

Studi Karakteristik Batubara Berdasarkan Analisis Abu Batubara dari PT XYZ Provinsi Kalimantan Timur

Julianti*, Linda Pulngan, Sri Widayati

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*julianti2992147@gmail.com, linda.lindahas@gmail.com, widayati.mining@gmail.com

Abstract. Coal is a deposit composed of organic and inorganic materials. The organic material comes from plant remains that have undergone various levels of decay (decomposition) and changes in physical and chemical properties before and after being covered by other deposits. The inorganic materials in coal consist of various minerals that form as fine materials dispersed within the coal or accumulate into thin layers (Sutardji, 2009). Fly ash, also known as coal ash, is a byproduct of coal combustion. It is a fine powder produced when coal is burned and can be used as a raw material in various industries, such as construction and manufacturing. Fly ash consists of oxides, including silicon dioxide, aluminum, iron, and calcium oxide. Fly ash has several beneficial properties, including high strength, low permeability, and resistance to chemical attack. Fly ash is commonly used as a supplementary cementitious material in concrete and can also be used as a filler in asphalt, plastic, and paper products. Additionally, fly ash can be used as a raw material to produce zeolites and adsorbents. This research aims to analyze the main elements in fly ash by conducting XRF analysis. The XRF test seeks to determine the main minerals present in fly ash, with the compounds analyzed being SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , SO_3 , H_2O , and LOI. A total of 6 samples were tested, with sample codes A, B, C, D1, D2, and D3.

Keywords: *Coal, coal ash, XRF.*

Abstrak. Batubara adalah endapan yang tersusun dari bahan organik dan non organik. Bahan organik berasal dari sisa tumbuhan yang telah mengalami berbagai tingkat pembusukan (dekomposisi) dan perubahan sifat-sifat fisik serta kimia baik sebelum maupun sesudah tertutup endapan lain di atasnya. Bahan non organik pada batubara terdiri dari macam-macam mineral yang terbentuk sebagai material-material halus yang menyebar pada batubara atau terkumpul menjadi lapisan-lapisan tipis (Sutardji, 2009). Abu batubara, juga dikenal sebagai fly ash, adalah produk sampingan dari pembakaran batubara. Ini adalah bubuk halus yang dihasilkan ketika batubara dibakar, dan dapat digunakan sebagai bahan baku di berbagai industri, seperti konstruksi dan manufaktur. Abu batubara terdiri dari campuran oksida, termasuk silikon dioksida, aluminium oksida, besi oksida, dan kalsium oksida. Abu batubara memiliki sejumlah sifat yang bermanfaat, termasuk kekuatan tinggi, permeabilitas rendah, dan ketahanan terhadap serangan kimia. Abu batubara biasanya digunakan sebagai bahan pengganti semen dalam beton, dan juga dapat digunakan sebagai bahan pengisi dalam aspal, plastik, dan produk kertas. Selain itu, abu batubara dapat digunakan sebagai bahan baku dalam produksi zeolit dan adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis unsur utama yang berada di abu batubara dengan melakukan analisis XRF. Pengujian XRF bertujuan untuk mengetahui mineral utama yang terdapat didalam abu batubara, senyawa yang di analisis yaitu SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; CaO ; MgO ; Na_2O ; K_2O ; TiO_2 ; P_2O_5 ; MnO ; SO_3 ; H_2O ; HD. Jumlah sampel yang dilakukan pengujian sebanyak 6 sampel dengan kode sampel A, B, C, D1, D2, dan D3.

