kestabilan diperlukan selama penyimpanan, pengangkutan sampai saat pembakaran. Kestabilan dapat diperpanjang dengan penambahan aditif dan proses hidrotermal untuk batubara peringkat rendah. Faktor yang mempengaruhi kestabilan adalah :

- Sifat permukaan butiran batubara,
- Ukuran dan distribusi ukuran butiran batubara,
- Konsentrasi dan jenis aditif,
- Perlakuan proses hidrotermal.

Sehubungan belum adanya peralatan, perlakuan proses hidrotermal belum dapat dilakukan dalam pengkajian sekarang ini.

2.2.2 Sifat Alir

Sifat alir CWF dapat dinyatakan secara kualitatif dengan sifat rheologinya. CWF bersifat fluida non-newtonian yang berperilaku dengan persamaan :

$$T = T_0 + \eta \frac{du}{dy}$$

Dengan catatan :

- T = tegangan geser,
- T₀ = tegangan luluh,
- η = viskositas mutlak fluida Bingham Plastik.
- $\frac{du}{dy}$ = laju regangan

Persamaan ini hanya berlaku untuk konsentrasi batubara <60 %. Sedangkan untuk konsentrasi batubara >60 % dipakai persamaan :

$$T = T_0 + \eta \left[\frac{du}{dy} \right]^n,$$

dengan “n” adalah hanya berlaku untuk konsentrasi yang menunjukkan hubungan antara tegangan geser dengan laju regangan tidak linier.

Faktor lain yang menunjukkan sifat alir CWF adalah faktor gesekan (f) terhadap dinding pipa pada uji alur regangan dengan persamaan :

$$T = \frac{2T_w}{RV^2}$$

dengan catatan :

- T_w = tegangan geser pada dinding pipa,
- R = koordinat dalam arah radial,
- V = kecepatan rata-rata alir.

2.2.3 Proses Hidrotermal

CWF yang terbuat dari batubara peringkat rendah, kestabilannya dapat dicapai hanya dengan konsentrasi batubara dan kalor rendah. Untuk meningkatkan baik konsentrasi batubara maupun kalornya, dilakukan proses hidrotermal pada temperature 250⁰C dan tekanan 55 atmosfer. Kondisi temperatur dan tekanan tinggi merubah sifat kimia-fisika butiran batubara dan sifat kestabilannya. Hal ini disebabkan :

- Lepasnya CO₂ menyebabkan kadar O₂ menurun, sehingga sifat permukaan butiran batubara bergeser dari hidrofobik yang mendorong kestabilan CWF menjadi lebih baik.
- Pori-pori dalam butira batubara tertutup tar dan lilin sehingga air yang telah keluar pada proses hidrotermal tidak meresap lagi ke dalam butiran batubara. Dengan perkataan lain “inherent moisture” berkurang artinya nilai kalor naik (L.Z. Zou, et al., 2006).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Batubara yang *high calorie* itu lebih baik untuk pembuatan CWF karena kadar abu rendah, nilai *calor* nya tinggi dan tidak merusak lingkungan. Bilamana tingkat “*Pulverized Coal*” yang efektif sebagai bahan bakar CWF karena kadar batubaranya sangat halus dibawah 75 mikron dan waktu pengadukan antara batubara, air dan aditif menggunakan blender dengan kecepatan putar

13.000 rpm, tabung silinder standar dan alat pengujian pentest dan konsentrasi batubara serta viscometer.

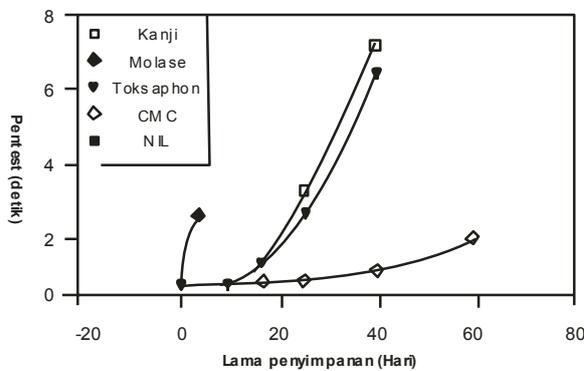
Berdasarkan keharusan sifat aditif yang efektif dan murah, maka pada kali ini dicoba aditif kanji, molasses, teksaphon, disesuaikan dengan sifat masing-masing, sehingga mempunyai viskositas

campuran yang sama. Hasil pengujian pantest dan konsentrasi (pada permukaan) pada percobaan ini dapat dilihat pada tabel 3. Pada Gambar 1 dan 2 dapat terlihat bahwa aditif CMC memberikan kestabilan CWF yang hampir sempurna, dari pada aditif lainya baik ditinjau dari segi pantest maupun uji konsentrasi.

