

Studi Karakteristik Batubara Berdasarkan Analisis Abu Batubara di PT XYZ Provinsi Kalimantan Selatan

Cika Nur Apriliyani*, Linda Pulungan, Noor Fauzi Isniarno

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

*cikanur2017@gmail.com, linda.lindahas@unisba.ac.id, noorfauzi@unisba.ac.id

Abstract. Coal is a fossil fuel that is still used as fuel for Steam Power Plants (PLTU). The greater the need for electrical energy, the greater the need for coal to meet the fuel needs of PLTUs. Burning a PLTU produces combustion residue in the form of fly ash and solid ash. Fly ash has its own level of problems compared to solid ash. Issues of air pollution, sources of disease and radioactive pollutants are the negative impacts of fly ash left over from burning coal. Coal ash is formed from compounds that are not burned in the coal combustion process. The coal gasification process is a chemical conversion process from coal in the form of particles or solids into a gas that has combustion value or is combustible. Basically coal gasification is a partial oxidation reaction of coal with oxygen or air. The gasification process is carried out in a reactor called a gasifier. This gasification process apart from producing gas which has a calorific value, also produces a by-product in the form of ash, because this gasification process is carried out at a temperature below the melting point of coal, so that the coal produced does not melt because it can form glassy slag which is inert. and can result in disruption of the floating layer condition or block the bottom of the gasifier. Coal ash can be divided into bottom ash and fly ash. Bottom ash is found at the bottom of the boiler with a grain size of around 19 – 75 μm . The main composition of ash is silica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), calcium oxide (CaO) and iron oxide (Fe_2O_3). Coal ash also contains trace elements (less than 1%).

Keywords: *Coal, Flay Ash*

Abstrak. Batubara merupakan bahan bakar fosil yang masih digunakan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Semakin besarnya kebutuhan energi listrik membuat semakin banyak pula kebutuhan batubara yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar PLTU. Abu terbang memiliki tingkat permasalahan tersendiri dibandingkan abu padat. Isu pencemaran udara, sumber penyakit dan polutan radioaktif adalah dampak negatif dari abu terbang sisa pembakaran batubara. Proses gasifikasi batubara merupakan proses konversi secara kimia dari batubara yang berbentuk partikel atau padatan menjadi gas yang bernilai bakar atau combustible. Pada dasarnya gasifikasi batubara adalah reaksi oksidasi parsial dari batubara dengan oksigen atau udara. Proses gasifikasi dilakukan dalam suatu reaktor yang disebut dengan gasifier. Proses gasifikasi ini selain menghasilkan gas yang memiliki nilai kalor, juga menghasilkan produk samping berupa abu, sebab proses gasifikasi ini dilakukan pada suhu di bawah titik leleh batubara, agar batubara yang dihasilkan tidak meleleh sebab dapat membentuk material seperti gelas (glassy slag) yang bersifat inert dan dapat mengakibatkan terganggunya kondisi lapisan mengambang atau menyumat bagian dasar gasifier. Abu batubara terbentuk dari senyawa-senyawa yang tidak ikut terbakar dalam proses pembakaran batubara. Abu batubara dapat dibedakan menjadi abu dasar (bottom ash) dan abu terbang (fly ash). Abu dasar terdapat di bagian bawah boiler dengan ukuran butir sekitar 19 – 75 μm . Komposisi utama abu adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), kalsium oksida (CaO) dan besi oksida (Fe_2O_3). Abu batubara pun mengandung trace element (kurang dari 1%).

Kata Kunci: *Batubara, Abu Batubara*

A. Pendahuluan

Negara Indonesia merupakan suatu negara yang kaya akan alamnya. Dimulai dari sumberdaya mineral dan batubara hingga mempunyai cadangan yang besar di wilayah Indonesia. Dengan adanya hal tersebut, perkembangan industri dari tahun ke tahun semakin meningkat keberadaannya. Salah satu meningkatnya perkembangan industri yaitu dalam industri pertambangan. Hal ini memberikan manfaat bagi penduduk Indonesia untuk menambah prospek yang kaya akan bahan galiannya untuk dimanfaatkan. Pada saat ini kebutuhan bahan tambang sangat meningkat salah satunya pada batubara. Batubara masih menjadi salah satu sumber energi utama di Indonesia. Batubara merupakan salah satu energi fosil yang berkontribusi sebagai kebutuhan energi di dunia yang keberadaannya tidak dapat diperbaharui. Menurut Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) (2021) cadangan batubara saat ini mencapai 38,84 miliar ton dan rata-rata produksi batubara sebesar 600 juta ton pertahun. Produksi batubara nasional diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya kontrak batubara yang baru. (Akbar et al., 2022)