Kata Kunci: *Batubara, Abu Batubara, XRF.*

A. Pendahuluan

Batubara adalah salah satu sumber energi fosil yang paling banyak digunakan di dunia, dengan sebagian besar produksi energi global bergantung pada pembangkit listrik tenaga batubara. Namun, pembakaran batubara juga melepaskan berbagai polutan ke lingkungan, termasuk partikulat, sulfur dioksida, dan logam berat. Karakteristik batubara, termasuk komposisi kimia dan sifat fisiknya, memainkan peran kunci dalam menentukan dampak lingkungan dan kesehatan. (Fungky Suhayadi & Sriyanti, 2022)

Proses pembentukan batubara terdiri dari dua tahap yaitu tahap biokimia (penggambutan) dan tahap geokimia (pembatubaraan). Tahap penggambutan (*peatification*) adalah tahap dimana sisa-sisa tumbuhan yang terakumulasi tersimpan dalam kondisi reduksi di daerah rawa dengan sistem pengeringan yang buruk dan selalu tergenang air pada kedalaman 0,5-10 meter. Material tumbuhan yang busuk ini melepaskan H, N, O dan C dalam bentuk senyawa CO₂, H₂O dan NH₃ untuk menjadi humus. Selanjutnya oleh bakteri anaerobic kemudian diubah menjadi gambut (Stach dkk, 1982).

Tahap pematubaraan (*coalification*) merupakan gabungan proses biologi, kimia dan fisika yang terjadi karena pengaruh pembebanan dari sedimen yang menutupinya, temperatur, tekanan dan waktu terhadap komponen organik dari gambut. Pada tahap ini, presentase karbon akan meningkat sedangkan presentasi hidrogen dan oksigen akan berkurang. Proses ini akan menghasilkan batubara dalam berbagai tingkat kematangan material organiknya mulai dari lignite, sub-bituminous, bituminous, semi antrasit, antrasit hingga meta antrasit. Meningkatnya peringkat batubara dari lignite hingga berubah menjadi sub-bituminous dan anthracite disebabkan oleh beberapa faktor seperti kombinasi antara proses fisika dan kimia serta aktifitas biologi (Stach dkk, 1982).

Pada umumnya Batubara mengandung beberapa unsur yang diantaranya unsur karbon (C), oksigen (O), dan hidrogen (H). Selain itu terdapat beberapa unsur lain yang ditemukan juga, yaitu belerang (S), nitrogen (N), dan beberapa unsur logam pengotor yang terjebak saat batubara terbentuk. Pada batubara dikenal istilah *moisture* yang dibagi menjadi *inherent moisture* dan *surface moisture*. *Inherent moisture* berasal dari pori-pori batubara yang terisi air secara alami, sedangkan *surface moisture* adalah kandungan air yang berada pada permukaan batubara saat ditambang atau diproses. Pada analisis batubara, terdapat beberapa jenis *moisture* yang ditentukan berdasarkan standar yang disusun secara umum seperti *American Society for Testing and Materials* (ASTM) dan *International Organization for Standardization* (ISO). (Akbar et al., 2022)

Secara kimia abu batubara merupakan mineral alumino silikat yang banyak mengandung unsur-unsur Ca, K, dan Na disamping juga mengandung sejumlah kecil unsur C dan N. Bahan nutrisi dalam abu batubara yang diperlukan dalam tanah diantaranya adalah B, P dan unsur-unsur lainnya seperti Cu, Zn, Mn, Mo dan Se. abu batubara sendiri dapat bersifat sangat asam (pH 3-4) tetapi pada umumnya bersifat basa (pH 10-12). Secara fisika abu batubara batubara tersusun dari partikel berukuran silt yang mempunyai karakteristik kapasitas pengikat air dari sedang sampai tinggi. (Retno, 2006)

Abu batubara merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan oleh industri yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar untuk proses produksinya. Abu batubara memiliki sifat sebagai pozzolan, yaitu suatu bahan yang mengandung silika atau alumina silika yang tidak mempunyai sifat perekat (sementasi) pada dirinya sendiri tetapi dengan butiranannya yang sangat halus bisa bereaksi secara kimia dengan kapur dan air membentuk bahan perekat pada temperatur normal. Abu batubara merupakan residu yang tidak ikut terbakar dalam proses pembakaran batubara terdiri dari senyawa SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO SO₃, Na₂O, dan K₂O. Terdapat 2 jenis abu sisa dari pembakaran batubara yaitu abu padat dan abu terbang. Hasil pembakaran batubara menghasilkan sisa pembakaran berupa abu yang dapat dikategorikan ke dalam dua bentuk, yaitu abu dasar (*bottom ash*) dan abu terbang (*fly ash*). Komposisi abu batubara yang dihasilkan terdiri dari 5% - 15% abu dasar, sedangkan sisanya sekitar 85% - 95% berupa abu terbang (JCOAL, 2008).

