

Analisis proksimat, ultimat, dan kadar sulfur dalam penentuan kualitas batubara pada formasi bobong Pulau Taliabu – Maluku

Bambang Sardi^{1*}; Moh. Ripky²; Fitrawati A. Marhum²; Supardin Nompo³; Muhammad Arif⁴

¹Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

²Departemen Teknik Geologi, Universitas Tadulako

Jl. Soekarno Hatta, Kampus Bumi Tadulako Tondo, Palu-Sulawesi Tengah 94148

³Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika Bulaksumur No.2 Sleman - Daerah Istimewa Yogyakarta 55284

⁴Direktorat Teknik & Lingkungan, Kementerian Energi & Sumber Daya Mineral RI

Jl. Samratulangi No. 101 Palu, Sulawesi Tengah 94111

Email: *bambang.teknikkimia@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu parameter utama yang menentukan suatu kegiatan pengolahan dan pemanfaatan bahan galian batubara adalah kualitas batubara. Di daerah penelitian terdapat singkapan batubara yang perlu dilakukan analisis proksimat, ultimat, dan kadar sulfur. *Sampling* dilakukan pada lapisan batubara pada Formasi Bobong yang tersingkap pada beberapa singkapan. Kemudian sampel A dan sampel B dianalisis di laboratorium. Hasil analisis di laboratorium yaitu analisis proksimat sampel A untuk *moisture in air dried* (6,54%), *ash content* (11,86%), *volatile matter* (43,56%) dan *fixed carbon* (38,05%). Selain itu, hasil analisis ultimat seperti *carbon* (74,75%), *hydrogen* (6,87%), *nitrogen* (0,76%), *oxygen* (12,21%), dan kadar sulfur (4,41%), serta pengukuran sulfur total (5,40%). Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa batubara sampel A merupakan batubara kelas bituminus pada grup *high volatile C bituminous coal* (ASTM D 388). Sedangkan, hasil analisis sampel B yaitu *moisture in air dried* (12,23%), *ash content* (13,60%), *volatile matter* (36,05%) dan *fixed carbon* (38,13%). Selain itu, untuk hasil rata-rata kandungan ultimat seperti *carbon* (70,70%.daf), *hydrogen* (6,22%), *nitrogen* (0,85%), *oxygen* (11,99 %), dan kadar sulfur (7,60%), serta pengukuran sulfur total (10,25%). Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa batubara pada sampel B termasuk dalam kelas *sub-bituminous* pada grup *A sub-bituminous coal* (ASTM D 388). Kedua sampel dari Formasi Bobong ini, jika ditinjau dari sulfur total menunjukkan kualitas batubara kurang baik untuk diperuntukkan sebagai bahan-bakar (*steaming coal*) menurut *Polish Geological Institute* (PGI).

Kata kunci: analisis proksimat, analisis ultimat, bahan-bakar batubara, kadar sulfur, karbon tetap.

ABSTRACT

One of the main parameters that determine an activity of processing and utilizing coal minerals is the quality of coal. In the research area coal outcrops that need to be analyzed for proximate, ultimate, and sulfur content. Sampling was carried out on coal seams in the Bobong Formation which were exposed in several outcrops. Then sample A dan sample B were analyzed in the laboratory. The results of analysis in the laboratory are proximate analysis of sample A for dry air moisture content (6.54%), ash content (11.86%), volatile matter (43.56%), and fixed carbon (38.05%). In addition, the results of the ultimate analysis such as carbon (74.75%), hydrogen (6.87%), nitrogen (0.76%), oxygen (12.21%), and sulfur content (4.41%), as well as total sulfur measurements (5.40%). From these results it can be interpreted that the coal sample A is bituminous class coal in

the high volatile C group bituminous coal (ASTM D 388). While the results of the analysis of sample B are air dry moisture content (12.23%), ash content (13.60%), volatile matter (36,05%), and fixed carbon (38.13%). In addition, for the average yield of ultimate analysis such as carbon (70.70%), hydrogen (6.22%), nitrogen (0.85%), oxygen (11.99%), and sulfur content (7,60%), as well as measuring the amount of sulfur (10.25%). From these results it can be interpreted that the coal in sample B is included in the sub-bituminous class in group A sub-bituminous coal (ASTM D 388). The two samples from the Bobong Formation, in terms of total sulfur, show that the quality of the coal is not good enough to be used as fuel (streaming coal) according to the Polish Geological Institute (PGI).