Batubara terbentuk melalui proses yang bernama *coalification*, yakni merupakan suatu proses yang melibatkan reaksi fisika dan pelapukan kimiawi dari gambut. Proses penggabutan dan pembatubaraan turut melibatkan proses kompaksi, tekanan, panas, dan waktu. Teori tempat terbentuknya batubara yaitu teori insitu dan teori drift, dimana dalam penjelasannya teori insitu terbentuk ditempat dimana tumbuhan asal berada, maka setelah tumbuhan tersebut mati, belum mengalami proses transportasi segera tertutup oleh lapisan sedimen dan mengalami proses pembatubaraan. Jenis batubara yang berbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran luas dan merata, kualitasnya lebih baik karena kadar abunya relatif kecil. Sedangkan teori drift pembentuk lapisan batubara terjadi di tempat yang berbeda dengan tempat tumbuhan semula hidup dan berkembang. Tumbuhan yang telah mati diangkut oleh media air dan berakumulasi disuatu tempat, tertutup oleh batuan sedimen dan mengalami proses *coalification*. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran tidak luas, tetapi dijumpai di beberapa tempat, kualitas kurang baik karena banyak pengangkutan dari tempat asal tanaman ke tempat sedimentasi. (Sukandarrumidi, 1995).

Proses gasifikasi batubara merupakan proses konversi secara kimia dari batubara yang berbentuk partikel atau padatan menjadi gas yang bernilai bakar atau *combustible*. Pada dasarnya gasifikasi batubara adalah reaksi oksidasi parsial dari batubara dengan oksigen atau udara. Proses gasifikasi dilakukan dalam suatu reaktor yang disebut dengan gasifier. Proses gasifikasi ini selain menghasilkan gas yang memiliki nilai kalor, juga menghasilkan produk samping berupa abu, sebab proses gasifikasi ini dilakukan pada suhu di bawah titik leleh batubara, agar batubara yang dihasilkan tidak meleleh sebab dapat membentuk material seperti gelas (*glassy slag*) yang bersifat inert dan dapat mengakibatkan terganggunya kondisi lapisan mengambang atau menyumat bagian dasar gasifier. (Fungky Suhayadi & Sriyanti, 2022)

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “Bagaimana cara menentukan karakteristik batubara berdasarkan analisis abu? ”. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik pada abu batubara. (Abdulah et al., 2021)

B. Metodologi Penelitian

1. Data primer, merupakan data yang belum dipublikasi oleh pihak manapun. Kegiatan ini meliputi kegiatan pengujian secara langsung di laboratorium untuk menganalisis pengujian maseral, petrografi, abu batubara
2. Data sekunder, merupakan data yang sudah dipublikasi oleh berbagai pihak seperti data dari ESDM, artikel mengenai informasi potensi batubara dan abu batubara

Teknik pengolahan data yang dilakukan yaitu hasil pengujian dari laboratorium yang nantinya akan diolah untuk mendapatkan nilai dari parameter yang diinginkan. Pengolahan yang dilakukan yaitu berupa analisis maseral, proksimat, dan Analisis Abu batubara.

