

STUDI PENGARUH UKURAN BUTIR BATUBARA DAN TINGKAT KEPADATAN BATUBARA TERHADAP POTENSI PEMBAKARAN SPONTAN PADA SKALA LABORATORIUM

Study of the Effect of Coal Grain Size and Coal Compaction to the Spontaneous Combustion Potential at Laboratory Scale

Nindya Adita Sari¹, Nuhindro Priagung Widodo^{2*}, Ginting Jalu Kusuma³, Ahmad Ihsan⁴, Edo Syawaludin⁵

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Jawa Barat, Indonesia

⁵ PT. Timah Tbk., Jalan Jenderal Sudirman 51, Pangkal Pinang 33121, Bangka

Artikel masuk : 14-06-2020, Artikel diterima : 05-07-2020

ABSTRAK

Pembakaran spontan batubara dapat menjadi masalah yang serius terutama bagi kegiatan penambangan karena dapat menyebabkan terjadinya kebakaran pada penimbunan batubara atau ledakan gas metana pada tambang bawah tanah batubara. Penelitian kali ini akan dititikberatkan pada pengaruh ukuran butir batubara dan tingkat kepadatan batubara terhadap perilaku pembakaran spontan batubara. Ukuran butir yang digunakan dengan penelitian ini adalah -10+14 mesh, -60+80 mesh dan -170+200 mesh dengan tingkat kepadatan 0 kPa dan 50 kPa. Ukuran butir ini dipilih untuk mewakili kondisi ukuran butir relatif besar hingga kecil pada penimbunan batubara, sedangkan tingkat kepadatan diasumsikan berasal dari *ground pressure dozer* sebesar 50 kPa. Dalam penelitian kali ini, digunakan metode oksidasi adiabatik dengan mengalirkan gas oksigen dengan debit 0,05 L/menit pada tabung uji. Selain itu, dilakukan pula pengujian difusi oksigen untuk menentukan laju kenaikan konsentrasi oksigen pada masing-masing parameter. Ukuran butir dan tingkat kepadatan butiran batubara memiliki pengaruh besar terhadap terjadinya pembakaran spontan batubara. Semakin kecil ukuran percontoh maka nilai R_{70} semakin besar. Adanya pemadatan memiliki pengaruh yang berbeda terhadap nilai R_{70} pada ukuran butir yang berbeda.

ABSTRACT

Spontaneous combustion of coal can be a serious problem especially for mining activities because it can cause fires in coal stockpiling or methane gas explosions in coal underground mines. This research will focus on the influence of coal grain size and coal compaction on the spontaneous combustion behavior of coal. The grain sizes used in this study are -10 + 14 mesh, -60 + 80 mesh and -170 + 200 mesh with a compaction pressure of 0 kPa and 50 kPa. This grain size was chosen to represent the condition from large to small grain size in coal stockpile, while the compaction level is assumed to come from the dozer ground pressure of 50 kPa. In this study, an adiabatic oxidation method was used by flowing oxygen gas with a discharge of 0.05 L / min in the test tube. In addition, an oxygen diffusion test was

Kata kunci:

Pembakaran spontan batubara, nilai R_{70} , ukuran butir batubara, tingkat kepadatan batubara. .

Keywords:

Spontaneous coal combustion, R_{70} value, coal grain size, coal compaction.

*Penulis Koresponden: aqung@mining.itb.ac.id

Doi : <https://doi.org/10.36986/impj.v2i1.24>

PENDAHULUAN

Pembakaran spontan adalah suatu reaksi oksidasi yang terjadi tanpa adanya sumber panas eksternal. Hal ini dapat menyebabkan adanya api dan membakar material tersebut. Kecenderungan pembakaran spontan batubara bergantung pada faktor intrinsik (karakteristik batubara, kelembaban, ukuran partikel, luas permukaan, dan lain-lain) serta faktor ekstrinsik (suhu, kelembaban udara, tekanan barometrik, konsentrasi oksigen, bakteri dan lain-lain) (Cliff, Brady dan Watkinson, 2014; Sloss, 2015).