Keywords: fixed carbon; proximate analysis, ultimate analysis, streaming coal, sulfur content.

1. PENDAHULUAN

Batubara adalah salah satu bahan galian yang memiliki peran cukup penting dalam industri pertambangan di Indonesia. Sejak sekian lama batubara tidak hanya digunakan sebagai pembangkit listrik semata. Namun, digunakan pula sebagai bahan-bakar utama dalam kegiatan semen, produksi baja dan berbagai kegiatan industri lainnya. Batubara digunakan sebagai pembangkit listrik hampir 40% di seluruh dunia [1]. Hal ini menunjukkan bahwa batubara kedepannya perlu usaha-usaha pemanfaatan yang lebih baik lagi. Batubara sebagai sumber energi yang mengalami pertumbuhan yang paling cepat di dunia selama bertahun-tahun belakangan ini. Pertumbuhannya lebih cepat daripada gas, minyak, nuklir, air, dan sumber daya pengganti lainnya. Endapan batubara yang bersifat heterogen memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Sifat heterogen inilah menjadi pemicu dibutuhkannya teknologi yang tepat dan kualitas data yang akurat guna memanfaatkan batubara semaksimal mungkin [2].

Total produksi batubara Indonesia, sekitar 25% digunakan untuk kepentingan dalam negeri dan 75% diekspor ke luar negeri. Pada tahun 2012, Indonesia menjadi eksportir terbesar batubara dunia dan menjadi produsen kedua terbesar batubara di dunia [3, 4]. Saat ini hampir 70% produksi batubara Indonesia untuk dalam negeri dimanfaatkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai bahan-bakar pembangkit listrik. Sekitar 10% digunakan untuk pembuatan semen. Sisanya digunakan untuk bahan-bakar industri atau proses metalurgi. Melalui kebijakan energi nasional, pemerintah Indonesia mencanangkan peningkatan pemakaian batubara untuk kepentingan dalam negeri dan mengurangi ekspor batubara. Batubara Indonesia akan dijadikan sekitar 33% dari total energi Indonesia pada tahun 2025 [5].

Tujuan dari sistem klasifikasi batubara adalah untuk membedakan batubara sesuai dengan sifat fisik dan kimianya yang kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas dan nilai (ekonomi) dari batubara individu untuk tujuan pemanfaatan yang berbeda. Klasifikasi batubara juga memberikan informasi tentang sifat batubara tertentu yang dapat digunakan sebagai nilai *cut-off* untuk estimasi sumber daya dan cadangan batubara (misalnya hasil abu, nilai kalor dan kadar sulfur total). Batubara dapat diklasifikasikan menurut sifat ilmiah yang berbeda, misalnya komposisi unsur dan sifat fisik dan kimia atau menurut properti komersial yang mengendalikan nilai pasar batubara untuk tujuan pemanfaatan batubara.

Analisis proksimat, ultimat dan sulfur total merupakan cara mengevaluasi batubara yang paling sederhana. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil analisis proksimat, ultimat, dan kadar sulfur dalam penentuan kualitas 2 sampel batubara dari Formasi Bobong Pulau Taliabu – Maluku. Oleh karena itu, analisis ini dapat menjadi metode alternatif para peneliti sebelumnya dalam karakterisasi batubara [5]. Pada penelitian ini, istilah *ash* dan zat mineral anorganik digunakan secara bersama yang satu dapat menggantikan lainnya. *Ash* adalah residu yang