Pengambilan data dilakukan dengan mengumpulkan data-data hasil analisis laboratorium dari material yang telah diproses. Proses pengujian dilakukan dengan beberapa tahap yaitu peningkatan kadar menggunakan magnetic separator. Material hasil dari setiap

proses kemudian diuji di laboratorium untuk mengetahui karakteristik batubara pada abu batubara

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Preparasi Abu Batubara

Batubara merupakan batuan sedimen atau endapan senyawa organik yang mudah terbakar, terbentuk secara alami dari sisa tumbuhan-tumbuhan yang terendapkan dan adanya tekanan serta perubahan suhu dalam kurung waktu sangat lama. Batubara merupakan salah satu sumber energi utama selain minyak dan gas bumi. Saat ini penggunaan batubara secara global sebagian besar masih didominasi oleh pembangkit tenaga listrik. Penggunaan lain dari batubara adalah produksi kokas sebagai bahan reduktor untuk kebutuhan industri besi dan baja. Selain itu batubara juga telah digunakan secara intensif sebagai bahan bakar pada pabrik semen yang tersebar di wilayah Indonesia. Dengan menipisnya cadangan minyak bumi, diperkirakan bahwa pemakaian batubara akan semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang semakin meningkat.

Batubara adalah salah satu sumber energi dunia, dimana merupakan komoditas energi yang semakin menarik. Eksplorasi dan eksploitasi batubara terus meningkat dalam pemenuhan kebutuhan energi masyarakat dunia. Batubara merupakan istilah yang luas untuk bahan bersifat karbon secara menyeluruh yang terjadi secara alamiah. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara menjelaskan definisi batubara adalah endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara alamiah dari sisa tumbuh-tumbuhan. Batubara merupakan campuran yang sangat kompleks yang tersusun dari zat kimia organik yang mengandung karbon, oksigen dan hidrogen dalam sebuah rantai karbon (Irwandy, 2014). Dalam pengertian lain, batubara merupakan batuan sedimen (padatan) yang dapat terbakar, berasal dari tumbuhan, serta berwarna cokelat sampai hitam, yang sejak pengedapannya terkena proses fisika dan kimia yang menjadikan kaya akan kandungan karbon (Sukandarrumidi, 1999).

Menurut Irwandy (2014), batubara berasal dari tumbuhan yang telah mati dan tertimbun dalam waktu yang sangat lama diperkirakan mencapai jutaan tahun. Dalam proses pembentukan batubara terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi seperti besaran temperatur dan tekanan terhadap tumbuhan mati akan berdampak pada kondisi lapisan batubara yang terbentuk, termasuk pengayaan kandungan karbon di dalam batubara. Batubara dapat dibakar untuk membangkitkan uap atau dikarbonisasikan untuk membuat bahan bakar cair untuk dihidrogenasikan untuk membuat gas metana. Gas sintesis atau bahan bakar berupa gas dapat diproduksi sebagai produk utama dengan gasifikasi batubara menggunakan oksigen dan uap maupun udara dan uap.

Pembakaran batubara menghasilkan particulate matter (flash ash) yang dapat ditransportasikan oleh angin hingga ratusan kilometer dan solids (bottom ash dan slag) yang harus dibuang. Sejumlah senyawa dalam jumlah kecil yang terkandung dalam batubara bisa mempengaruhi proses pembakaran dan mengakibatkan pencemaran udara dari emisi gas buang yang dihasilkan. Senyawa yang sering ditemui dalam jumlah kecil tersebut antara lain sodium, sulfur, phosphorous, clorida, nitrat, sulfat dan arsen. Senyawa sodium dalam batubara akan menyebabkan presipitasi dalam boiler yang dapat menurunkan efisiensi pembakaran. Batubara jenis lignit dengan kandungan sodium 8 % dapat menyebabkan fouling di boiler yang dapat menyebabkan shut down boiler yang membutuhkan waktu pembersihan selama 3 hari. Sulfur dalam batubara akan teroksidasi menghasilkan gas SO₂ dalam gas buang yang berpotensi menimbulkan hujan asam jika gas SO₂ bereaksi dengan uap air menghasilkan asam sulfat. Batubara biasanya mengandung 0,5 – 8 % senyawa sulfur. Phosphorus dalam batubara akan menyebabkan endapan keras dalam boiler yang akan menurunkan efisiensi pembakaran. Senyawa klorida, nitrat, dan sulfat akan menyebabkan korosi di boiler. Arsen terkandung dalam jumlah yang sangat kecil dalam satuan ppb (parts per billion).

