



ir Belakang

BAB I PENDAHULUAN

Ilmu geologi mempelajari material-material penyusun bumi termasuk batuan sedimen organik seperti batubara. Batubara termasuk batuan sedimen organik karena berasal dari tumbuhan-tumbuhan yang telah mati dan terendapkan dalam cekungan untuk waktu yang lama dan mengalami proses pembatubaraan (*coalification*) (Elliot, 1981 dalam Arif, 2014). Batubara bersifat heterogen dan mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen, serta oksigen sebagai komponen unsur utama dan belerang serta nitrogen sebagai unsur tambahan. Heterogenitas batubara disebabkan oleh variasi tanaman pembentuk gambut dari mana pembentukannya dan variasi dalam kondisi, waktu, tekanan, dan suhu dimana material organik menjadi perhatian selama fase biokimia dan geokimia. Dasar satuan penyusun batubara homogen secara fisika dan kimia adalah maseral (Marwanza dan Azizi, 2023). Karakteristik suatu batubara dapat diketahui melalui analisis maseral untuk mengetahui material penyusunnya dan analisis geokimia untuk mengetahui sifat fisik dan kandungan unsur di dalamnya.

Analisis petrografi dilakukan dengan pengamatan mikroskopis pada sayatan poles batubara untuk mengetahui jenis maseral yang terdapat pada batubara dan juga kandungan mineral lainnya seperti mineral pirit dan mineral lempung. Sementara analisis geokimia terbagi menjadi dua yaitu analisis proksimat dan analisis ultimat, kedua analisis ini dilakukan dengan mengacu pada American Society for Testing Materials (ASTM). Analisis proksimat dilakukan untuk mengetahui sifat fisik batubara berupa moisture, ash, volatile matter, fixed carbon, dan nilai kalor. Analisis Ultimat dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, dan sulfur. Analisis geokimia ini berpengaruh terhadap kualitas pembakaran dan dampak lingkungan yang ditimbulkan.

Daerah penelitian terletak di Pulau Bunyu, Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara, dan termasuk dalam wilayah Izin Usaha Pertambangan milik PT. Garda Tujuh Buana. Secara geografis terletak pada koordinat pada koordinat 117°47'11" - 117°50'6.2" Bujur Timur (BT) dan 03°31'9.3" - 03°34'06" Lintang Utara (LU). Daerah penelitian termasuk dalam Geologi Regional Lembar Cekungan Tarakan, Sub-cekungan Tarakan, yang terdiri dari Satuan Aluvium dan Formasi Sajau dengan litologi batupasir, batulempung, batulanau, dan lapisan batubara dengan ketebalan berkisar 3 - 45 meter.

Penelitian tentang kualitas batubara penting dilakukan untuk mengetahui peringkat dari batubara, yang dapat diketahui lewat analisis geokimia. Kualitas batubara merupakan aspek penting dalam industri pertambangan, karena menentukan nilai ekonomis dan penggunaannya, semakin bagus kualitas batubara maka semakin tinggi pula nilainya di pasaran. Analisis petrografi dapat menjadi penunjang dalam penentuan peringkat atau kualitas batubara. Analisis petrografi juga membantu untuk penentuan lingkungan pengendapan, *source* material tumbuhan yang menjadi batubara melalui komposisi maseral dalam batubara, dan menjadi data pendukung untuk analisis geokimia dalam penentuan kualitas atau *rank* batubara. Oleh karena itu, penulis memilih judul "Analisis Petrografi dan Geokimia Pada PT. Garda Tujuh Buana, *Site* Pulau Bunyu, Kalimantan Utara" sebagai penelitian tugas akhir.



Batasan Masalah

- tujuan penelitian dapat tercapai dan terarah secara efektif, maka penulis batasan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini, yaitu:
1. Bagaimana karakteristik geokimia batubara pada daerah penelitian?
 2. Bagaimana karakteristik petrografi batubara pada daerah penelitian?
 3. Bagaimana lingkungan pengendapan dan kondisi lingkungan pengendapan serta sumber batubara daerah penelitian berdasarkan karakteristik geokimia dan petrografi?
 4. Bagaimana kualitas batubara pada daerah penelitian berdasarkan karakteristik petrografi dan geokimia?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini yaitu untuk mengkaji kualitas batubara melalui karakteristik lingkungan pengendapan dan source batubara berdasarkan analisis petrografi dan geokimia pada batubara di daerah penelitian.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Mengetahui kualitas batubara pada daerah melalui analisis geokimia berupa analisis proksimat dan analisis ultimat.
2. Mengetahui kualitas batubara pada daerah penelitian melalui analisis petrografi.
3. Mengetahui karakteristik lingkungan pengendapan dan source batubara daerah penelitian.
4. Mengetahui kualitas batubara berdasarkan analisis data yang telah dilakukan.

1.4 Batasan Masalah

Dalam melaksanakan penelitian dan pembahasan pada karya ilmiah ini, penulis membatasi dengan mengetahui karakteristik petrografi dan geokimia batubara yang kemudian dikembangkan untuk dapat mengetahui lingkungan pengendapan batubara, kondisi lingkungan pengendapan batubara, sumber vegetasi atau asal batubara daerah penelitian yang berkaitan dengan analisis petrografi yang dilakukan. Semua data-data yang diteliti akan disatukan untuk menyimpulkan kualitas batubara baik seam D maupun seam E pada daerah penelitian.