Analisis abu batubara, yang merupakan residu yang tersisa setelah pembakaran batubara, dapat memberikan informasi penting tentang karakteristik batubara. *X-ray*

fluorescence (XRF) adalah teknik analisis non-destruktif yang banyak digunakan untuk analisis abu batubara. Dengan XRF, dapat dideteksi keberadaan unsur-unsur kimia, termasuk logam berat dan isotop radioaktif, yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk mengkarakterisasi batubara berdasarkan analisis abu batubara menggunakan XRF, dengan harapan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan strategi untuk mengurangi dampak negatif penggunaan batubara. (Sufriadin et al., 2023)

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “Bagaimana Karakteristik batubara berdasarkan Analisis abu batubara?”. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi keterdapatan mineral utama dalam abu batubara
2. Menentukan mineral utama yang dominan dalam abu batubara

B. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian karakteristik batubara berdasarkan analisis abu batubara ini meliputi beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. Teknik pengambilan data
Teknik pengambilan data yang dilakukan dengan mengambil data sekunder dan data primer
 - a. Data sekunder diperoleh dari penelitian yang sudah dilakuakn baik dalam bentuk jurnal maupun buku penunjang dalam kegiatan penelitian. Menggunakan ASTM sebagai panduan prosedur pengujian XRF.
 - b. Data primer diperoleh dari hasil pengujian secara langsung di laboratorium. Pengambilan data yang dilakukan adalah dengan melakukan pengujian di laboratorium PSDMBP (Pusat Sumberdaya Mineral Batubara Dan Panas Bumi). Pada laboratorium PSDMBP dilakukan preparasi abu batubara dan pengujian XRF. Hasil pengujian berupa persentase tiap senyawa yang di analisis.
2. Teknik Pengolahan Data
Pengolahan data dengan membandingkan persentase tiap senyawa-senyawa dari sampel yang sudah dilakukan pengujian XRF dari setiap sampel abu batubara.
3. Teknik Analisis Data
Analisis data yang dilakukan dengan menganalisis grafik kadar logam berat dari hasil pengujian XRF.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Keadaan Batubara Daerah Penelitian

Wilayah tambang batubara PT. XYZ berada di zona yang secara geologis terdiri dari Formasi Balikpapan dan Formasi Pulaubalang. Lapisan batubara di daerah ini memiliki karakteristik fisik berupa warna hitam, gores coklat, dan kilap kaca. Lingkungan pengendapannya adalah *Lower Delta Plain* (Daerah yang terletak di bagian bawah dari delta sungai, yang merupakan zona peralihan antara lingkungan sungai dan laut) yang terbentuk dari proses sedimentasi aluvial.

Struktur geologi daerah tersebut dipengaruhi oleh aktivitas tektonik, yang mengakibatkan pola deposisi batubara yang kompleks. Lapisan batubara dipengaruhi oleh arah tegangan utama, yaitu tenggara-barat laut. Kualitas batubara di Formasi Pulaubalang dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk struktur geologi, geomorfologi, dan stratigrafi daerah tersebut.

Sebaran Batubara Daerah Penelitian

Formasi Pulubalang selaras diatas Formasi Pamaluan. Pembentukan lapisan batubara secara signifikan terjadi pada formasi ini. Namun, pembentukan masih menunjukkan pengaruh laut, terutama di bagian bawah yang memiliki lapisan batu pasir berkapur dan beberapa *lensa coralline* kapur tipis. Di atas bagian formasi ditandai oleh beberapa urutan sedimen *fluvio-delta*