Proses gasifikasi batubara merupakan proses konversi secara kimia dari batubara yang berbentuk partikel atau padatan menjadi gas yang bernilai bakar atau combustible. Pada dasarnya gasifikasi batubara adalah reaksi oksidasi parsial dari batubara dengan oksigen atau

udara. Proses gasifikasi dilakukan dalam suatu reaktor yang disebut dengan gasifier. Proses gasifikasi ini selain menghasilkan gas yang memiliki nilai kalor, juga menghasilkan produk samping berupa abu, sebab proses gasifikasi ini dilakukan pada suhu di bawah titik leleh batubara, agar batubara yang dihasilkan tidak meleleh sebab dapat membentuk material seperti gelas (glassy slag) yang bersifat inert dan dapat mengakibatkan terganggunya kondisi lapisan mengambang atau menyumat bagian dasar gasifier.

Salah satu jenis limbah yang dihasilkan dari proses gasifikasi adalah abu batubara. Abu batubara merupakan hasil samping dari pembakaran batubara sebagai sumber energi yang banyak digunakan di industri atau pembangkit listrik. Karakteristik abu batubara yang dihasilkan sangat tergantung jenis dan ukuran batubara serta teknologi pembakaran. Karakteristik abu tersebut diperkirakan akan mempengaruhi proses pengambilan silika dari abu batubara. Batubara yang digunakan di PLTU biasanya dihancurkan dulu hingga ukuran sekitar 100 mesh dan dilakukan pembakaran di boiler tungku pulverized pada suhu pembakaran yang relatif tinggi yaitu lebih dari 800oC. Batubara yang digunakan untuk pembangkit listrik sebagai media pemanas di industri seperti industri tekstil mempunyai ukuran besar sekitar 1-5 cm dengan suhu pembakaran yang lebih rendah (sekitar 600oC). Perbedaan ukuran butiran batubara dan proses pembakaran akan menghasilkan abu dengan karakteristik yang berbeda seperti ukuran butiran, komposisi kimia, dan struktur padatan atau bentuk kristal silika. Perbedaan karakteristik abu batubara dari kedua sumber ini akan mempengaruhi proses pemungutan kembali silika dari kedua jenis abu tersebut

Abu batubara dapat dibedakan menjadi abu dasar (bottom ash) dan abu terbang (fly ash). Abu dasar terdapat di bagian bawah boiler dengan ukuran butir sekitar 19 – 75 μm . Sedangkan abu terbang merupakan butir halus yang terdispersi dalam gas buang PLTU, yang dipisahkan menggunakan electrostatic precipitator sebelum dikeluarkan dari cerobong. Komposisi utama abu adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), kalsium oksida (CaO) dan besi oksida (Fe_2O_3). Abu batubara pun mengandung trace element (kurang dari 1%).

Preparasi dilakukan dengan cara melakukan pengecilan ukuran material yang akan diuji yaitu material mentah berupa batubara sebanyak 2 kg menjadi abu batubara berukuran ± 200 mesh. Setelah didapatkan hasil ukuran yang diperlukan maka abu batubara digunakan untuk keperluan awal yang terdiri dari analisis proksimat, analisis ultimat, analisis abu. Preparasi abu batubara dilakukan di PSDMBP (Pusat Sumberdaya Mineral Batubara Dan Panas Bumi) dan proses pengerjaan preparasi abu batubara ini kurang lebih 2 minggu.

Karakteristik Abu Batubara

Berikut adalah beberapa karakteristik utama dari batubara:

1. **Komposisi Kimia**
Batubara terdiri dari Senyawa-Senyawa kimia seperti karbon (C), hidrogen (H), sulfur (S), oksigen (O), nitrogen (N), dan Senyawa lainnya. Komposisi kimianya berbeda tergantung pada jenis batubara.
2. **Nilai Kalor**
Ini mengacu pada jumlah energi yang dihasilkan saat batubara dibakar sepenuhnya. Nilai kalor bervariasi tergantung pada jenis dan kualitas batubara. Batubara yang lebih tinggi kadar karbonnya umumnya memiliki nilai kalor yang lebih tinggi.
3. **Kadar Air dan Sulfur**
Batubara mengandung sejumlah air dan sulfur. Kandungan air yang tinggi dapat mengurangi nilai kalor batubara karena sebagian energi dibutuhkan untuk menguapkan air tersebut. Kadar sulfur yang tinggi dapat menghasilkan emisi gas sulfur dioksida (SO_2) yang berkontribusi pada polusi udara dan asam hujan.
4. **Kekerasan dan Kekompakan**
Batubara dapat berupa padat atau agak rapuh tergantung pada tingkat pembentukannya. Kekerasan dan kekompakan ini memengaruhi kemampuan batubara untuk diangkut dan digunakan dalam proses industri.
5. **Warna**
Batubara dapat memiliki warna yang bervariasi mulai dari hitam legam hingga coklat.