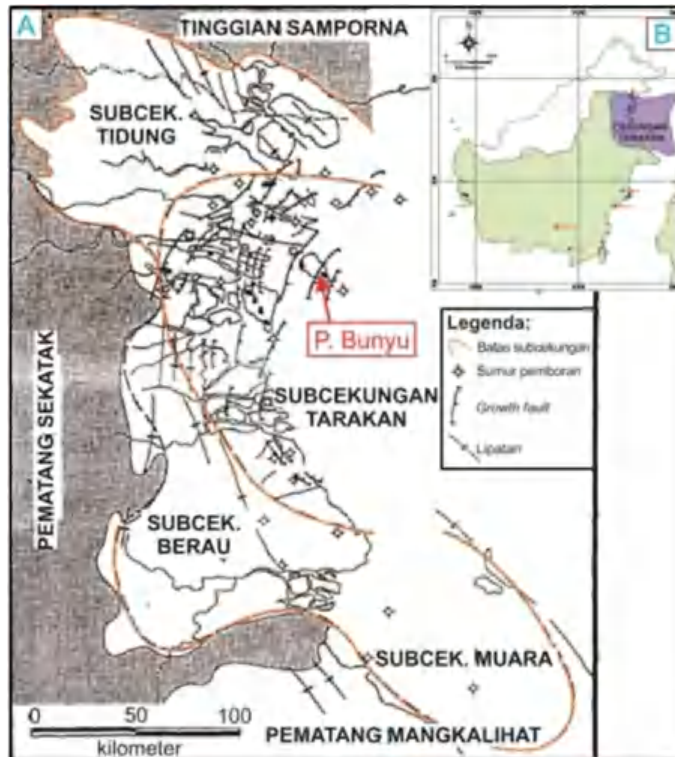
1.5 Teori

1.5.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak di Pulau Bunyu, Kecamatan Bunyu, Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara. Daerah penelitian masuk ke dalam geologi regional Cekungan Tarakan yang merupakan salah satu dari tiga Cekungan Tersier Utama yang terdapat di bagian timur *continental margin* Kalimantan. Cekungan Tarakan terletak di sebelah timur laut Pulau Kalimantan dan berbatasan langsung dengan Tinggian Sampurna pada bagian utara, Tinggian Kuching pada bagian barat, Pegunungan Mangkalahat pada bagian selatan dan membuka ke arah timur sampai ke Selat Makassar (Nuay, 1985). Ditinjau dari fasies dan lingkungan pengendapannya, Cekungan Tarakan terbagi menjadi 4 Sub-cekungan, salah satunya adalah Sub-



arakannya yang berkembang di lepas pantai dan meliputi pulau-pulau besar, Pulau Tarakan dan Pulau Bunyu.



Gambar 1 Cekungan Tarakan dan Letak Pulau Bunyu

1.5.1.1 Geomorfologi Regional

Daerah penelitian terletak di Pulau Bunyu, Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara. Pulau Bunyu masuk ke dalam geologi regional Lembar Cekungan Tarakan dan menjadi bagian dari Sub-cekungan Tarakan. Daerah penelitian memiliki kondisi topografi landai hingga bergelombang dengan ketinggian topografi yang bervariasi, dari yang terendah sekitar 40 meter dan hingga titik tertinggi mencapai 100 meter di atas permukaan laut.

Berdasarkan morfologinya, daerah penelitian dibagi menjadi dua bagian yaitu perbukitan bergelombang dan daerah pedataran. Daerah dengan kondisi geomorfologi pedataran terdapat di wilayah selatan dengan luas sekitar 100 Ha, atau mencakup sekitar 20% dari area pertambangan PT. Garda Tujuh Buana. Daerah dengan kondisi geomorfologi perbukitan bergelombang tersebar pada area seluas 610 Ha atau mencakup sekitar 80% dari wilayah pertambangan batubara PT. Garda Tujuh Buana. Daerah dengan geomorfologi ini memiliki kondisi topografi dengan ketinggian beragam, yaitu antara 25 – 150 meter di atas permukaan laut. Wilayah pertambangan PT. Garda Tujuh Buana juga dilalui oleh beberapa sungai, seperti Sungai Besar dan Sungai Reuris yang merupakan sungai utama, serta terdapat percabangan beberapa anak sungai.



rsi, dimana di bagian intinya ditempati oleh lempung laut dalam berumur a akhir Miosen, dan batugamping turbidit (Wight dkk., 1993).

ertian Batubara

Ahli geokimia batubara Elliot (1981) berpendapat bahwa batubara adalah batuan sedimen yang heterogen secara kimia dan fisik yang komponen utamanya adalah unsur karbon, hidrogen, dan oksigen, dan unsur tambahannya adalah belerang dan nitrogen. Zat lain yaitu senyawa anorganik pembentuk abu (*ash*) tersebar ke seluruh senyawa batubara sebagai partikel mineral tersendiri (Arif, 2014).