dimulai dengan tubuh batupasir di dasar dan *mudstones* dengan sisipan lapisan batubara di bagian atas. Struktur sedimen dengan urutan pengasaran-atas sering dijumpai pada formasi ini. Di lapangan batubara Sangatta, Formasi Pulubalang didistribusikan terutama di daerah seputar *Pinang Dome* dan di sepanjang margin barat lapangan batubara tersebut. Formasi Balikpapan didominasi oleh *mudstones*, *siltstones*, dan batupasir. Sikumbang dkk (1981) menunjukkan bahwa bagian atas Formasi Balikpapan terkandung lapisan batugamping. Namun di lapangan batubara Sangatta, formasi ditandai dengan tidak adanya batupasir gampingan, dan terdapat lapisan batubara yang tebal, lebih bersifat *fluviatile* dan tidak adanya lensa batugamping coral. Formasi Balikpapan berisi lapisan pembawa batubara di lapangan batubara Sangatta. Lapisan batubara yang paling ekonomis dalam formasi ini terjadi pada sisi barat *Pinang Dome*.

Klasifikasi Batubara

Klasifikasi batubara berguna untuk menggolongkan batubara berdasarkan pemanfaatannya. Secara umum, klasifikasi batubara di Indonesia dibagi menjadi *brown coal* dan *hard coal* (SNI 13-6011-1999, 1999). *Brown coal* (batubara peringkat rendah) merupakan jenis batubara yang bersifat lunak, mudah diremas, mengandung air yang tinggi (10-70%), dan terdiri dari *soft brown coal* dan lignitik atau *hard brown coal* dengan nilai kalori >7.000 kalori/gram (*dry ash free* – ASTM 388-1984). Berikut penjelasan beberapa klasifikasi batubara, yaitu :

1. Penggolongan batubara berdasarkan ASTM adalah sebagai berikut :
 - a. Gambut
2. Gambut dicirikan dengan warna fisik kecoklatan dengan mempunyai struktur berpori. Gambut memiliki kadar air dan sulfur yang tinggi dengan nilai kalori yang rendah yaitu 6.300 Btu/lb.
 - b. Lignit
3. Lignit dicirikan dengan warna fisik hitam yang sangat rapuh dengan kandungan air, abu, dan sulfur yang cukup tinggi. Lignit mempunyai calorific value sekitar 8.300-10.500 Btu/lb.
 - c. Bituminus / Sub-Bituminus
4. Batubara jenis ini ditandai dengan warna hitam mengkilat dengan struktur yang kurang kompak. Kandungan air, abu, dan sulfur mengalami penurunan dari pada jenis batubara sebelumnya. Kandungan karbon cukup tinggi dan mempunyai nilai kalor yaitu 10.500-15.000 Btu/lb.
 - d. Antrasit
5. Antrasit dicirikan dengan warna hitam yang sangat mengkilat dengan struktur yang kompak, sedangkan kadar air, abu, dan sulfur mengalami penurunan dari pada jenis batubara yang sebelumnya. Nilai kalori antrasit yaitu lebih besar dari 15.000 Btu/lb.

Tabel 1. Klasifikasi Batubara Berdasarkan ASTM

Kelas	Grup	% Tertambat (dmmf)	% Zat Terbang (dmmf)	Nilai Kalori (btu/ib) (dmmf)
Antrasit	1. meta antrasit	≥98	≤2	
	2. antrasit	92-98	2-8	
	3. semi antrasit	86-92	8-14	
Bituminus	1. low volatile	79-86	14-22	
	2. medium Volatile	69-78	22-31	

Kelas	Grup	% Tertambat (dmmf)	% Zat Terbang (dmmf)	Nilai Kalori (btu/ib) (dmmf)
	3. high volatile A	≤69	≥31	≥14.000
	4. High volatile B			13.000-14.000
	5. High Volatile C			11.500-13.000
Sub-Bituminus	1. sub-bituminus A			10.500-11.500
	2. Sub-Bituminus B			9.500-10.500
	3. Sub-Bituminus C			8.300-9.500
Lignit	1. Lignit A			6.300-8.300
	2. Lignit B			≤ 6.300

Sumber: ASTM,1981 dalam Wood dkk, 1983

6. Penggolongan batubara berdasarkan nilai kalor adalah sebagai berikut:
 - a. Batubara tingkat tinggi (*high rank*), meliputi meta antrasit, antrasit, dan semi antrasit
 - b. Batubara tingkat menengah (*moderat rank*), meliputi *low volatile*, bituminus, dan *high volatile coal*.
 - c. Batubara tingkat rendah (*low rank*), meliputi sub-bituminus dan lignit.