tertinggal setelah batubara dibakar. *Ash* berbeda dengan banyaknya dan susunan kimia dari zat mineral dalam batubara yang disebabkan pemecahan termal zat mineral pada pemanasan [6, 7]. Batubara berasal dari Formasi Bobong, tepatnya di Pulau Taliabu, Maluku Utara [2, 5, 8]. Studi analisis kualitas batubara pada Formasi Bobong beberapa singkapan yang perlu untuk dilakukan penelitian mengenai kualitas batubaranya guna memanfaatkan potensi batubara di Indonesia. Oleh karena itu, analisis dan pengujian batubara perlu dilakukan untuk memberikan gambaran kualitas dari batubara di daerah penelitian tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu menggunakan dua sampel batubara (sampel A dan sampel B) yang berbeda yang berasal dari Formasi Bobong. Penelitian diawali dengan preparasi batubara sampel A dan sampel B yaitu untuk menganalisis proksimat, ultimat, dan sulfur total. Preparasi ini dimulai beberapa beberapa tahapan yaitu pengeringan, pengecilan, pencampuran (*mixing*), dan penghalusan sampel.

Metode preparasi batubara pada penelitian ini mengacu pada prosedur ASTM D7582-15, ASTM D-4239-14 dan D 720-90 (2010) [2]. Sampel batubara yang diperoleh dari lapangan mulanya dikeringkan pada suhu yang konstan sekitar 40°C kemudian digerus hingga kira-kira 8 mesh. Sampel akan terus dikeringkan dan digerus hingga ukuran 60 mesh. Sampel yang berukuran 60 mesh tadi selanjutnya akan dilakukan analisis proksimat, ultimat, dan sulfur tota.

Dalam penentuan proksimat batubara kedua sampel ini menggunakan prosedur ASTM D7582-15 dengan ukuran sampel berukuran 8 mesh, pada pengujian *moisture* bersuhu 104 - 110°C, pada pengujian *ash content* 700 - 750°C, pada *volatile matter* dengan suhu 950 ± 20°C, serta *fixed carbon* dihitung menggunakan rumus = 100 - (*moisture* + *ash* + *volatile matter*). Secara umum prosedur Analisa batubara dalam ASTM 1980 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nomor prosedur analisis batubara dalam ASTM 1980 [9]

Jenis analisis (pengukuran)	Nomor	Halaman
<i>Proximate analysis:</i>	D 3172-73	386
<i>Moisture</i> (kadar air)	D 3173-73	387-389
<i>Ash</i> (kadar abu)	D 3174-73	390-391
<i>Volatile matter</i> (zat mudah menguap)	D 3175-77	392-395
<i>Fixed carbon</i> (karbon tetap)*		
<i>Ultimate analysis:</i>	D 3176-74	396-399
Sulfur total:	D 3177-75	400-406
<i>Sulfur:</i>		
An-organik (pirit)	D 2492-79	338-343
Organik**		
<i>Calorific value</i> (nilai kalor)	D 2015-77	307-315

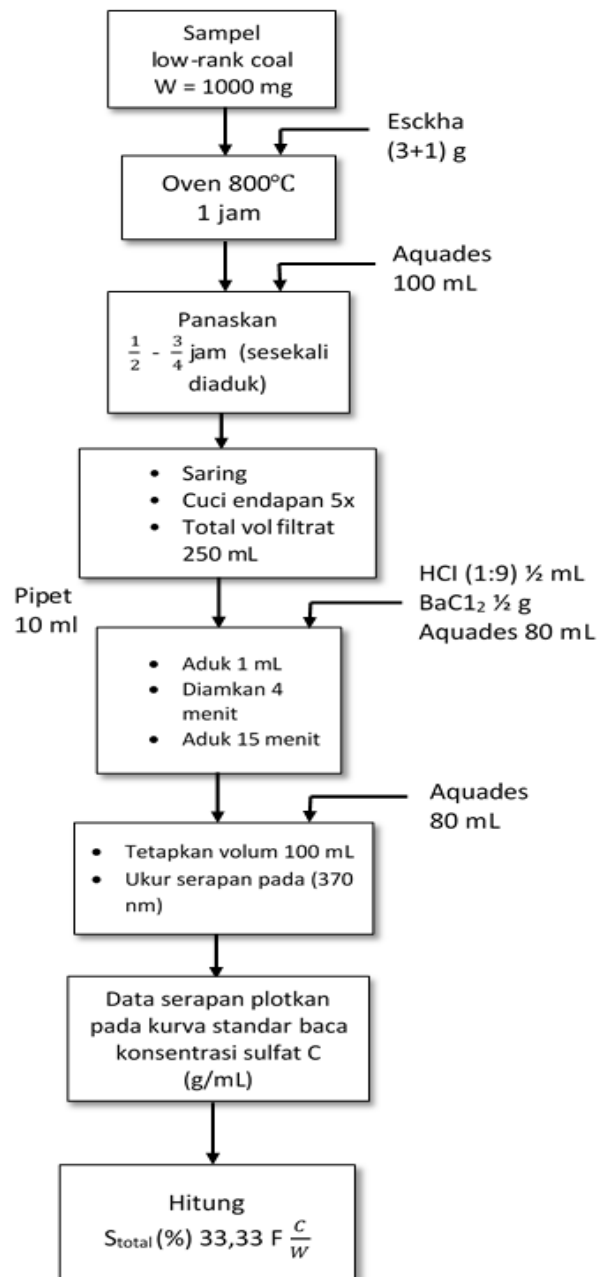
*) Terhitung (= 100 – *moisture* + *ash* + *volatile matter*)