Menurut Undang-Undang No. 4 tahun 2009 tentang mineral dan batubara, batubara merupakan endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara alamiah dari sisa tumbuh-tumbuhan dan bisa terbakar. Secara ringkas, batubara bisa didefinisikan sebagai batuan karbonat berbentuk padat, rapuh, berwarna cokelat tua sampai hitam, dapat terbakar, yang terjadi akibat perubahan tumbuhan secara kimia dan fisik (Arif, 2014).

1.5.3 Genesa Batubara

Batubara berasal dari tumbuhan yang telah mati dan terendapkan dalam cekungan yang berisi air dalam waktu sangat lama, mencapai jutaan tahun. Inilah yang membedakan batubara dengan minyak bumi, karena minyak bumi berasal dari sumber hewani. Lingkungan pembentukan batubara sendiri harus merupakan cekungan anaerob, yaitu tidak ada oksigen yang terlibat dalam prosesnya. Pembentukan batubara bisa dibagi menjadi dua tahap, yaitu penggabutan (*peatification*) dan tahap pembatubaraan (*coalification*) (Arif, 2014).

1.5.3.1 Tahap Penggabutan

Batubara di dunia umumnya berasal dari Zaman Karbon. Pada era itu, iklim bumi adalah tropis sehingga memungkinkan bermacam-macam tumbuhan tumbuh subur di bumi, khususnya di daerah rawa. Tumbuhan yang tua lama-kelamaan mati dan menumpuk serta tertimbun di daerah rawa. Timbunan itu makin lama makin tebal, dan seiring laju pertambahan timbunan tumbuhan, terdapat pula laju penurunan dasar rawa. Hal ini menyebabkan terakumulasinya timbunan tumbuhan mati yang kemudian diuraikan oleh bakteri. Bagian-bagian tumbuhan itu terurai dalam kondisi anaerob menjadi karbon dioksida, air, dan asam humin. Proses ini dinamakan humifikasi, dengan gambut sebagai hasil akhir. Proses pembentukan gambut ini sangat penting dalam proses pembentukan batubara karena menjadi asal-usul terbentuknya batubara (Sukandarrumidi, 1995). Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan gambut tersebut adalah iklim (berpengaruh pada jenis tumbuh-tumbuhan), paleogeografi, dan tektonik.

Faktor iklim suatu wilayah berdasarkan posisi geografisnya berpengaruh pada jenis flora yang tumbuh di wilayah tersebut. Semakin hangat atau basah suatu iklim, akan semakin subur pula tanaman yang tumbuh. Hal ini diperlihatkan oleh adanya rawa-rawa hutan kayu di daerah beriklim tropis dan subtropis, sedangkan di daerah beriklim sedang dan dingin didominasi oleh rawa-rawa dengan tumbuh-tumbuhan buluh, ilalang, dan



n waktu geologis yang lampau, gambut mendominasi daerah beriklim hangat (Karbon Akhir, Kapur Akhir, Tersier Awal). Faktor iklim tidak hanya mempengaruhi laju pertumbuhan suatu tanaman, tetapi juga tingkat pelapukannya (Santoso,

Menurut Santoso (2017), berkaitan dengan aspek paleogeografis dan tektonik, ada beberapa syarat untuk perkembangan endapan gambut yang tebal, yaitu;

1. Penurunan permukaan tanah secara menerus dan perlahan, yang mengakibatkan permukaan air tanah naik.
2. Perlindungan rawa-rawa gambut terhadap genangan air laut dan air banjir sungai, dengan adanya tanggul-tanggul alam.
3. Pasokan sedimen sungai harus tidak berlebihan, agar pembentukan gambut berjalan lancar.

Apabila permukaan air tanah naik terlalu tinggi, yang biasanya diakibatkan oleh penurunan permukaan tanah yang sangat cepat, rawa-rawa pembentuk gambut akan tergenang air dan pengendapan sedimen baik danau air tawar maupun laut segera terjadi. Apabila penurunan permukaan tanah terlalu perlahan, bahan rombakan tumbuh-tumbuhan di permukaan tanah akan membusuk dan endapan gambut yang sudah terbentuk akan segera tererosi. Dengan demikian dapat digarisbawahi bahwa pembentukan batubara sangat tergantung pada kondisi paleogeografis dan struktur di dalam wilayah cekungan sedimentasi. Di wilayah iklim subtropis kecepatan tumbuh tahunan gambut di rawa di perkirakan mencapai 0,5 - 2,0 milimeter per tahun. Sementara untuk daerah tropis, seperti Kalimantan, kecepatan tumbuh gambutnya mencapai 3 - 4 milimeter per tahun atau 1 meter setiap 300 - 400 tahun (Santoso, 2017).

1.5.3.2 Tahap Pembatubaraan

Proses pembatubaraan didefinisikan sebagai perkembangan gambut menjadi lignit, subbituminus, bituminus, dan antrasit. Pembatubaraan bisa dikatakan juga sebagai proses pematangan. Ada tiga faktor yang mempengaruhi proses pembatubaraan yaitu temperatur, tekanan, dan waktu. Ketiga faktor ini akan sangat memengaruhi tingkat kematangan batubara, atau disebut rank (Arif, 2014).