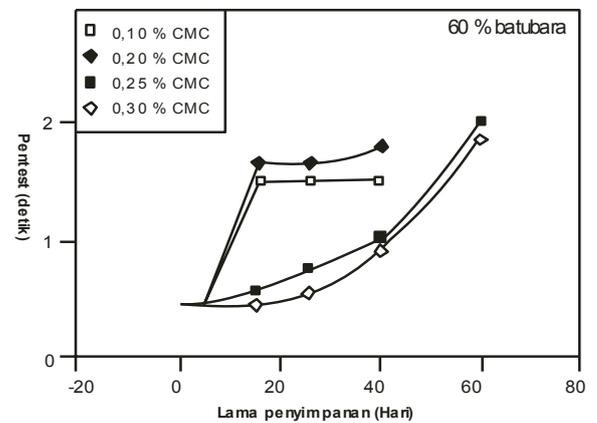
Tabel 3. Pengujian Pentest dan Konsentrasi

Aditif	Pentest						Kestabilan					
	Konsentrasi Aditif						Konsentrasi Aditif					
	0	5	15	25	40	60	0	5	15	25	40	60
Kanji	0,5	0,5	1,3	2,8	7,2	·	100,0	91,0	70,2	63,1	18,8	2,9
Molase	0,5	2,4	·	·	·	·	100,0	79,3	60,4	48,9	11,8	4,8
T phon	0,5	·	·	·	·	·	100,0	35,0	8,3	7,1	1,7	0,0
CMC	0,5	0,5	0,5	0,6	1,0	1,9	100,0	99,9	99,9	99,6	99,5	99,4
NIL	0,5	0,5	12	2,3	6,5	·	100,0	95,0	51,8	4,5	2,9	2,2

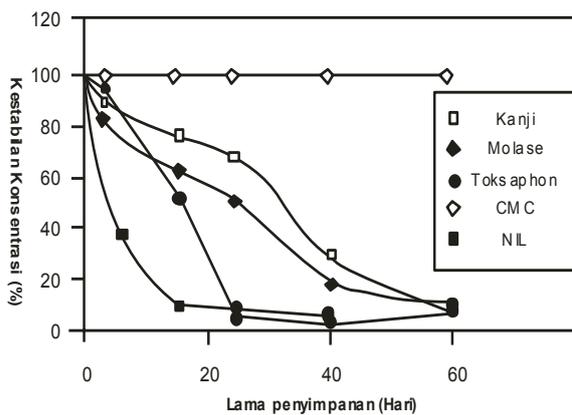
NIL = tanpa penambahan aditif.



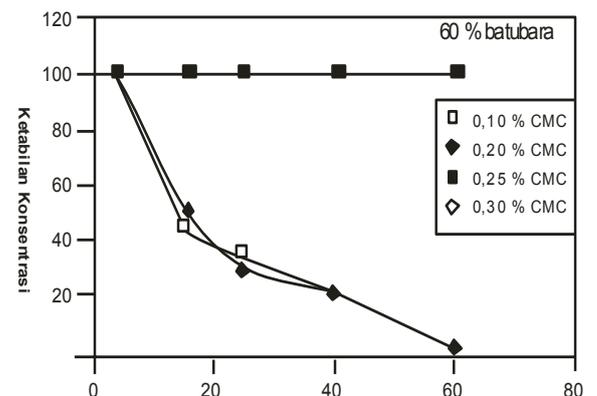
Gambar 1: Pengaruh Jenis Aditif terhadap Kestabilan Pentest.



Gambar 3. Pengaruh Penambahan Aditif CMC terhadap Kestabilan Pentest pada Campuran CWF 60% Batubara.



Gambar 2 : Pengaruh Jenis Aditif terhadap Kestabilan Konsentrasi.



Gambar 4. Pengaruh Penambahan Aditif CMC terhadap Kestabilan Konsentrasi pada Campuran CWF 60% Batubara.