**) Terhitung (= sulfur total – sulfur anorganik)

Dalam penentuan ultimat batubara kedua sampel ini menggunakan prosedur ASTM D5373-16 dengan ukuran sampel 60 mesh. Analisis ini mencakup analisis karbon, hidrogen, nitrogen, dan oksigen. Untuk analisis ultimate ini menggunakan oven dengan suhu 110°C dengan Spektrofotometer UV dan *hot plate-stirer* UV.

Tahapan analisis sulfur total menggunakan prosedur ASTM D 31775-75 disajikan dalam Gambar 1 dan analisis *swelling index* (SI) menggunakan prosedur D 720-90 (2010) pada analisis ini menggunakan sampel dengan ukuran 60 mesh dimana sampel di keringkan menggunakan oven bersuhu 110°C dan *furnance* 800°C, spektrofotometer UV, dan *hot plate-stirer* UV.

Dari hasil analisis tersebut, kemudian kualitas batubara diklasifikasikan menurut *American Society for Testing and Matererials* (ASTM) D 388 [9].



Gambar 1 Diagram alir analisis sulfur total

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari hasil penelitian analisis proksimat dan ultimat sampel batubara dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan hasil analisis sulfur dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Data hasil analisis proksimat dan ultimat

	Parameter analisis	Satuan (basis)	Kode sampel	
			A	B
Proksimat	Moisture	%adb	6,54	12,23
	Ash content	%adb	11,86	13,60
	Volatile matter	%adb	43,56	36,05
	Fixed carbon	%adb	38,05	38,13
Ultimat	Carbon	%daf	74,75	70,70
	Hydrogen	%daf	6,87	6,22
	Nitrogen	%daf	0,76	0,85
	Oxygen	%daf	12,21	11,99

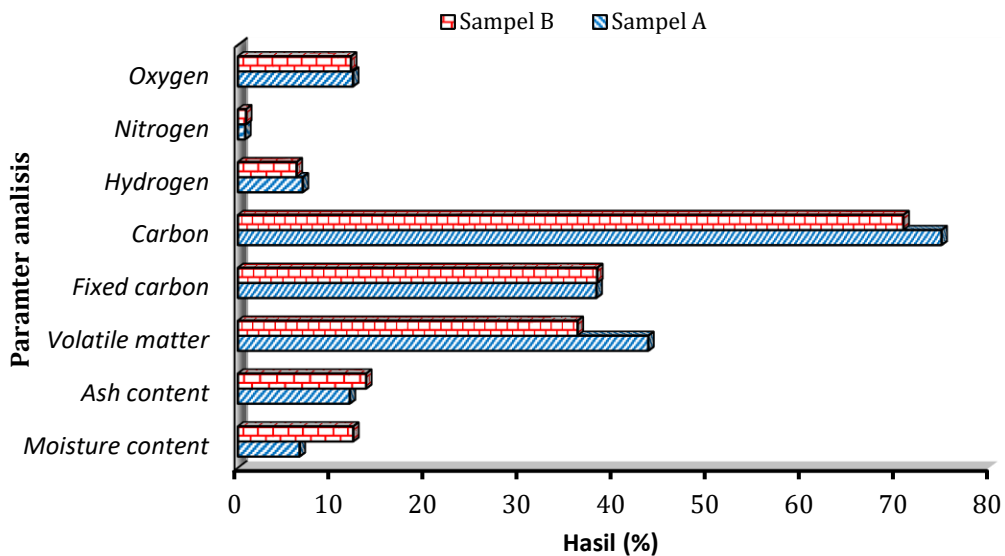
Tabel 3. Data hasil analisis nilai sulfur