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Widodo, Syawaludin, dan Arifin (2020) dengan ukuran butir antara -3+4 mesh (diameter rata-rata 5,690 mm), -6+8 mesh (diameter rata-rata 2,845 mm), -10+14 mesh (diameter rata-rata 1,410 mm), -60+80 mesh (diameter rata-rata 0,213 mm), -100+140 mesh (diameter rata-rata 0,126 mm) dan -170+200 mesh (diameter rata-rata 0,081 mm). Pada penelitian tersebut juga dikaji pengaruh faktor ekstrinsik yaitu kompaksi batubara dan debit suplai oksigen terhadap pembakaran spontan batubara. Tekanan yang digunakan dalam penelitian tersebut bervariasi mulai dari kondisi tanpa tekanan, kemudian dengan tekanan 10 kPa, 17,2 kPa dan 34,3 kPa. Adapun variasi debit oksigen yang digunakan adalah 0,05, 0,1 dan 0,2 L/menit. Kecenderungan pembakaran spontan pada percontohan batubara yang tertinggi dapat ditemukan pada percontohan dengan parameter ukuran -100+140 mesh, tanpa kompaksi dan debit oksigen sebesar 0,1 L/menit ($R_{70} = 14,65$ °C/jam). Sedangkan untuk debit oksigen 0,05 L/menit, ukuran -170+200 mesh tanpa kompaksi mempunyai R_{70} tertinggi, yaitu 14,750 °C/jam.

Melanjutkan penelitian tersebut, penelitian ini akan meneliti salah satu faktor intrinsik, yaitu ukuran butir batubara dengan variasi ukuran butir yang relatif besar, relatif sedang dan relatif kecil, sedangkan untuk faktor ekstrinsik, penelitian ini akan mengamati pengaruh tingkat kepadatan batubara terhadap difusi oksigen yang mempengaruhi kecenderungan pembakaran spontan batubara.

Secara umum, pemadatan berguna agar pori-pori/celah diantara butiran batubara saling menutup, sehingga oksigen sulit untuk melewati celah diantara butiran batubara dan proses oksidasi akan terhambat. Pada penelitian ini besarnya kompaksi percontohan ditentukan berdasarkan besaran *ground pressure* dari *dozer* yang berada di timbunan batubara (dalam hal ini diasumsikan setara *dozer* yang mempunyai *ground pressure* sebesar 50 kPa).

Metode yang dipakai untuk mengamati kecenderungan pembakaran spontan dalam penelitian ini adalah pemanasan adiabatik. Metode ini digunakan untuk

mengukur secara laju pembakaran spontan batubara secara langsung menggunakan rata-rata laju pembakaran spontan batubara yang diukur pada suhu 40°C-70°C. Laju pembakaran spontan batubara ini dikenal dengan istilah R_{70} .

Nilai R_{70} dirumuskan pada Persamaan (Beamish dan Beamish, 2010), sebagai berikut:

$$R_{70} = (70-40 \text{ }^{\circ}\text{C})/\Delta t_{40-70} \dots \dots \dots (1)$$

Nilai Δt_{40-70} adalah waktu yang dibutuhkan oleh proses oksidasi percontohan batubara untuk meningkatkan temperatur percontohan dari 40 °C sampai 70 °C.

Untuk memahami tingkat risiko pembakaran spontan batubara terhadap nilai R_{70} , penelitian yang pernah dilakukan terhadap batubara Queensland mengklasifikasikan tingkat risiko sebagai berikut (Beamish, Edwards dan Theiler, 2018; Saffari, Ataei dan Sereshki, 2019): nilai $R_{70} < 0,5$ °C/jam dianggap mempunyai risiko kecil (*low*), $0,5 \leq R_{70} < 1,0$ °C/jam dianggap mempunyai risiko kecil sampai menengah (*low-medium*), $1,0 \leq R_{70} < 2,0$ °C/jam dianggap mempunyai risiko medium (*medium*), $2,0 \leq R_{70} < 4,0$ °C/jam dianggap mempunyai risiko tinggi (*high*), $4,0 \leq R_{70} < 8,0$ °C/jam dianggap mempunyai risiko sangat tinggi (*very high*), $8,0 \leq R_{70} < 16,0$ °C/jam dianggap mempunyai risiko ultra tinggi (*ultra high*), dan $R_{70} \geq 16,0$ °C/jam dianggap mempunyai risiko ekstrim tinggi (*extremely high*).