Ada tiga hal yang mempengaruhi temperatur pada proses pembatubaraan, yaitu *geothermal gradient*, *igneous intrusion*, dan *tectonic activity*. *Geothermal gradient* adalah sumber panas yang berasal dari perut bumi. Semakin dalam dari permukaan tanah, temperaturnya akan semakin tinggi. Kenaikan temperaturnya sekitar 3°C sampai 4°C untuk tiap kedalaman 100 meter. *Igneous intrusion* adalah kontak lelehan magma dengan batubara sebagai aktivitas vulkanik. *Igneous intrusion* bisa berupa *dyke* (intrusi yang arahnya vertikal terhadap perlapisan tanah) dan *sill* (intrusi yang arahnya horizontal terhadap perlapisan tanah). *Tectonic activity* berupa gesekan atau pergeseran lempeng bumi atau blok batuan, juga bisa menimbulkan peningkatan temperatur di sekitar lapisan batubara. Kondisi temperatur ini akan menyebabkan pematangan pada batubara yang diterobos (Arif, 2014).

Kedalaman lapisan batubara bisa menimbulkan efek tekanan. Makin dalam lapisan tersebut berarti mendapat tekanan dari lapisan tanah di atasnya (*overburden*). Makin lama terpendam, batubara itu akan mendapatkan tekanan dan temperatur tinggi yang makin lama. Efeknya, batubara akan menjadi semakin matang seiring makin



pendaman. Selain itu, tekanan juga bisa diakibatkan oleh aktivitas tektonik *r stress* atau gaya geser. Dalam proses intrusi, tekanan juga memiliki andil, ratur yang mematangkan batubara yang diterobos (Arif, 2014).

es pembatubaraan dikenal dengan dampaknya pada pergerakan *rank* batubara (Anggayana, Komang, 2005 dalam Arif, 2014). Perubahan *rank* dapat terjadi akibat adanya “pematangan paksa” oleh intrusi yang berdampak pada variasi perlapisan batubara di tempat yang diintrusi. Pada umumnya *rank* batubara terdiri dari lignit dengan *rank* terendah hingga antrasit untuk *rank* tertinggi. *Rank* batubara tidak selamanya bervariasi dalam suatu cekungan batubara. Perubahan *rank* bisa mengakibatkan perubahan pada beberapa parameter analisis seperti *volatile matter*, *fixed carbon*, *caloric value*, *moisture*, dan *vitritine reflectance* (Arif, 2014).

1.5.4 Klasifikasi Batubara

Beberapa negara memiliki sistem klasifikasi batubara secara spesifik. Klasifikasi digunakan untuk menggolongkan batubara berdasarkan pemanfaatannya. Secara luas, klasifikasi batubara terdiri dari aspek komersial dan aspek ilmiah. Klasifikasi batubara untuk kepentingan ilmiah antara lain mencakup genesa batubara dan *rank*-nya, sedangkan untuk kebutuhan komersial antara lain nilai perdagangan dan pemanfaatannya (Arif, 2014).

Klasifikasi batubara di Indonesia dibagi menjadi *brown coal* dan *hard coal* (SNI13-6011-1999, 1999). *Brown coal* (batubara energi rendah) adalah jenis batubara dengan peringkat paling rendah, bersifat lunak, mudah diremas, mengandung air yang tinggi (10 - 70%), dan terdiri atas *soft brown coal* dan *lignitic* atau *hard brown coal*. *Hard coal* didefinisikan sebagai semua jenis batubara yang memiliki peringkat lebih tinggi dari *brown coal*, bersifat lebih keras, tidak mudah diremas, kompak, mengandung kadar air yang relatif rendah, umumnya struktur kayu tidak tampak lagi, dan relatif tahan terhadap kerusakan fisik saat penanganan (*coal handling*) (Smakowski, dkk, 2011 dalam Arif, 2014).

Sementara secara lebih luas, klasifikasi batubara menurut ASTM D-388-1984 merupakan salah satu sistem klasifikasi yang umum digunakan di berbagai negara di dunia. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada hierarki, nilai komersial, dan *rank* batubara tunggal. Parameter untuk klasifikasi batubara menurut *rank* adalah *fixed carbon (dry mineral matter free)* untuk batubara *rank* tinggi dan *gross calorific* untuk batubara *rank* rendah. Sistem ASTM ini memiliki kelemahan, antara lain tidak mengandung informasi keadaan lingkungan pembentukan, definisi mengenai perbatasan lignit dan gambut yang tidak jelas, serta hanya cocok untuk batubara kaya vitritin (Arif, 2014).

1.5.5 Analisis Petrografi Batubara

Petrologi batubara adalah cabang dari ilmu geologi yang mempelajari komponen organik dan anorganik pembentuk batubara, yang meliputi asal-usul, sejarah, geologi, dan sifat-sifatnya yang berkaitan dengan komposisi (Stach dkk., 1981 dalam Santoso, 2017). Pendekatan utama pada ilmu ini adalah cara melihat komponen organik dan anorganik secara mikroskopis-keilmuan ini disebut dengan petrografi batubara yang menekankan pada cara pemerian dan klasifikasi secara sistematis batubara (Merritt, 1987 dalam Santoso, 2017).



s batubara berasosiasi dengan tipe bahan tanaman pada gambut dan tingkat biokimia dan kimia. Hal ini merupakan tingkat awal pembatubaraan (Cook, Santoso, 2017). Variasi batubara secara petrografis bisa ditelaah dalam krolitotipe, dan litotipe. Maseral adalah unsur mikroskopis batubara dan serupa dengan mineral-mineral batuan. Mikrolitotipe adalah lapisan tipis batubara (tebal 0,05 mm) berisi asosiasi maseral yang terlihat dibawah mikroskop. Litotipe merupakan karakter lapisan batubara yang dapat diamati secara megaskopis pada lapisan batubara (Santoso, 2017).