Analisis	Satuan (basis)	Kode Sample	
		A	B
Total sulfur	%adb	4,41	7,60
Total sulfur (ultimate)	%daf	5,40	10,25
Swelling Index	adb	1,00	1,00

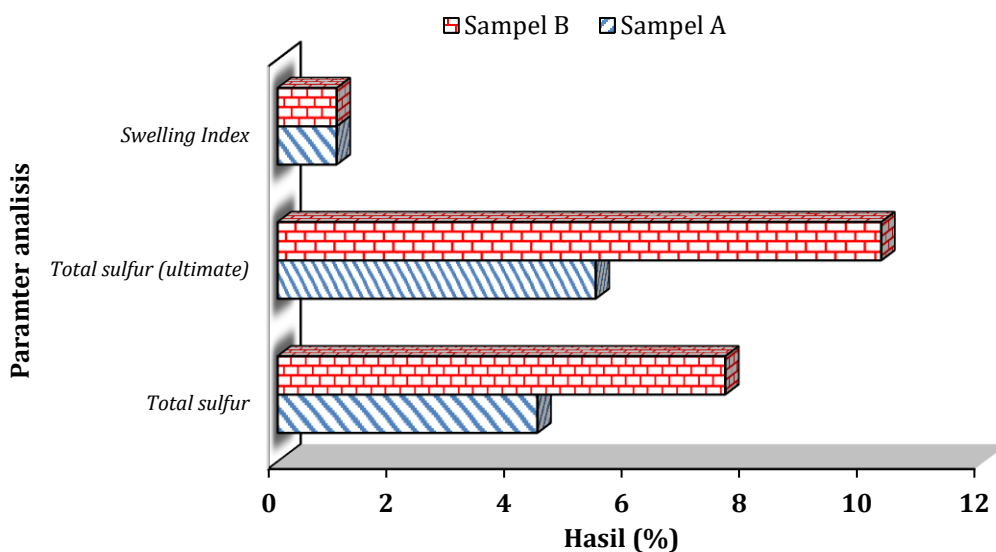
Gambar 2 merupakan penjabaran secara detail dari Tabel 2 menunjukkan hasil analisis proksimat dan ultimat batubara penelitian pada sampel A dan sampel B. Pada batubara sampel A memiliki kadar karbon yang tinggi yaitu 74,75% sedangkan kadar karbon sampel B adalah 70,70%. Namun, hal ini tidak diikuti dengan kadar *fixed carbon* yaitu sampel A (38,05%) dan sampel B (38,13%) yang cenderung hampir sama. Ini menunjukkan bahwa keakuratan analisis ultimat berupa *carbon* pada batubara lebih akurat dibandingkan dengan analisis proksimat berupa *fixed carbon*. Penyebabnya adalah senyawa analisis ultimat dalam wujud gas yang benar-benar telah terpisah dari senyawa pengotor dari kontribusi *moisture content*, *ash content*, *volatile matter*, dan *fixed carbon*. Karakteristik batubara melalui metode pencairan sangat direkomendasi untuk pengembangan teknologi penelitian batubara [8, 10-12].