Selain melakukan penelitian tentang pembakaran spontan batubara, penelitian ini juga membahas tentang pengaruh difusi gas oksigen pada pembakaran spontan batubara. Pada dasarnya, difusi adalah proses perpindahan molekul dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah berdasarkan mekanisme transport massa secara molekuler (difusi). Proses difusi oksigen dari lingkungan ke permukaan batubara dan pori-porinya merupakan salah satu penyebab terjadinya pembakaran spontan batubara. Pada model percobaan, diasumsikan partikel batubara mempunyai diameter butir seragam.

PERCOBAAN

Preparasi Percontohan Batubara

Tahapan yang dilakukan untuk preparasi percontohan batubara adalah tahap kominusi (reduksi ukuran butir) batubara. Preparasi yang dilakukan untuk mendapatkan fraksi ukuran butir antara -10+14 mesh (1,400-2,000 mm), -60+80 mesh (0,250-0,180 mm) dan -170+200 mesh (0,090-0,075 mm) adalah dengan proses *crushing*, *grinding* dan *sieving*. Setelah itu, dilakukan *conning quartering* untuk membagi percontohan.

Pengujian Oksidasi Adiabatik

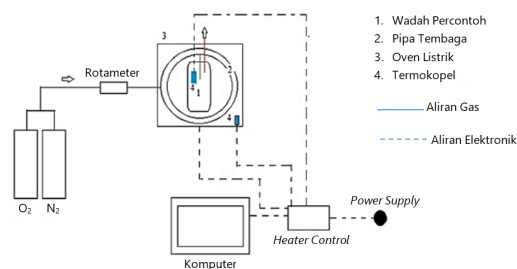
Prinsip kerja pengujian pembakaran spontan batubara dengan metode pemanasan adiabatik adalah mereaksikan batubara dalam sebuah tabung reaktor yang didesain untuk meminimalisasi panas yang hilang. Tabung reaktor kemudian diletakkan dalam sebuah oven listrik. Sebelum percontoh direaksikan, dilakukan pemanasan awal dengan mengalirkan nitrogen agar percontoh tidak terjadi reaksi oksidasi, setelah mencapai temperatur inisial maka dialirkan oksigen ke dalam reaktor. Setelah dialirkan oksigen maka akan terjadi proses oksidasi sehingga temperatur di dalam reaktor akan meningkat. Untuk meminimalisasi panas yang hilang, temperatur dari reaktor dikontrol agar selalu mengikuti temperatur oven.

Menurut Beamish dan Beamish (2011) serta Widodo, Syawaludin, dan Arifin (2020), prosedur pengujian oksidasi adiabatik dibagi menjadi dua tahap yaitu proses pengeringan dan pemanasan batubara. Skematik peralatan pengujian pemanasan adiabatik ditunjukkan pada Gambar 1.

Proses pengeringan dilakukan selama 12 jam pada temperatur 120 °C sambil dialirkan gas nitrogen dengan debit 0,1 L/menit (Catatan: lama pengeringan yang dilakukan relatif berbeda dengan standar yang dilakukan Beamish dan Beamish (2011), yaitu 16 jam pada temperature 110 °C. Hal ini dipertimbangkan karena kondisi temperatur pengujian yang relatif lebih tinggi yaitu 120 °C). Proses pengeringan dilakukan untuk menghilangkan *Free Moisture* (FM) percontoh batubara. Setelah proses pengeringan selesai, oven adiabatik dimatikan supaya temperatur percontoh di dalam wadah menurun sampai temperatur ruang. Kemudian, pengontrol pemanas yang digunakan untuk proses pengeringan (*solid state relay*) akan diganti dengan pengontrol pemanas (*heater control*) yang untuk proses pemanasan.