Teknik analitis mencakup tiga hal, yakni pengujian litotipe, analisis maseral, dan pengukuran reflektansi vitrinit.

1.5.5.1 Pengujian Litotipe

Sebelum melakukan pengujian mikroskopis, inti bor lapisan-lapisan batubara disajikan dalam bentuk penampang secara megaskopis untuk memperoleh profil litotipe. Inti bor ini harus dibersihkan agar mendapatkan permukaan percontoh yang jelas terlihat untuk pengujian makroskopis dan ketebalan setiap litotipe dicatat. Setelah selesai menggambarkan penampang litotipe, profil litotipe bisa ditampilkan dengan jelas (Santoso, 2017).

1.5.5.2 Analisis Maseral

Pengujian mikroskopis terhadap sayatan poles dilakukan dengan menggunakan mikroskop sinar pantul yang dilengkapi dengan sinar fluoresen dan mesin penghitung untuk perhitungan kuantitatif pengamatan. Sinar fluoresen ini digunakan untuk membuktikan dan mengidentifikasi kehadiran maseral liptinit. Selain itu, sinar ini juga dimanfaatkan untuk membedakan antara liptinit dan mineral lempung. Sebagai contoh, kenampakan liptinit dan mineral lempung dalam batubara memperlihatkan warna yang sama, yakni abu-abu kehitaman dengan menggunakan mikroskop sinar pantul, untuk membedakan keduanya digunakan sinar fluoresen. Untuk membedakan liptinit dan mineral lempung, penggunaan sinar fluoresen ini mutlak digunakan (Santoso, 2017).

Tabel 1 memperlihatkan warna fluoresen tiga kelompok maseral dalam peringkat batubara berbeda (*International Committee for Coal Petrology, 1975*). Warna- warna fluoresen maseral berkurang seiring dengan kenaikan peringkat batubara. Liptinit menampakkan intensitas fluoresen pada batubara peringkat rendah. Beberapa vitrinit dalam batubara peringkat rendah juga menampakkan warna fluoresen, sedangkan inertinit tidak menampakkan warna fluoresen pada semua peringkat batubara. Kepentingan analisis maseral dan mineral digunakan dalam menafsirkan lingkungan pengendapan batubara. Para ahli petrologi batubara ini menerapkan analisis maseral sebagai indikator lingkungan pengendapan (Diessel, 1981 dalam Santoso, 2017).



Tabel 1 Warna Fluoresen dan Intensitas Kelompok Maseral

Maseral	Lignit (batubara cokelat lunak)	Lignit (batubara cokelat keras)	Bituminus Peringkat Rendah	Bituminus Peringkat Tinggi
Liptinit	Kuat; hijau, kuning, oranye dan cokelat	Keras-menengah; kuning kehijauan, kuning-oranye dan cokelat	Kuat-lemah; kuning, oranye dan cokelat	Tidak ada fluoresen
Vitrinit	Kuat-lemah; kuning dan cokelat; atau tidak ada fluoresen	Sangat lemah; cokelat; atau tidak ada fluoresen	Sangat lemah; cokelat; atau tidak ada fluoresen	Tidak ada fluoresen
Inertinit	Tidak ada fluoresen	Tidak ada fluoresen	Tidak ada fluoresen	Tidak ada fluoresen

Alginit merupakan maseral petunjuk untuk kondisi lingkungan danau atau pantai selama pengendapan batubara (Santoso, 2017).

Spora dan polen (serbuk sari) umumnya dihasilkan dan terawetkan dalam kelompok tanaman buluh dan alang di lingkungan rawa danau. Kutinit biasanya berasosiasi dengan vitrinit yang berasal dari kayu. Jadi, maseral ini terawetkan dalam rawa hutan dan hal ini merupakan indikator lingkungan pengendapan. Kehadiran resinit juga merupakan indikator lingkungan rawa hutan, dan maseral ini berasosiasi dengan telinit (Santoso, 2017).

Kehadiran maseral telinit dan telokolinit yang berasal dari jaringan tumbuh-tumbuhan mengindikasikan lingkungan pengendapan yang terkait dengan tanaman yang menghasilkan kayu dengan kondisi basah dan lembap (Santoso, 2017).

Kelompok maseral inertinit (kecuali mikrinit) mengindikasikan kondisi oksidasi selama pembentukan gambut. Secara umum, inertinit ini ditafsirkan sebagai maseral yang terbentuk dalam kondisi kering. Fusinit dan semifusinit terbentuk pada kondisi rawa hutan terestrial dengan kondisi oksidasi lemah-kuat. Inertodetrinit terdiri atas dinding-dinding sel terfragmenkan dari fusinit dan semifusinit, yang terbentuk dalam kondisi sedikit oksidasi dan kering pada rawa hutan terestrial. Inertodetrinit ini, sekalipun pada awalnya terbentuk pada rawa hutan kering, ditafsirkan juga sebagai hasil transportasi dan pengendapan kembali dalam lingkungan di bawah air sungai (Santoso, 2017).