7.

Prosedur Pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*)

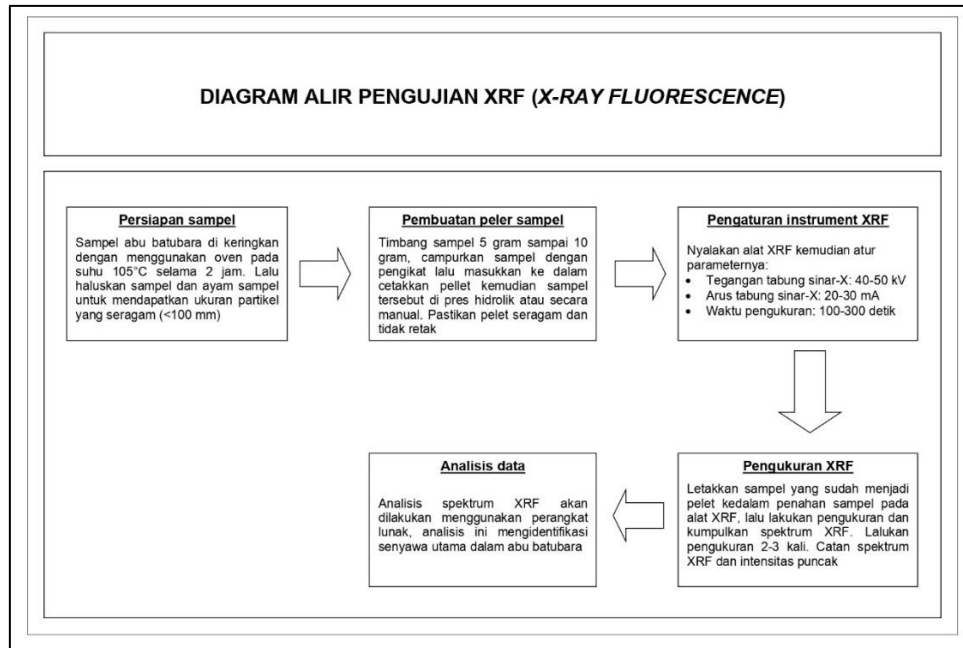
X-Ray Fluorescence adalah salah satu metode analisis yang digunakan untuk menganalisis unsur dalam suatu sampel atau bahan secara kualitatif. Prinsip kerja metode analisis XRF berdasarkan terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel oleh sinar-X dari sumber sinar-X. Hasil analisis kualitatif ditunjukkan oleh spektrum yang mewakili jenis unsur yang sesuai dengan energi sinar-X sedangkan untuk analisa kuantitatif diperoleh dengan membandingkan sampel dengan standar. Dalam analisis kuantitatif faktor-faktor yang berpengaruh dalam analisis antara lain adalah matriks bahan, kondisi kevakuman dan konsentrasi unsur dalam bahan, pengaruh unsur yang memiliki energi karakteristik unsur yang dianalisis (Kriswarini dkk., 2010). Analisis XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi akibat efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target pada sampel terkena sinar berenergi tinggi (Beckhoff B dkk., 2007).

Analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan untuk mengetahui komposisi Senyawa utama yang terdapat pada abu batubara. Prosedur pengujian XRF berdasarkan ASTM-D6247-18. Berikut adalah prosedur pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk menganalisis senyawa utama dalam abu batubara menurut ASTM-D6247-18:

1. Persiapan Sampel
 - a. Sampel abu batubara dari hasil preparasi abu terhadap sampel batubara.
 - b. Keringkan sampel dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam untuk menghilangkan kelembaban.
 - c. Giling sampel menjadi bubuk halus menggunakan mortar dan alu.
 - d. Ayak bubuk untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam (< 100 mm).
2. Pembuatan Pelet Sampel
 - a. Timbang 5-10 gram sampel yang sudah menjadi bubuk ke dalam

- cetakan pelet.
- b. Tambahkan pengikat (misalnya lilin atau selulosa) ke dalam sampel jika perlu.
- c. Tekan sampel menjadi pelet menggunakan press hidrolik atau press manual.
- d. Pastikan pelet seragam dan bebas dari retakan.
- 3. Pengaturan Instrumen XRF
 - a. Nyalakan instrumen XRF dan biarkan memanaskan.
 - b. Atur parameter instrumen:
 - 1) Tegangan tabung sinar-X: 40-50 kV
 - 2) Arus tabung sinar-X: 20-30 mA
 - 3) Waktu pengukuran: 100-300 detik
- 4. Pengukuran XRF
 - a. Letakkan sampel yang sudah dipelletisasi ke dalam penahan sampel instrumen XRF.
 - b. Mulai pengukuran dan kumpulkan spektrum XRF.
 - c. Ulangi pengukuran 2-3 kali untuk memastikan reproduktibilitas.
 - d. Catat spektrum XRF dan intensitas puncak.
- 5. Analisis Data
 - a. Analisis spektrum XRF menggunakan perangkat lunak (misalnya PyMCA, XRFWin, atau SpectraPlus).
 - b. Identifikasi senyawa utama dalam abu batubara berdasarkan puncak XRF:
 - 1) SiO_2 (silikon dioksida)
 - 2) Al_2O_3 (aluminium oksida)
 - 3) Fe_2O_3 (besi oksida)
 - 4) CaO (kalsium oksida)
 - 5) MgO (magnesium oksida)
 - 6) K_2O (kalium oksida)
 - 7) Na_2O (natrium oksida)
 - 8) TiO_2 (titanium dioksida)
 - 9) MnO (mangan oksida)
 - 10) P_2O_5 (fosfor pentoksida)
 - c. Hitung konsentrasi masing-masing senyawa menggunakan intensitas puncak XRF dan kurva kalibrasi.

Prosedur pengujian ini memastikan pengukuran yang akurat dan dapat dilakukan dari kandungan elemen dalam sampel menggunakan *Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence* (WDXRF) spektrometri seperti yang dijelaskan dalam ASTM D6247-18.



Gambar 1. Diagram Alir Pengujian XRF

Hasil Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF). adalah salah satu metode analisis kimia non-destruktif yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi unsur-unsur kimia dalam suatu sampel. Teknik ini memanfaatkan interaksi antara sinar-X dan atom dalam sampel, yang menghasilkan spektrum *fluoresensi* khas untuk setiap unsur yang ada.

Pengujian XRF dilakukan untuk mendapatkan data kuantitatif mengenai komposisi elemen dalam sampel uji. Metode ini memiliki beberapa keunggulan, antara lain kemampuannya untuk menganalisis berbagai jenis sampel, baik padat maupun cair, serta waktu analisis yang relatif cepat. Selain itu, XRF juga dikenal memiliki akurasi dan presisi yang tinggi.

Hasil dari pengujian XRF akan disajikan dalam bentuk spektrum yang menunjukkan puncak-puncak karakteristik untuk setiap unsur yang terdeteksi. hasil-hasil pengujian yang meliputi identifikasi unsur-unsur yang terkandung dalam sampel, konsentrasi masing-masing unsur, serta analisis terhadap data yang diperoleh. Hasil pengujian ini akan menjadi dasar untuk memahami komposisi kimia sampel yang dianalisis dan memberikan informasi penting yang dapat digunakan untuk keperluan analisis selanjutnya. Hasil pengujian XRF yang telah dilakukan