Warna ini tergantung pada komposisi kimia dan tingkat pembentukan.

6. Jenis

Batubara dapat dibagi menjadi beberapa jenis utama, termasuk lignit, sub-bituminous, bituminous, dan antrasit. Perbedaan antara jenis batubara ini terletak pada kadar karbon, nilai kalor, dan sifat-sifat lainnya.

7. Konten Mineral

Batubara juga mengandung mineral dan zat-zat lainnya, seperti silika, aluminium, dan Senyawa jejak lainnya. Kandungan mineral ini juga dapat mempengaruhi sifat-sifat pembakaran dan pemanfaatan batubara.

8. Potensi Emisi Gas Rumah Kaca

Saat dibakar, batubara melepaskan gas-gas seperti karbon dioksida (CO₂), yang merupakan gas rumah kaca utama yang berkontribusi pada pemanasan global dan perubahan iklim.

9. Kemurnian

Kemurnian batubara mengacu pada seberapa sedikit kontaminasi atau pengotor yang terdapat di dalamnya. Batubara yang lebih murni cenderung memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dan menghasilkan lebih sedikit emisi saat dibakar.

Pada PT XYZ terdapat beberapa parameter hasil senyawa karakteristik abu batubara setelah dilakukannya pengujian, diantaranya yaitu SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, SO₃, HD dan H₂O.

SiO₂ merupakan komponen mineral utama dalam batubara, karena batubara terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan yang mengandung silika. Silika sendiri merupakan Senyawa yang paling dominan dalam tumbuhan. Keterbentukan silika dalam batubara merupakan hasil dari proses geologis dan biologis yang terjadi selama jutaan tahun, proses tersebut melibatkan transformasi material organik dari tumbuhan menjadi batubara dan terjadinya pengawetan silika dalam bentuk fitolit didalamnya. Fitolit sendiri merupakan partikel silika mikroskopis yang disimpan di dalam sel atau jaringan tumbuhan. SiO₂ sendiri dalam abu batubara termasuk kedalam kategori abu terbang (*fly ash*), karena pada saat proses pembakaran batubara material organik dalam batubara terbakar dan meninggalkan residu mineral berupa abu. SiO₂ memiliki sifat yang stabil dan tinggi titik leleh yang dimana tidak terbakar tetapi tetap menjadi partikel abu yang sangat halus. SiO₂ sangat dominan di abu batubara karena pada batubara sendiri mengandung silika dalam jumlah besar dan silika sangat stabil pada suhu tinggi dan tidak terurai selama pembakaran.

Al₂O₃ merupakan komponen Senyawa yang dapat ditemukan dalam batubara. Al₂O₃ dapat terbentuk dalam batubara melalui beberapa proses terutama melalui oksidasi aluminium yang terkandung dalam mineral-mineral seperti kaolinit atau pirit. Oksidasi tersebut dapat terjadi selama pembentukan batubara apabila batubara terpapar udara atau air selama proses pembentukannya. Al₂O₃ termasuk kedalam abu batubara terbang (*fly ash*) karena ketika batubara dibakar komponen-komponen organiknya terbakar dan meninggalkan residu berupa abu yang mengandung Al₂O₃. Al₂O₃ terdapat dalam abu batubara karena aluminium yang terkandung dalam batubara bereaksi dengan oksigen selama masa pembakaran.

Fe₂O₃ adalah komponen yang dapat ditemukan dalam batubara. Biasanya Fe₂O₃ dapat ditemui pada mineral-mineral seperti hematit atau magnetit yang terdapat didalam lapisan batubara. Fe₂O₃ termasuk kedalam abu batubara terbang (*fly ash*) karena mengandung mineral-mineral besi yang terbakar selama proses pembakaran dan meninggalkan residu padat yang mengandung besi oksida dalam abu batubara.