1.5.5.3 Reflektansi Vitrinit

Pengukuran reflektansi vitrinit dilakukan terhadap kelompok maseral vitrinit dengan menggunakan mikroskop sinar pantul yang dilengkapi dengan fotometer. Fotometer ini dikalibrasi dengan standar gelas dengan kisaran reflektansi dari 0,32% hingga 1,67%. Blok poles berisi vitrinit tanpa goresan-goresan dipilih untuk pengukuran reflektansi ini (Santoso, 2017).



Tabel 2 Kenaikan Reflektansi Vitritin

PERINGKAT (AUSTRALIA)	% R _v maks vitritin	PERINGKAT (ASTM)
GAMBUS	0,2	GAMBUS
BATUBARA COKELAT	0,3	LIGNIT
-----	0,4	-----
SUB-BITUMINUS	0,5	SUB-BITUMINUS C
-----	0,6	----- B
-----	0,7	----- A
BITUMINUS ZAT TERBANG TINGGI	0,8	C
-----	0,9	B BITUMINUS ZAT TERBANG TINGGI
-----	1,0	A
BITUMINUS ZAT TERBANG MENENGAH	1,2	BITUMINUS ZAT TERBANG MENENGAH
-----	1,5	BITUMINUS ZAT TERBANG RENDAH
BITUMINUS ZAT TERBANG RENDAH	2,0	SEMI-ANTRASIT
SEMI-ANTRASIT	2,5	ANTRASIT
ANTRASIT	3,0	ANTRASIT
-----	5,0	-----
META-ANTRASIT		META-ANTRASIT

1.5.5.4 Jenis Pirit

Pirit framboidal adalah mineral pirit (FeS_2) dengan morfologi menyerupai buah raspberry yang terdiri dari agregat mikrokristal berukuran submikron tersusun *spherical*, terbentuk melalui diagenesis awal dalam lingkungan anoksik oleh aktivitas bakteri pereduksi sulfat yang dipengaruhi oleh supersaturasi dan ketersediaan ion Fe^{2+} dalam *pore water* (Wilkin & Barnes, 1997). Pada pengamatan petrografi menggunakan reflected light microscopy, pirit framboidal menampakkan agregat butiran halus berwarna kuning pucat dengan reflektansi tinggi yang tersebar dalam matriks vitritin atau mengisi cell lumen maceral dengan diameter rata-rata 8-15 μm pada lignit Indonesia (Dai et al., 2020). Kehadiran pirit framboidal berdampak negatif terhadap kualitas batubara lignit karena dapat menyumbang 50-70% dari total sulfur yang menghasilkan SO_2 saat pembakaran, memiliki reaktivitas oksidasi tinggi yang meningkatkan risiko *spontaneous combustion* dan *acid mine drainage*, serta sulit dihilangkan melalui benefisiasi konvensional (Chou, 2012). Rasio pirit framboidal terhadap euhedral dapat menjadi indikator paleoenvironment pembentukan gambut, di mana dominasi framboidal mengindikasikan kondisi *marine-influenced mire*, dan kandungannya yang tinggi menurunkan nilai kalori serta meningkatkan *ash content* batubara (Spears & Zheng, 1999)

Cavity Filled Pyrite pada batubara lignit, khususnya di Indonesia, terbentuk selama proses diagenesis dimana pirit mengendap di dalam rongga matriks batubara. Proses ini dipengaruhi oleh kondisi kaya sulfur dan aktivitas mikroba, sering terjadi di lingkungan deposisi yang dipengaruhi air atau topogenik. Tekstur pirit dapat bervariasi dari framboidal hingga bentuk euhedral seiring peningkatan suhu diagenesis. Pengisian rongga oleh pirit ini menandakan mineralisasi pasca deposisi yang penting untuk memahami kandungan sulfur dan kondisi lingkungan pembentukan batubara.

Studi kunci tentang lignit Indonesia menunjukkan pirit banyak ditemukan di cekungan seperti Barito, Pasir, dan Tarakan dengan kandungan sulfur sering melebihi



rit. Pirit pengisi rongga ini dikaitkan dengan proses diagénesis akhir dengan rit yang menyesuaikan ruang yang tersedia di rekahan atau rongga. in pirit ini mungkin berasal dari remobilisasi sulfur organik atau interaksi aya sulfat selama proses pematubaraan.

Fracture Filling Pyrite pada batubara lignit Indonesia terbentuk sebagai mineral epigenetik yang mengisi kekar, rekahan, dan cleat di dalam matriks batubara. Pirit ini terbentuk setelah proses pematubaraan utama, di mana ion besi yang dibawa oleh larutan bereaksi dengan sulfur primer membentuk pirit masif yang mengisi ruang-ruang rekahan tersebut. Pembentukan pirit ini menunjukkan kondisi lingkungan kaya sulfur dan keberadaan air yang memfasilitasi presipitasi pirit dalam celah batubara. Bentuk pirit yang mengisi rekahan ini umumnya masif dan kadang berbentuk kristal euhedral, memperlihatkan proses mineralisasi pasca deposisi yang penting dalam memahami sifat kimia batubara dan kandungan sulfidanya.