Proses pemanasan dimulai pada temperatur ruang sampai 40 °C sambil dialirkan gas nitrogen dengan debit 0,1 L/menit. Setelah mencapai 40 °C, gas oksigen akan dialirkan dengan variasi debit alir yang diinginkan untuk menggantikan gas nitrogen. *Datalogger* akan menyimpan data temperatur percontoh dan oven terhadap waktu.

Pengujian dilakukan sampai percontoh mengalami keadaan *take off*, yaitu suatu keadaan saat kenaikan temperatur batubara tidak dapat diimbangi oleh oven adiabatik yang diatur oleh *heater control*.

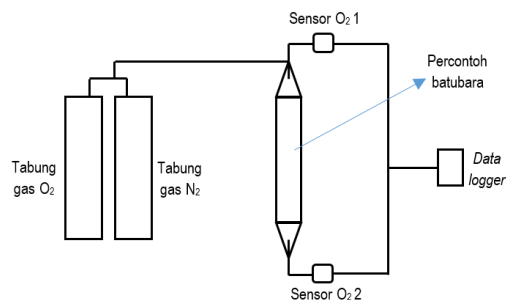


Gambar 1. Skema alat uji oksidasi adiabatic (Widodo, Syawaludin, dan Arifin, 2020)

Pengujian Difusi Oksigen

Peralatan yang digunakan dalam pengujian difusi oksigen pada percontoh batubara dapat dilihat pada Gambar 2. Peralatan yang digunakan antara lain: tabung uji dengan diameter 49 mm dan panjang 217 mm; sensor oksigen yang diletakkan di bagian atas dan bawah tabung uji menggunakan sensor model SO-120 dari *Apogee Instruments*; dan *data logger* untuk merekam konsentrasi oksigen setiap detik.

Pembacaan sensor ini dalam satuan Volt. Karena faktor konversi dari Volt menjadi konsentrasi oksigen yang tidak ideal dalam penelitian ini, maka yang diamati adalah tingkat kenaikan tegangan listrik yang direkam oleh sensor per satuan waktu (dalam mV/detik) yang diasumsikan sebanding dengan kenaikan konsentrasi oksigen. Pada pengujian digunakan gas oksigen murni dan gas nitrogen murni (konsentrasi mendekati 100%).



Gambar 2. Skema alat uji difusi oksigen pada percontoh batubara

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut: 1) batubara dimasukkan kedalam tabung uji; 2) oksigen yang ada pada tabung uji dihilangkan dengan mengalirkan gas nitrogen pada tabung uji yang dilakukan pada sistem terbuka; 3) setelah konsentrasi oksigen mencapai 0% pada pembacaan *data logger*, sistem ditutup dan oksigen dialirkan ke dalam tabung uji; 4) selanjutnya pengujian dilakukan hingga konsentrasi oksigen pada pembacaan konsentrasi oksigen pada sensor 2 (dua) tidak berubah.

Gas oksigen akan berdifusi dalam sistem tertutup akibat perbedaan konsentrasi oksigen pada posisi sensor 1 dan sensor 2, sehingga dalam prosesnya terjadi perpindahan massa molekul gas oksigen melalui pori-pori/celah diantara butiran batubara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data karakteristik percontoh batubara dapat dilihat pada Tabel 1. Batubara tersebut mempunyai nilai kalori 5378 cal/g (adb).

Tabel 1. Karakteristik Batubara Penelitian

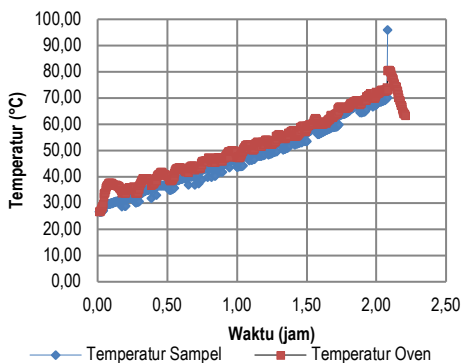
Parameter Analisis	Nilai	Unit	Basis
Moisture in Air Dried	24,83	%	adb
Ash	2,74	%	adb
Volatile Matter	33,04	%	adb
Fixed Carbon	39,39	%	adb

Parameter pengujian yang dilakukan pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 2, yaitu pengujian pada berbagai variasi ukuran butir dan tingkat pemadatan.