3.1 Pengaruh Jumlah Aditif

Pada percobaan ini hanya dipakai aditif CMC saja dengan variabel jumlah CMC yang ditambahkan pada campuran yang berkonsentrasi batubara 60% berat. Hasil percobaan ditunjukkan pada Tabel 4, Gambar 3 dan Gambar 4. Pada Tabel 4, Gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa makin tinggi penambahan CMC, kestabilan CWF makin baik. Pada penambahan CMC 30%, kestabilan CWF mendekati kestabilan sempurna. Penambahan CMC 0,30% berperan dalam pendispersian partikel batubara mendekati sempurna. Berdasarkan hasil uji konsentrasi, kestabilan CWF dapat dipertahankan sampai 60 hari.

3.2 Pengaruh Konsentrasi Batubara

Percobaan pembuatan CWF dengan aditif CMC dan variabel konsentrasi batubara pada penambahan CMC 0,30% memberikan hasil seperti terlihat pada Tabel 1. Konsentrasi batubara dibatasi sampai dengan 60%, karena penambahan lebih dari harga tersebut, CWF tidak mau mengalir sehingga menyulitkan pada pengujiannya.

Dari Gambar 5 dan 6 terlihat bahwa pengaruh konsentrasi batubara terhadap kestabilan CWF menunjukkan makin tinggi konsentrasi batubara makin stabil CWF yang diperoleh.

Tabel 4. Pengaruh Jumlah Aditif CMC Campuran CWF 60% Batubara

Aditif	Pentest						Kestabilan					
	Konsentrasi Aditif						Konsentrasi Aditif					
	0	5	15	25	40	60	0	5	15	25	40	60
0,10	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	·	100,0	98,9	48,1	34,7	21,5	2,6
0,20	0,5	0,5	1,6	1,6	1,7	·	100,0	99,9	50,6	30,7	20,8	3,1
0,25	0,5	0,5	0,6	0,8	1,1	2,1	100,0	100,0	99,9	99,4	99,0	98,5
0,30	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,9	100,0	100,0	99,9	99,6	99,5	99,4

• Terjadi pergeseeran di dasar tabung.

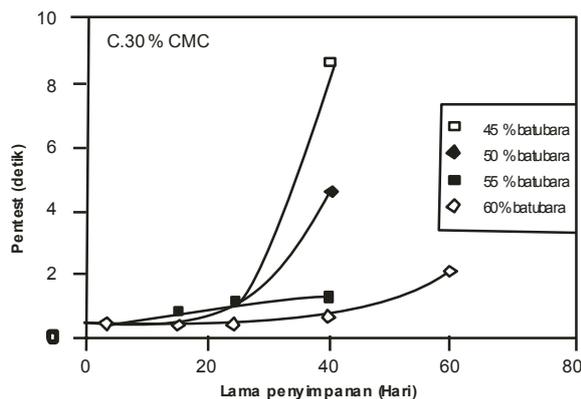
Tabel 5. Pentest pada Campuran CWF 0.30% CMC

Konsen Batubara (%)	Pentest hari ke (detik)						Kestabilan Konsentrasi hari ke					
	0	5	15	25	40	60	0	5	15	25	40	60
	45	0,5	0,6	0,8	1,1	8,4	·	100,0	43,3	14,1	9,5	6,6
50	0,5	0,5	0,5	1,0	4,6	·	100,0	86,8	74,2	69,6	48,0	28,4
55	0,5	0,5	0,7	1,0	1,3	·	100,0	92,8	80,6	54,5	46,4	36,6
60	0,5	0,5	0,5	0,9	0,9	2,1	100,0	100,0	99,9	99,9	99,7	99,5

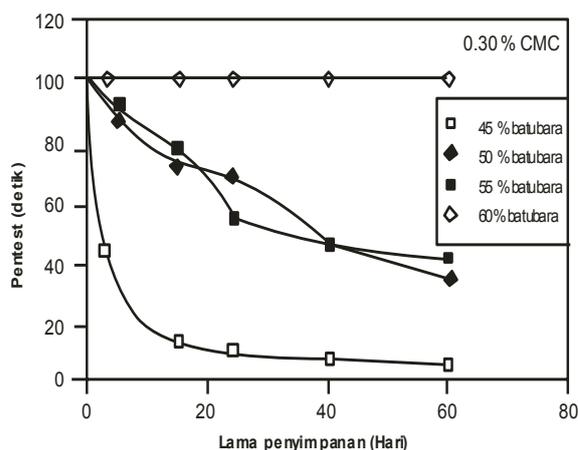
• Terjadi pergeseeran di dasar tabung.