Secara umum, hasil analisis proksimat dan ultimat kedua sampel menunjukkan perbedaan yang cukup besar. Dimana, batubara sampel A lebih baik dibandingkan batubara sampel B. Hal ini disebabkan karena analisis proksimat dan ultimat sampel A yaitu *moisture content* (6,54%); *ash content* (11,86%), *volatile matter* (43,56%), *hydrogen* (6,87%), *nitrogen* (0,76%), dan *oxygen* (12,21%). Sedangkan, sampel B yaitu *moisture content* (12,23%); *ash content* (13,60%), *volatile matter* (36,05%), *hydrogen* (6,22%), *nitrogen* (0,85%), dan *oxygen* (11,99%). Ini menunjukkan perbedaan kelas batubara. Hal ini tidak bisa dipisahkan dari proses pembentukan batubara ini sendiri secara insitu yaitu pembentukan batubara berasal dari fosil makhluk hidup disekitar Formasi Bobong. Sehingga, faktor utama yang menyebabkan adalah waktunya pengendapan sampel A lebih lama daripada sampel B. Hasil yang diperoleh ini tidak jauh berbeda dengan hasil yang diperoleh oleh peneliti-peneliti sebelumnya pada formasi Bobong. Nompo, et al. [13] telah melakukan penelitian batubara terkait nilai proksimat berupa karbon tertambat (36,10 -43,86%); kandungan

zat terbang (38,25 - 47,91%); kandungan air (6,54 - 12,23%); dan kandungan abu (64,46 - 21,31%). Sedangkan, analisis ultimat mencakup karbon (64,46 - 74,75%); hidrogen (6,27 - 6,92%); nitrogen (0,76 - 0,87%), sulfur (4,41 - 7,93%; dan oksigen (9,45-18,07%). Batubara daerah penelitian merupakan *high volatile A bituminous coals*. Arif, et al. [5] yang menggunakan sampel batubara Banggai Kepulauan yang masuk formasi Bobong. Dimana hasil analisis *proximate*, yaitu *moisture* (4,77%); *volatile matter* (42,67%); *fixed carbon* (38,06%); *ash content* (12,45%); dan total sulfur (2,05%); sedangkan *ultimate*, yaitu karbon (65,33%); hidrogen (4,55%); nitrogen (1,64%); sulfur (2,54%); dan oksigen (25,94%). Ini memiliki kemiripan hasil proksimat dan ultimat karena berada pada formasi yang sama yaitu formasi Bobong dan kelas batubara yang berada pada interval *sub-bituminous coal* dan *Ibituminous coal* [2, 14].



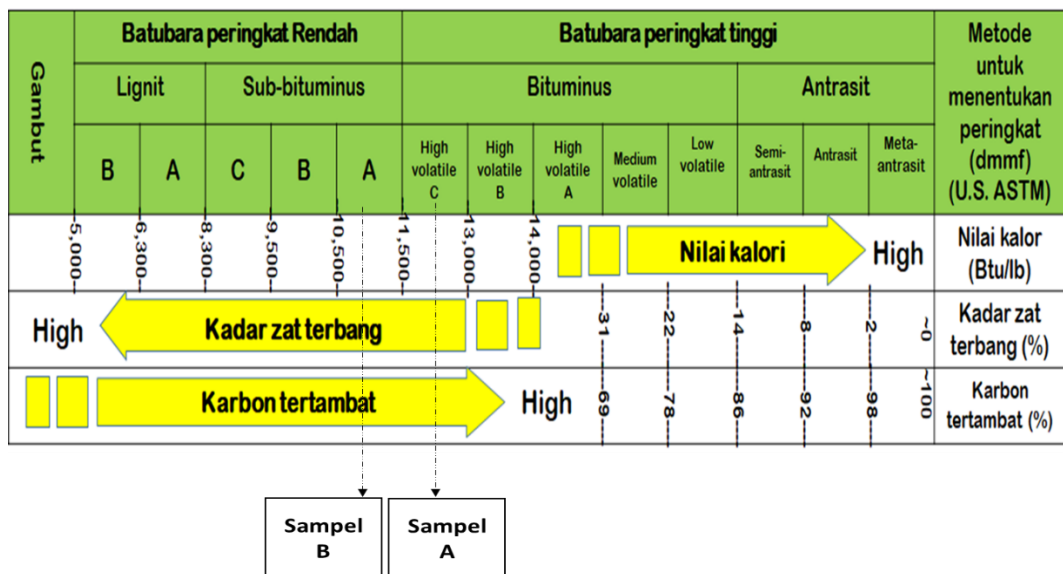
Gambar 2 Korelasi analisis proksimat dan ultimat: sampel A dan sampel B