Tabel 2. Parameter pengujian pembakaran spontan batubara dengan metode oksidasi adiabatik

Ukuran Butir	Tingkat Pemadatan	
	0 kPa	50 kPa
-10+14 mesh (1,400-2,000 mm)	v	v
-60+80 mesh (0,250-0,180 mm)	v	v
-170+200 mesh (0,090 - 0,075 mm)	v	v

Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran temperatur terhadap waktu selama pengujian pemanasan adiabatik. Dengan melakukan regresi linier pada temperatur 40 °C sampai 70 °C, didapatkan nilai R_{70} yang ditunjukkan pada Tabel 3.

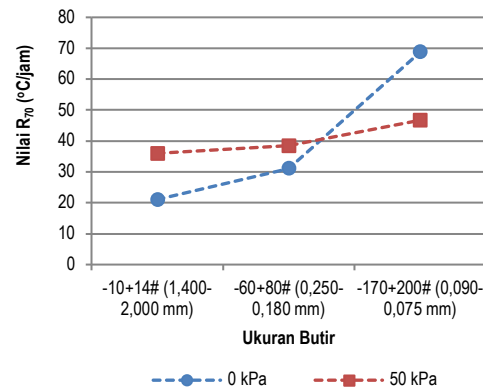


Gambar 3. Tipikal grafik temperatur terhadap waktu percontoh ukuran -10+14 mesh pada tingkat pemadatan 0 kPa

Tabel 3. Nilai R_{70} Pengujian Oksidasi Adiabatik Pembakaran spontan Batubara

Ukuran Butir	Nilai R_{70} (°C/jam)	
	0 kPa	50 kPa
-10+14 mesh (1,400-2,000 mm)	21,053	36,000
-60+80 mesh (0,250-0,180 mm)	31,124	38,434
-170+200 mesh (0,090-0,075 mm)	68,789	46,723

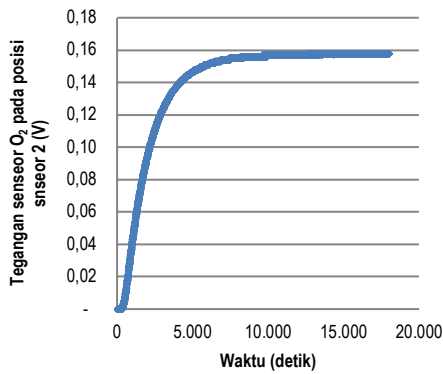
Pengaruh ukuran butir terhadap laju pembakaran spontan batubara dapat dilihat pada Gambar 4. Pada ukuran butir -10+14 mesh dan -60+80 mesh, pemadatan membuat laju pembakaran spontan meningkat dengan naiknya nilai R_{70} . Sedangkan, pada ukuran butir -170+200 mesh, pemadatan membuat laju pembakaran spontan turun dengan turunnya nilai R_{70} .



Gambar 4. Pengaruh ukuran butir dan tingkat kepadatan terhadap potensi pembakaran spontan batubara

Pada pengujian difusi oksigen terhadap percontoh batubara, terjadi kenaikan konsentrasi pada sensor 2 (dua) akibat adanya aliran oksigen dari arah sensor 1 (satu) melalui celah/rongga yang terdapat diantara butiran batubara. Tipikal kurva yang menunjukkan kenaikan konsentrasi oksigen terhadap waktu (dinyatakan dalam Volt yang terukur pada sensor 2) dapat dilihat pada Gambar 5.

Terlihat bahwa awal kenaikan hingga pada tegangan sekitar 0,1 V, kenaikan masih bersifat linier, adapun kondisi maksimum dicapai pada tegangan sekitar 0,16 V. Asumsi yang digunakan dalam memahami data sensor adalah semakin besar permeabilitas percontoh terhadap oksigen, maka semakin cepat laju kenaikan tegangan yang terukur. Hal ini menjadi indikasi bahwa semakin besar oksigen yang berinteraksi dengan butiran batubara yang memungkinkan untuk terjadinya reaksi oksidasi pada pembakaran spontan batubara.