1.5.6 Analisis Geokimia Batubara

1.5.6.1 Analisis Proksimat

Pengujian batubara terdiri dari beberapa macam analisis, antara lain analisis proksimat dan analisis ultimat. Setiap analisis memiliki tujuan masing-masing untuk memperhitungkan parameter tertentu. Analisis proksimat merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui kandungan relatif zat terbang (*volatile matter*), kandungan air (*moisture content*), komponen anorganik berupa abu sebagai hasil pembakaran, serta karbon tertambat (*fixed carbon*). Analisis proksimat ini digunakan untuk mengetahui tingkat kemanfaatan batubara dalam industri pengguna batubara. Analisis proksimat ini mengacu pada standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM) dan terdiri dari:

A. Kadar Air Total (*Total Moisture*)

Kadar air total (*total moisture*) terdiri dari dua jenis, yaitu kandungan air bebas (*free moisture* atau *air-dry loss*) dan kandungan air bawaan (*inherent moisture*). *Free moisture* merupakan air yang menempel di permukaan atau berada di celah rekahan batubara. Kandungan air bebas (*free moisture*) dapat dihilangkan dengan cara mengangin-anginkan batubara pada suhu kamar, contoh ini kemudian disebut *air-dried* sampel. Kandungan air bawaan (*inherent moisture*) adalah kandungan air yang terikat di dalam pori internal batubara dan umumnya terikat bersamaan dengan proses pematubaraan. Kandungan air bawaan (*inherent moisture*) dapat dihilangkan dengan cara memanaskan contoh batubara yang sudah dikecilkan ukurannya di dalam oven pada suhu $107^{\circ} + 3^{\circ}\text{C}$ selama 60 menit (Arif, 2014).

B. Kandungan Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Volatile matter adalah senyawa organik atau anorganik yang hilang saat batubara yang telah dihilangkan kandungan airnya (*moisture*) dipanaskan pada suhu tinggi dan waktu tertentu. Zat yang hilang ini sebagian besar terdiri dari gas yang mudah menguap bila dipanaskan, seperti hidrogen, karbon dioksida, dan metana. Berdasarkan ASTM, kandungan zat terbang (*volatile matter*) ditentukan dari selisih bobot sampel batubara sebelum dan sesudah dipanaskan dengan suhu 950°C selama 7 menit dalam keadaan vakum (tanpa udara) (Arif, 2014).



ar Abu (*Ash*)

yang terkandung dalam batubara merupakan senyawa anorganik yang pada batubara sejak proses pembentukan atau terbawa pada saat proses an. Abu batubara adalah residu yang dihasilkan setelah batubara dibakar sempurna. Kadar abu batubara dapat ditentukan dengan cara pembakaran yang bertahap. Tahap pertama adalah pembakaran selama 60 menit pada suhu 450° - 500°C Tahap selanjutnya adalah suhu dinaikkan hingga 700° - 750°C selama 120 menit (Arif, 2014).

D. Kadar Karbon Tertambat (*Fixed Carbon*)

Karbon tertambat (*fixed carbon*) merupakan banyaknya karbon yang tersisa setelah *moisture*, *volatile matter*, dan *ash* dihilangkan. Karbon tertambat menggambarkan sisa penguraian dari komponen organik batubara ditambah sedikit senyawa nitrogen, belerang, hidrogen, dan mungkin oksigen yang terserap atau bersatu secara kimiawi (Arif, 2014).

1.5.6.2 Analisis Ultimat

Analisis ultimat merupakan analisis yang dilakukan untuk menentukan kadar Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), dan Sulfur (S) dalam batubara. Kandungan karbon, hidrogen, dan oksigen penting untuk menilai karakteristik pengkokasan, gasifikasi, dan likuifaksi batubara. Sedangkan nitrogen dan sulfur merupakan faktor penting yang memiliki potensi pencemaran yang ditimbulkan dari pemanfaatan batubara. Analisis ultimat juga bisa menentukan peringkat batubara dalam pengklasifikasiannya. Analisis ultimat yang dilakukan mengacu pada standar *American Society for Testing and Minerals* (ASTM D-3176-09). Analisis ini sendiri terdiri dari:

A. Kadar Karbon dan Hidrogen

Batubara terdiri dari senyawa kompleks dari karbon dan hidrogen yang kemudian membentuk senyawa hidrokarbon. Batubara dibakar pada suhu 1.300°-1.400°C menggunakan alat yang dilengkapi dengan detektor inframerah dan mikroprosesor. Kandungan karbon dan hidrogen dapat diketahui dengan melihat intensitas beda potensial yang terdeteksi oleh alat tersebut (Arif, 2014).

B. Kadar Nitrogen

Nitrogen dalam batubara hanya terdapat dalam bentuk senyawa organik. Biasanya senyawa nitrogen terdapat dalam kapiler air sehingga umumnya hanya terdapat di batubara muda. Pada proses pembakaran batubara, nitrogen yang bereaksi dengan udara akan membentuk nitrogen dioksida. Senyawa ini berpotensi menjadi pencemar udara di atmosfer bumi sehingga kadar nitrogen yang diinginkan dalam batubara biasanya kecil. Penentuan kadar nitrogen dilakukan dengan prosedur yang sama seperti penentuan kadar karbon dan hidrogen, yaitu memanfaatkan intensitas beda potensial yang dideteksi oleh alat (Arif, 2014).