Analisis abu batubara berdasarkan pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) adalah suatu metode untuk mengetahui kandungan unsur-unsur dalam abu batubara. XRF digunakan untuk mengukur kandungan unsur-unsur ringan seperti sulfur (S), silikon (Si), dan aluminium (Al) yang terkandung dalam abu batubara. Dengan menggunakan XRF, dapat diketahui kandungan abu (ash content) dan nilai kalor (Caloric Value) berdasarkan jumlah fraksi unsur-unsur ringan dan anorganik, seperti magnesium (Mg), silikon (Si), aluminium (Al), potasium (K), kalsium (Ca), dan besi (Fe). XRF juga dapat digunakan untuk mengukur lebih dari 30 unsur mineral secara instan, memungkinkan karakterisasi konten unsur jejak, penggunaan litho-geokimia untuk menghubungkan stratigrafi, dan identifikasi cakrawala penanda dalam lapisan batubara individual dan geologi sekitarnya

Senyawa yang dilakukan pengujian XRF dengan sampel abu batubara yaitu sebagai berikut:

1. SiO_2 Biasanya terdapat dalam kuarsa atau mineral silikat lainnya.
2. Al_2O_3 Menunjukkan kehadiran feldspar atau mineral lempung.
3. Fe_2O_3 Menunjukkan kandungan besi, mungkin berasal dari mineral seperti hematit atau magnetit.

4. CaO Menunjukkan adanya mineral karbonat seperti kalsit.
5. MgO Bisa berasal dari mineral seperti dolomit atau olivin.
6. Na₂O & K₂O Umumnya berasal dari feldspar
7. TiO₂ Menunjukkan kehadiran mineral seperti ilmenit atau rutil.
8. P₂O₅ Menunjukkan kehadiran fosfat, yang bisa terkait dengan mineral monazit.
9. SO₃ Mungkin menunjukkan kehadiran sulfat seperti gipsum.
10. H₂O dan HD: Menunjukkan kandungan air dalam sampel.

Berdasarkan hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) diketahui bahwa. Setiap senyawa sampel memiliki persentase yang berbeda-beda. berdasarkan grafik di bawah dapat diketahui bahwa senyawa yang mendominasi adalah SiO₂; Al₂O₃; Fe₂O₃; dan CaO

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian XRF diketahui bahwa mineral utama yang terkandung dalam abu batubara adalah senyawa-senyawa oksida. Mineral utama yang terdapat dalam abu batubara yaitu mineral kuarsa, korundum, hematit, magnesium oksida, kalium oksida, natrium oksida, rutil, mangan oksida, dan mineral fosfat
2. Dalam abu batubara diketahui bahwa mineral yang dominan adalah mineral kuarsa (SiO₂), mineral korundum (Al₂O₃), mineral hematit (Fe₂O₃) dan kalium oksida (CaO).

Acknowledge

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Yunus Ashari, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung.
2. Bapak Noor Fauzi Isnarno, S.Pd, S.Si., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung.
3. Bapak Ir. Zaenal, M.T. selaku Koordinator Skripsi yang senantiasa membimbing serta memberikan semangat kepada penyusun selama penyusunan skripsi.
4. Ibu Sriyanti, S.T., M.T. yang telah memberi penyusun kesempatan dan telah mengikut sertakan penyusun dalam penelitian.
5. Ibu Ir. Linda Pulungan., M.T., selaku Dosen Wali serta Pembimbing yang senantiasa membimbing dan memberikan semangat kepada penyusun selama perkuliahan, menyelesaikan skripsi. Dan memberi penyusun kesempatan dan telah mengikut sertakan penyusun dalam penelitian.
6. Ibu Dr. Ir. Sri Widayati, S.T., M.T., IPM. selaku Co-Pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan dan bantuan kepada penyusun dalam kelancaran penyusunan dan penulisan skripsi ini.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung

Daftar Pustaka

- [1] ASTM D 388 - 1999. 1999. "Standard Classification of Coals by Rank. ASTM International": Amerika Serikat.
- [2] ASTM D6347-18. "Standard Classification of Coals by Procedure XRF. ASTM International": Amerika Serikat.
- [3] Blissett, R.S. and Rowson, N.A., 2012. A review of the multi-component utilization of coal fly ash. *Fuel*, 97, pp.1-23.
- [4] Blissett, R.S., Smalley, N. and Rowson, N.A., 2014. An investigation into six coal fly ashes from the United Kingdom and Poland to evaluate rare earth element content. *Fuel*, 119, pp.236-239
- [5] Chiang, P.C. and Pan, S.Y., 2017. Fly Ash, Bottom Ash, and Dust. In *Carbon Dioxide Mineralization and Utilization* (pp. 253-264). Springer, Singapore.
- [6] Dai, S., Jiang, Y., Ward, C.R., Gu, L., Seredin, V. V., Liu, H., Zhou, D., Wang, X., Sun,

- Y., Zou, J., Ren, D., 2012a. Mineralogical and geochemical compositions of the coal in the Guanbanwusu Mine, Inner Mongolia, China: Further evidence for an Al (Ga and REE) ore deposit in the Jungar Coalfield. *International Journal Coal o Geology*.
- [7] Dai, S., Ren, D., Chou, C.L., Finkelman, R.B., Seredin, V. V., Zhou, Y., 2012b. Geochemistry of trace elements in Chinese coals: A review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization. *International Journal Coal of Geology*.
- [8] Firman, F. 2020. “Analisis Kandungan Logam Berat Abu Batubara PLTU Bangko Barat Kab. Muara Enim Sumatera Selatan”. *Journal Of Science and Engineering*.
- [9] Hower, J. C., Groppo, J. G., Joshi, P., Dai, S., Moecher, D. P., & Johnston, M. N. (2013). Location of cerium in coal- combustion fly ashes: implications for recovery of lanthanides. *Coal Combustion and Gasification Product*
- [10] Rose, P. and Hartono, P., 1978, Geological evolution of the Tertiary Kutei-Melawi Basin, Kalimantan, Indonesia. *Proc. 7h Ann. Conv. Indon. Petrol. Assoc*
- [11] Samuel, L. and Muchsin, S., 1975, Stratigraphy and sedimentation in the Kutai Basin, Kalimantan. *Proc. 4th Ann. Conv., Indon. Petrol. Assoc*.
- [12] Seredin, V. V., & Dai, S. (2012). Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium. *International Journal of Coal Geology*, 94, 67-93.
- [13] Seredin, V. V., Dai, S., Sun, Y., Chekryzhov, I.Y., 2013. Coal deposits as promising sources of rare metals for alternative power and energy-efficient technologies. *Applied Geochemistry*
- [14] Seredin, V., Finkelman R. (2008). *Metalliferous Coals: A Review of The Main Genetic and Geochemical Types*. *International Journal of Coal Geology*
- [15] Stach, E, Marckowsky, M. 1982. *Stach’s Textbook of Coal, Petrology*. Borntrager. Berlin
- [16] Silva, L., Ward, C., Hower, J., Izquierdo, M., Waanders, F., Oliveira, M., Li, Z., Hatch, R. and Querol, X. (2010) “Mineralogy and leaching characteristics of coal ash from a major Brazilian power plant,” *Coal Combustion and Gasification Products*.
- [17] Ward, 2001. Quantification Of mineral matter in the Argonne premium coals using interactive Rietveld-based x-ray diffraction. *International journal of coal geology*.
- [18] Akbar, E. I., Dono Guntoro, & Ulfa, R. M. (2022). Karakterisasi Batubara untuk Underground Coal Gasification di Daerah Sekayu Musi Banyuasin. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 117–124. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i2.1315>
- [19] Funky Suhayadi, & Sriyanti. (2022). Kajian Lingkungan Pengendapan Berdasarkan Karakteristik Batubara Formasi Pulau Balang. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1–8. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i1.779>
- [20] Sufriadin, Mawardi, F., & Sri Widodo. (2023). Analisis Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Desulfurisasi dan Deashing Batubara Menggunakan Larutan NaOH. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 15–26. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v3i1.1681>