Kestabilan yang hampir sempurna dapat dicapai oleh CWF dengan konsentrasi batubara 60%. Ternyata karena konsentrasi tinggi, butiran batubara tidak mudah mengendap, tidak seperti halnya campuran encer.

Kestabilan CWF dapat dicapai dengan konsentrasi 0,30% penambahan CMC dan 60% konsentrasi batubara. Kestabilan ini dapat didekati dari dua arah, yaitu dari arah penambahan aditif CMC dan dari arah penambahan konsentrasi batubara.



Gambar 5. Pengaruh Konsentrasi Batubara terhadap Kestabilan Pentest Pada Campuran CWF 0,30 % CMC.



Gambar 6. Pengaruh Konsentrasi Batubara terhadap Kestabilan Konsentrasi Pada Campuran CWF 0,30% CMC.

4 KESIMPULAN

Pembuatan CWF di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa kestabilan CWF dapat didekati dari dua arah, yaitu dari penambahan aditif 0,30% dan kandungan batubara, 60% yang ramah lingkungan dengan menggunakan tabung. Dengan kandungan abu yang rendah (1,31% abu), nilai kalor sekitar 6000kcal/kg, dan HGI yang cukup tinggi (64), batubara dari Asam-asam, Kalimantan Selatan cukup memberi prospek yang baik sebagai bahan baku pembuatan CWF.

Dengan kondisi CWF seperti kandungan batubara: 60% penambahan aditif : 0,30% ukuran butiran < 75 mikron dan waktu pengadukan pada 13.000 rpm : 4 menit, kestabilan CWF dapat dicapai sampai dengan 60 hari. Untuk menaikkan nilai kalor CWF yang diperoleh, disarankan supaya dilakukan proses hidrotermal pada temperature 250⁰C dan tekanan 55 atm. Kondisi temperatur dan tekanan tinggi merubah sifat kimia-fisika butiran batubara dan sifat kestabilannya.

DAFTAR PUSTAKA

Baker, G. G. Sears, R.E. and Silvy, A.F., 2010. "Hydrothermal Preparation Of Low Rank Coal

Water Fuel Slurries", Pergamon Journals Ltd., Energy Vol. II, No. 11/12. pp. 1267-1280.th

Brochure of Energy and Environmental Research Center, 1991. Coal Water Fuel, The University of North Dakota, USA.

Itaya Y, Kawahara K, Lee CW, Kobayashi J, Kobayashi N, Hatano S, 2009. Dry gas cleaning process by adsorption of H₂ S into activated cokes in gasification of carbon resources. (available online 25 April).

K.S. Narasimhan, 1997. Proc. 22nd Intern. Tech. Conf. on Coal Utilisation and Fuel System, Florida, USA, March 16–19, Coal and Slurry Technology Association, Clearwater, p. 843.

L.Z. Zou, S.Q. Zhu, X.L. Wang, X.K. Guo, G.W. Cui, 2006. Study on the interaction between different CWS dispersants and coals XI. Interface properties of dispersant-modified coal particles and its effect on the properties of CWS J Chem Ind Eng (China), 34 (2), pp. 160–165.

M. Prasad, B.K. Mall, S.K. Basu, A. Mikherjee, S.K. Verma, K.S. Narasimhan, 1997. Proc. 22nd Intern. Tech. Conf. on Coal Utilisation and Fuel Systems, Florida, USA, March 16–19, Coal and Slurry Technology Association, Clearwater, p. 865 [View Record in Scopus](#).

M.S. Zhou, D.J. Yang, X.Q. Qiu, 2008. Influence of dispersant on bound water content in coal-water slurry and its quantitative determination Energy Convers Manage, 49, pp. 3063–3068.

M. Pawlik, 2005. Polymeric dispersants for coal-Water slurries Colloid s Surf A: Physicochem Eng Aspects, 266 , pp. 82–90.

P. Lowe, 2009. Developments in the thermal drying of sewage sludge Water Environ J, 9, pp. 306–316.

W.A. Ramirez, X. Domene, O. Ortiz, J.M., 2008. Alcaniz Toxic effects of digested, composted and thermally-dried sewage sludge on three plant Biores Technol, 99, pp. 7168–7175.

*HALAMAN INI SENGAJA
DIKOSONGKAN*