MgO dapat ditemukan dalam batubara tetapi dalam jumlah yang kecil dibandingkan dengan Al₂O₃ atau Fe₂O₃. MgO berasal dari material-material yang mengandung magnesium yang ikut terbawa selama proses pengendapan dan pembentukan batubara. MgO termasuk kedalam abu batubara terbang (*fly ash*) karena batubara yang mengandung mineral-mineral magnesium yang terbakar selama proses pembakaran meninggalkan residu padat yang mengandung magnesium oksida dalam abu batubara.

CaO juga dapat ditemukan dalam batubara meskipun dalam yang jumlah lebih kecil dibandingkan dengan komponen Al₂O₃, Fe₂O₃ atau MgO. CaO dalam batubara bisa berasal dari

mineral-mineral yang mengandung kalsium yang ikut terbawa selama proses pembentukan batubara. CaO dalam abu batubara termasuk kedalam abu terbang (*fly ash*) karena batubara mengandung mineral-mineral yang mengandung kalsium, seperti kalsit atau dolomit yang terbakar selama proses pembakaran meninggalkan residu padat yang mengandung kalsium oksida dalam abu batubara.

Na₂O dalam batubara biasanya cukup rendah, hal tersebut terjadi karena adanya kontaminasi dari batuan atau mineral lain yang terkandung dalam batubara tersebut. Tetapi untuk kandungan persentasinya mungkin sangat kecil tergantung pada keterbentukan batubaranya. Na₂O dapat ditemukan dalam abu batubara, hal tersebut karena pada saat batubara dibakar maka abunya akan mengandung natrium oksida, tetapi kandungan abunya sangat kecil yang akan mempengaruhi kualitas abu batubara yang dihasilkan.

K₂O dalam batubara umumnya juga rendah sama seperti natrium oksida. Apabila terdapat K₂O dalam batubara maka Senyawa tersebut berasal dari kontaminasi dari mineral atau batuan lain yang terkandung dalam batubara tersebut. K₂O juga dapat terbentuk dalam abu batubara, terutama pada saat setelah dilakukannya pembakaran pada batubara. Saat batubara dibakar senyawa kalium dalam batubara akan teroksidasi dan berkontribusi dalam kandungan K₂O meskipun kandungannya relatif lebih rendah.

TiO₂ jarang ditemukan dalam batubara. Batubara biasanya terbentuk dari material organik seperti tumbuhan yang terkompresi dan terdekomposisi jutaan tahun. TiO₂ bisa saja terdapat dalam batubara tetapi kemungkinan adanya hanya sedikit dan biasanya terdapat dari sumber eksternal yang terlarut dalam air dan terakumulasi selama proses pembentukan batubara. TiO₂ dapat ditemukan dalam abu batubara meskipun dalam jumlah yang sangat kecil.

P₂O₅ dalam batubara dapat mempengaruhi sifat-sifat abu yang dihasilkan selama pembakaran. Abu dengan kandungan P₂O₅ tinggi memiliki titik leleh rendah yang dapat menyebabkan pembentukan kerak pada saat pembakaran.

MnO dalam pembentukan batubara merupakan salah satu elemen minor yang memberikan petunjuk mengenai kondisi geokimia dan proses diagnosis yang terjadi selama pembentukan batubara. Mangan sendiri berasal dari bahan organik dan mineral yang ada dalam lingkungan sedimentasi.

SO₃ dalam batubara berhubungan dengan kandungan sulfur yang ada dalam batubara pada saat pembakaran. Sulfur dalam batubara dapat terbentuk dalam bentuk organik dan anorganik, termasuk mineral sulfida seperti pirit (FeS₂). Sulfur dapat terikat dalam struktur organik batubara yang berasal dari material tanaman asal batubara.