Gambar 3. Hasil Kandungan sulfur total dan swelling index: sampel A dan sampel B

Dari Gambar 3 yang merupakan penjabaran secara rinci Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil penelitian mengenai kandungan sulfur (*sulfur content*) pada sampel batubara ini pada *total sulfur* dari analisis ultimat dapat dilihat bahwa batubara sampel B memiliki kandungan sulfur yang tinggi dibandingkan batubara sampel A. Hal ini disebabkan karena faktor lain yang mempengaruhi kualitas batubara seperti *fixed carbon* dan *carbon* cenderung tinggi pada batubara sampel A. Hasil analisis sulfur total secara umum di Sulawesi sama. Sardi and Al-Gazali [15] melakukan penelitian desulfurisasi batubara Mallawa – Sulawesi dengan hasil analisis jenis sulfur terdiri atas 1,28% sulfur anorganik (berupa 1,06% sulfur pirit dan 0,22% sulfur sulfat) dan sisanya 0,45% sulfur organik. Karakteristik batubara ini menunjukkan kualitas yang tidak jauh beda dengan hasil analisis batubara pada umumnya di Sulawesi. Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 3, hasil analisis sulfur total yang diteliti terlihat parameter yang diuji antara batubara sampel A dan sample B menunjukkan perbedaan yang relatif signifikan apabila ditinjau dari singkapan batubara yang berbeda.

Dari hasil analisis sampel batubara di atas dapat diklasifikasikan menurut ASTM D 388 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil plotting nilai volatile matter dan moisture content menurut ASTM D 388 [2, 16]