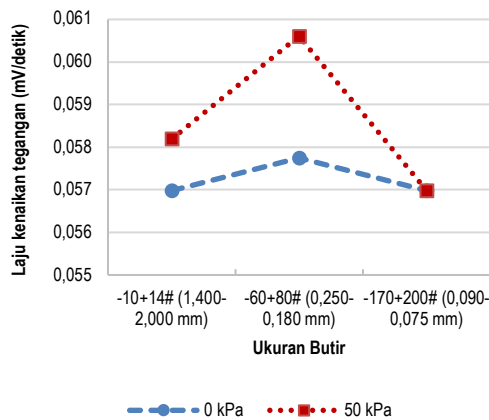


Gambar 5. Tipikal grafik difusi oksigen terhadap waktu untuk percontoh -10+14 mesh dengan tingkat pemadatan 0 kPa yang dinyatakan dalam nilai tegangan yang terukur pada sensor

Laju kenaikan tegangan pada 0,04 V hingga 0,1 V bersifat linier pada hasil pengujian, sehingga kemiringan grafik untuk masing-masing pengujian dapat dibandingkan. Resume hasil perhitungan laju kenaikan tegangan terhadap waktu yang diukur saat tegangan 0,04 V hingga 0,1 V dapat dilihat pada Tabel 4. Adapun grafik yang menyatakan hubungan ukuran butir dengan tingkat pemadatan terhadap kenaikan tegangan sensor oksigen yang diasumsikan berbanding lurus dengan laju difusi oksigen ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 4. Nilai Laju kenaikan tegangan sensor oksigen (posisi sensor 2) pada pengujian difusi oksigen

Ukuran Butir	Laju kenaikan tegangan (mV/detik)	
	0 kPa	50 kPa
-10+14# (1,400-2,000 mm)	0,0570	0,0582
-60+80# (0,250-0,180 mm)	0,0577	0,0606
-170+200# (0,090-0,075 mm)	0,0570	0,0570



Gambar 6. Pengaruh ukuran butir dan tingkat kepadatan terhadap laju kenaikan tegangan

Hasil pengujian difusi oksigen menunjukkan bahwa pada pada kondisi tanpa pemadatan (0 kPa), untuk ukuran -10+14 mesh, percontoh tanpa pemadatan menunjukkan nilai laju kenaikan difusi oksigen yang relatif lebih kecil (0,0570 mV/detik) dibandingkan dengan percontoh yang dipadatkan (0,0582 mV/detik). Hal ini selaras dengan hasil uji pemanasan adiabatik, yaitu nilai R_{70} percontoh tanpa pemadatan (21,053 °C/jam) lebih rendah dibandingkan nilai R_{70} percontoh yang dipadatkan (36 °C/jam), yang menunjukkan bahwa reaksi oksidasi pembakaran spontan yang terjadi lebih efektif pada kondisi laju difusi oksigen tinggi. Kemungkinan yang terjadi bahwa dengan pemadatan rongga antar butiran menjadi lebih terhubung, sehingga meningkatkan laju difusi oksigen yang menyebabkan meningkatnya reaksi oksidasi pembakaran batubara.

Untuk ukuran butir -60+80 mesh, pada kondisi tanpa pemadatan, nilai laju kenaikan konsentrasi oksigen (0,0577 mV/detik) relatif lebih kecil dibandingkan dengan percontoh yang dipadatkan (0,0606 mV/detik). Hal ini selaras dengan hasil uji pemanasan adiabatik, yaitu nilai R_{70} percontoh tanpa pemadatan (31,124 °C/jam) lebih rendah dibandingkan nilai R_{70} percontoh yang dipadatkan (38,434 °C/jam), yang menunjukkan bahwa reaksi oksidasi pembakaran spontan yang terjadi lebih efektif pada kondisi laju difusi oksigen tinggi.