Senyawa HD atau *Loss On Ignition* (LOI) merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur kandungan bahan volatil dalam batubara dan abu batubara. Senyawa tersebut memberikan informasi mengenai jumlah zat yang hilang saat sampel dipanaskan pada suhu tinggi, mencakup bahan organik, air yang terikat, karbon dioksida dari karbonat dan sulfur dari sulfida. LOI merupakan parameter yang sangat penting dalam analisis batubara dan abu batubara yang memberikan informasi tentang kandungan bahan volatil dan kualitas pembakaran.

Air (H₂O) dalam batubara memberikan peran penting dalam pembentukan batubara melalui beberapa tahapan yang melibatkan akumulasi bahan organik, pembentukan gambut dan akhirnya tertransportasi menjadi batubara melalui proses diagnosis dan metamorfisme. Pembentukan batubara sendiri dimulai dari lingkungan berawa atau rawa-rawa yang dimana air stagnan atau lambat mengalir dan menciptakan kondisi anaerobik yang mencegah dekomposisi bahan organik. Tanaman yang mati akan terakumulasi dalam air dan akan membentuk lapisan gambut yang merupakan tahapan awal dalam pembentukan batubara. Air dalam abu batubara merupakan komponen penting yang mempengaruhi sifat fisik dan kimia abu.

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut: Karakteristik abu batubara dapat dilihat dari mineral batubara yang dapat diketahui pada saat melakukan pengujian analisis XRF seperti senyawa SiO₂, Al₂O₂, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, SO₃, HD dan H₂O.

Acknowledge

Dalam kesempatan ini, tidak lupa juga ucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Yunus Ashari, M.T. selaku ketua Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung.
2. Bapak Noor Fauzi Isniarno, S.Si., S.Pd., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, serta dosen CoPembimbing skripsi yang telah memberikan ilmu pengetahuan, arahan dan membimbing penyusun selama masa bimbingan.
3. Bapak Ir. Zaenal, M.T. selaku Koordinasi Skripsi yang telah mengarahkan dalam kelancaran kegiatan skripsi
4. Ibu Ir. Linda Pulungan, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan ilmu pengetahuan, arahan dan membimbing penyusun selama masa bimbingan.
5. Ibu Sriyanti, S.T., M.T. selaku dosen yang memberikan kesempatan kepada penyusun dan telah mengikut sertakan penyusun dalam penelitian ini
6. Bapak Ir. Yuliadi, S.T.,M.T.,IPM., selaku dosen wali yang telah membantu selama perkuliahan
7. Seluruh staff administrasi Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung.
8. Keluarga Tambang 2020, ysnng telah bersama-sama berjuang dan memberikan dukungan pada saat penyusunan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Anggara, F., Petrus, H., Besari, D. A. A., & Manurung, H. (2021). Tinjauan Pustaka Karakterisasi Dan Potensi Pemanfaatan Fly Ash Dan Bottom Ash (Faba): Review on Characterization and Utilization Potential of Fly Ash and Bottom Ash (Faba). *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(1), 53–70.
- [2] Arif, Irwandy. (2014). *Batubara Indonesia*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- [3] ASTM D 388 - 1999. 1999. *Standard Classification of Coals by Rank*. ASTM International: Amerika Serikat
- [4] ASTM DC6247 – 18. *Standard Test Method for Determination of Element Content of Polyolefins by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry*
- [5] Badan Geologi Kementrian Energi dan Sumberdaya Mineral, 2012, “GEOMA GZ (Majalah Geologi Populer) Vol,2 No,2”, Bandung: Badan Geologi.
- [6] Badan Geologi.2021. “Cadangan Batubara Indonesia”, <http://www.esdm.go.id>.
- [7] Caroles, J. D. S. (2019). Ekstraksi silika yang terkandung dalam limbah abu terbang batu bara. *Fullerene Journal of Chemistry*, 4(1), 5.
- [8] Dai, S., Jiang, Y., Ward, C. R., Gu, L., Seredin, V. V, Liu, H., Zhou, D., Wang, X., Sun, Y., & Zou, J. (2012). Mineralogical and geochemical compositions of the coal in the Guanbanwusu Mine, Inner Mongolia, China: Further evidence for the existence of an Al (Ga and REE) ore deposit in the Jungar Coalfield. *International Journal of Coal Geology*, 98, 10–40.
- [9] D. H. Amijaya. 2007. *Pengantar Geologi Batu bara*. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [10] F. Firman, A. Haya, and A. Sahidi, “Identifikasi Kandungan Logam Tanah Jarang pada Abu Batubara PLTU Mulut Tambang,” vol. 1, no. 1, pp. 18–24, 2020.
- [11] Gazulla, M. F., Ventura, M. J., Orduña, M., Rodrigo, M., & Torres, A. (2022). Determination of trace metals by ICP-OES in petroleum cokes using a novel microwave assisted digestion method. *Talanta Open*, 6(July), 1–7.
- [12] Honaker, R., Groppo, J., Bhagavatula, A., Rezaee, M. and Zhang, W. (2016) “Recovery of rare earth minerals and elements from coal and coal by product,” in *Coal Prep 2016 - Annual Coal Processing Exhibition & Conference*.
- [13] Irzon, R., Kurnia, Sendjaja, P., & E. Setiawan, V. (2021). *Kaolinitisasi Dan Mobilitas*