Pengklasifikasian batubara pada penelitian ini menurut ASTM D 388, dimana ditinjau dari kandungan-kandungan *volatile matter* dan *moisture content* pada batubara sampel A memiliki kandungan moisture content (6,54%), serta kandungan *volatile matter* (43,56%), dimana termasuk dalam kelas bituminus pada grup *high volatile C bituminous*. Pada sampel B memiliki nilai *moisture content* (12,23%) dan kandungan *volatile matter* (36,05%) sehingga di klasifikasikan sebagai batubara kelas sub-bituminus di grup sub-bituminus A [16]. Hasil dari klasifikasi ini juga diperlukan analisis sulfur total dimana pada sampel A memiliki nilai sulfur total mencapai 5,40% dan sulfur total sampel B (10,25%). Sampel batubara dengan nilai sulfur total yang tinggi ini digolongkan dalam kualitas kurang baik jika diperuntukkan sebagai batubara bahan-bakar (*steaming coal*) menurut Polish Geological Institute (PGI) [14].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan dilapangan serta penelitian analisis proksimat, ultimat, dan sulfur total di laboratorium dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Parameter pengujian proksimat dari kedua sampel, yaitu *moisture content*, *volatile matter*, *ash content*, dan *fixed carbon* relatif tidak memiliki perbedaan yang signifikan perbedaan yang signifikan hanya berada pada nilai sulfur total dimana nilai sulfur total sampel A lebih kecil dibanding sampel B sehingga mempengaruhi kualitas batubara kedua sampel tersebut.
2. Kandungan sulfur total dari kedua sampel yaitu pada sampel A (5,40%) dan pada sampel B (10,25%) menunjukkan kualitas kurang baik jika diperuntukkan sebagai batubara bahan-bakar (*steaming coal*) menurut *Polish Geological Institute* (PGI).
3. Kualitas batubara kedua sampel pada formasi Bobong apabila diklasifikasikan menurut ASTM D 388 (*American Society for Testing and Matererials*) pada sampel A termasuk batubara kelas Bituminus pada grup *high volatile C bituminus* dan pada sampel B termasuk dalam batubara kelas sub-bituminus di grup sub-bituminus A.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BP, "BP Statistical Review of World Energy," 2019. [Online]. Available: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- [2] B. Sardi, I. Uno, F. Pasila, A. Altway, and M. Mahfud, "Low rank coal for fuel production via microwave-assisted pyrolysis: A review," *FirePhysChem*, 2023/02/12/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fpc.2023.02.002>.
- [3] B. Sardi, H. Rachmawati, T. F. Maulana, E. Setiawati, N. Indrawan, and M. Mahfud, "Advanced bio-oil production from a mixture of microalgae and low rank coal using microwave assisted pyrolysis," *Bioresource Technology Reports*, vol. 21, p. 101367, 2023/02/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101367>.
- [4] B. G. Miller, *Clean coal engineering technology*. Elsevier, 2010.
- [5] M. Arif, B. Sardi, and D. Rivaldy, "Tinjauan Karakteristik Batubara Asal Sulawesi Tengah Dan Pengaruhnya Dalam Proses Konversi Menjadi Bahan Bakar Cair," *Jurnal Geomine*, vol. 7, no. 2, pp. 133-145, 2019.
- [6] E. Malaidji, A. Anshariah, and A. Budiman, "Analisis Proksimat, Sulfur, dan Nilai Kalor dalam Penentuan Kualitas Batubara di Desa Pattappa Kecamatan Pujananting Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan," *Jurnal Geomine*, vol. 6, no. 3, pp. 131-137, 2018.
- [7] B. Sardi, A. Altway, and M. Mahfud, "Bio-oil production from low-rank coal via novel catalytic microwave pyrolysis using activated carbon + Fe₂(SO₄)₃ and HZSM-5 + Fe₂(SO₄)₃," *Fuel*, vol. 324, p. 124509, 2022/09/15/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124509>.
- [8] S. Nampo, B. Sardi, and M. Arif, "Karakteristik Batubara Peringkat Rendah Formasi Bobong dan Implikasinya Terhadap Coal Liquefaction," *Jurnal Geomine*, vol. 8, no. 1, pp. 17-24, 2020.
- [9] B. Sardi and N. Yacob, "Penentuan Kecepatan Putaran pengaduk Optimum dalam Desulfurisasi Batubara Menggunakan Oksidator Besi (III)," *Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 9, no. 17, pp. 1205-1210, 2014.
- [10] B. Sardi, N. J. T. S. Safitri, and T. Journal, "Coal Upgrading: Desulfurization and Dehydration of Low-Rank Coal and High-Rank Coal through Blending Method," vol. 1, no. 1, pp. 18-23, 2020.

- [11] Y. Artanto, W. R. Jackson, P. J. Redlich, and M. Marshall, "Liquefaction studies of some Indonesian low rank coals," *Fuel*, vol. 79, no. 11, pp. 1333-1340, 2000/09/01/ 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(99\)00275-6](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(99)00275-6).
- [12] B. Sardi, R. F. Ningrum, V. Ardiansyah, L. Qadariyah, and M. Mahfud, "Production of Liquid Biofuels from Microalgae *Chlorella* sp. via Catalytic Slow Pyrolysis," *International Journal of Technology*, vol. 13, pp. 147-156, 2022.
- [13] S. Nampo, D. H. Amijaya, and F. Anggara, "Karakteristisasi Petrografi dan Geokimia Batubara Formasi Bobong Daerah Taliabu, Provinsi Maluku Utara," *Jurnal Geomine*, vol. 9, no. 1, pp. 1-8, 2021.
- [14] D. W. Krevelen, *Coal: typology, chemistry, physics, constitution*. Elsevier Publishing Company, 1961.
- [15] B. Sardi and A. Al-Gazali, "Karakterisasi Batubara Sulawesi Selatan, Asal Daerah Mallawa Kabupaten Maros Dalam Penentuan Metode Upgrading Batubara," *Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 10, pp. 1-7, 2015.
- [16] B. Alpern and M. J. Lemos de Sousa, "Documented international enquiry on solid sedimentary fossil fuels; coal: definitions, classifications, reserves-resources, and energy potential," *International Journal of Coal Geology*, vol. 50, no. 1, pp. 3-41, 2002/05/01/ 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(02\)00112-X](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(02)00112-X).