Untuk ukuran butir kecil, yaitu -170+200 mesh, pada kondisi tanpa pemadatan dan dengan pemadatan, nilai laju kenaikan konsentrasi oksigen menunjukkan kondisi yang sama (0,0570 mV/detik). Hal ini cenderung tidak dapat menjelaskan pengujian oksidasi adiabatik karena nilai R_{70} percontoh yang tidak dipadatkan (68,789 °C/jam) mempunyai kecenderungan risiko pemanasan spontan yang lebih besar dibandingkan dengan percontoh yang dipadatkan (46,723 °C/jam). Pada ukuran butir kecil, reaksi oksidasi pembakaran spontan lebih efektif terjadi pada kondisi batubara yang tidak dipadatkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada butiran yang kecil, nilai R_{70} tidak menunjukkan hubungan yang jelas terhadap laju difusi oksigen diantara butiran batubara. Hal ini dikarenakan ukuran pori antar butir dari ukuran -170+200 mesh pada kondisi tanpa pemadatan dan pemadatan hampir sama.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan pada batubara yang mempunyai ukuran butir -10+14 mesh (relatif besar), -60+80 mesh (relatif sedang), dan -170+200 mesh (relatif kecil). dapat disimpulkan:

- Semakin kecil ukuran butiran batubara, maka nilai R_{70} semakin besar;

- Secara umum pemadatan akan efektif mengurangi potensi pembakaran spontan batubara pada ukuran yang relatif kecil;
- Secara umum pada ukuran butir relatif besar dan relatif sedang, pembakaran spontan efektif terjadi pada laju difusi oksigen relatif tinggi yang dalam penelitian ini terjadi pada kondisi percontoh dengan pemadatan, sehingga pemadatan dapat menyebabkan kondisi yang kurang menguntungkan pada ukuran batubara ini;
- Untuk ukuran butir relatif kecil, hubungan antara laju difusi oksigen dengan potensi pembakaran spontan tidak terlihat jelas. Hal ini dianalisis karena adanya faktor reaksi kimia antar butiran batubara maupun faktor intrinsik dan ekstrinsik lain yang belum diperhatikan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Beamish, B. dan Beamish, R. (2010) "Benchmarking moist coal adiabatic oven testing," in Aziz, N. (ed.) 2010 Underground Coal Operators' Conference. University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, hal. 264–268.
- Beamish, B. dan Beamish, R. (2011) "Experience with using a moist coal adiabatic oven testing method for spontaneous combustion assessment," in Aziz, N. (ed.) 11th Underground Coal Operators' Conference. University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, hal. 380–384.
- Beamish, B., Edwards, D. dan Theiler, J. (2018) "Implementation of interactive spontaneous combustion hazard assessment and management at Meandu mine," in Aziz, N. dan Kininmonth, B. (ed.) 18th Coal Operators' Conference. The University of Wollongong, hal. 329–335.
- Cliff, D., Brady, D. dan Watkinson, M. (2014) "Developments in the management of

Penelitian lanjutan diperlukan untuk meneliti lebih mendalam hubungan antara ukuran butir, tingkat pemadatan, dan potensi pembakaran spontan batubara sehingga risiko kejadian pembakaran spontan batubara yang merugikan dapat dihindari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Program Studi Teknik Pertambangan dan Kelompok Keahlian Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, melalui Program Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat dan Inovasi ITB (P3MI-ITB) yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini.

spontaneous combustion in Australian underground coal mines," in Naj Aziz et al. (ed.) 2014 Coal Operators' Conference. University of Wollongong - Mining Engineering, Australasian Institute of Mining and Metallurgy and the Mine Managers Association of Australia, hal. 330–338.

- Saffari, A., Ataei, M. dan Sereshki, F. (2019) "Evaluation of the spontaneous combustion of coal (SCC) by using the R70 test method based on the correlation among intrinsic coal properties (Case study: Tabas Parvadeh coal mines, Iran)," Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 34(3), hal. 49–60. doi: 10.17794/rgn.2019.3.6.

Sloss, L. L. (2015) Assessing and managing spontaneous combustion of coal. IEA Clean Coal Centre.

- Widodo, N. P., Syawaludin, E., & Arifin, Z. (2020). Studi Pembakaran Spontan Batubara Menggunakan Metode Pemanasan Adiabatik Pada Skala Laboratorium. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, 16(2), 81-91