- Senyawa Tanah Jarang Pada Profil Pelapukan Batuan Gunungapi Di Puncak Mandeh, Sumatra Barat. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(1), 37–51.
- [14] Karakteristik, A., dan Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash, P., Asof, M., Arita, S., Andalia, W., & Naswir, M. (2022). Analysis of Characteristics, Potential and Utilization of Fly Ash and Bottom Ash PLTU Fertilizer Industry. *Jurnal Teknik Kimia*, 28(1), 2721–4885.
- [15] Nursanto, E., & Untung Sukamto. (2015). Pengolahan Batubara dan Pemanfaatannya untuk Energi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan,”* A1(1), 1–4.
- [16] Pramusanto dan Rodliyah, Isyatun, 2015, “Penelitian Logam Tanah Jarang di Indonesia”, Bandung: Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
- [17] Puspita, M., AR, A., & Zahar, W. (2022). Identifikasi Keterdapatan Senyawa Logam Tanah Jarang dalam Lapisan Batubara di PT Prima Mulia Sarana Sejahtera Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan. *COMSERVA Indonesian Journal of Community Services and Development*, 1(9), 657–666.
- [18] Seredin, V. V. (1996). Rare earth element-bearing coals from the Russian Far East deposits. *International Journal of Coal Geology*, 30(1–2), 101–129.
- [19] Spectrometer, D. X., Technique, F., Inductively-, S., Plasma, C., Emission, A., Metals, R., & Spectrometer, D. M. (2013). Standard Specification for iTeh Standards iTeh Standards Document Preview. i(Reapproved), 1–3.
- [20] Standar Nasional Indonesia (SNI) 7573:2010 “Analisis petrografi dan minegrafi”
- [21] Suganal, 2016, “Identifikasi dan Karakterisasi Senyawa Logam Tanah Jarang pada Abu Dasar (Bottom Ash) dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Berbahan Bakar Batubara”, Bandung: Puslitbang tekMIRA.
- [22] Sukandarrumidi. (1999). *Bahan Galian Industri*. Yogyakarta: Gadjah Mada Universitas Press
- [23] Tanggara, D. N., & Kristiana, W. (2020). Pemanfaatan Batubara. *Jurnal Teknik Pertambangan*, 20(2), 87–93.
- [24] Umardani, Yusuf, 2016, “X-Ray Fluorescence (XRF) dan X-Ray Diffraction (XRD)”, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- [25] Ward, C.R. and Ruiz, I.S., 2008, Introduction to Applied Coal Petrology, (in Applied Coal Petrology, The role of petrology in coal utilization; Ruiz-Suares & Creling, J.A, Ed.)
- [26] Yu, C., Mu, N., Huang, W., Xu, W., & Feng, X. (2022). Major and Rare Earth Element Characteristics of Late Paleozoic Coal in the Southeastern Qinshui Basin: Implications for Depositional Environments and Provenance. *ACS Omega*.
- [27] Abdulah, Ashari, Y., & Maryanto. (2021). Rencana Produksi Pengangkutan Overburden Berdasarkan Pola Hujan di PT X Site Asam-Asam, Desa Riam Andungan, Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1(1), 8–21. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v1i1.28>
- [28] 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>
- [29] Fungky 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>