C. Kadar Belerang Total

Di dalam batubara belerang atau sulfur mempunyai tiga bentuk, yaitu:

- Sebagai sulfur organik, yaitu sulfur terikat pada senyawa hidrokarbon di dalam batubara;
- Sebagai mineral sulfida, yaitu sulfur yang berada di dalam material anorganik, contohnya pirit;



bagai mineral sulfat, yaitu yang dihasilkan dari proses oksidasi mineral sulfida dan bantuan udara.

Batubara dengan kadar sulfur yang tinggi tidak terlalu disukai. Selain bisa menyebabkan pencemaran udara bila bereaksi dengan oksigen, sulfur juga bisa menyebabkan korosi pada alat. Penentuan kadar sulfur dapat dilakukan dengan metode Eschka. Contoh yang ditambah dengan campuran Eschka selanjutnya dibakar pada suhu 800°C. Hasil dari proses pembakaran itu dicampur dengan larutan barium klorida dan membentuk endapan putih barium sulfat. Dengan begitu, kandungan belerang total dapat dihitung (Arif, 2014).

D. Kadar Oksigen

Oksigen di batubara terkandung pada senyawa organik, karbonat, lempung, *moisture*, dan lain-lain. Oksigen memiliki peranan dalam penentuan derajat pembentukan batubara. Oksigen juga berperan penting dalam proses gasifikasi dan likuifaksi batubara untuk menghasilkan senyawa hidrokarbon (Arif, 2014).

Kadar oksigen dapat ditentukan dengan rumus:

$$O = 100\% - \%C - \%H - \%N - \%S$$

Keterangan:

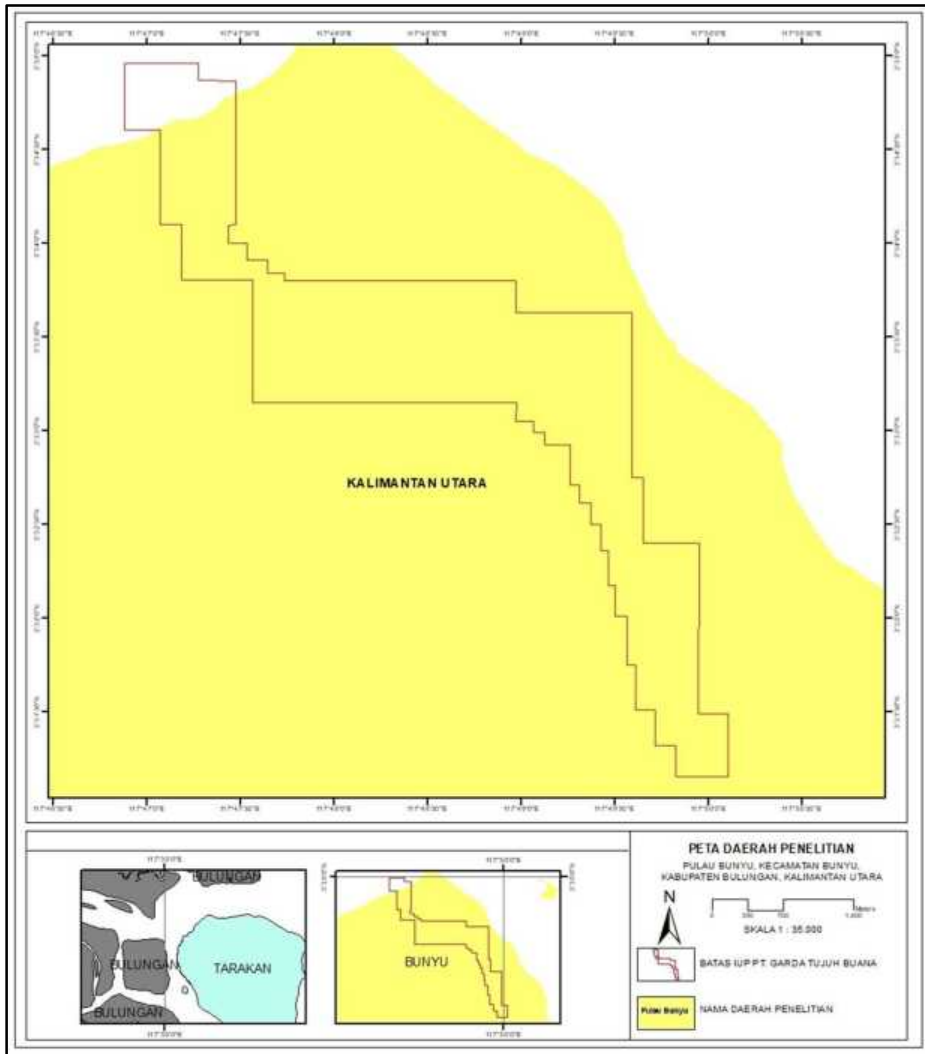
O = Kadar oksigen (%) H = Kadar hidrogen (%) N = Kadar nitrogen (%)
 C = Kadar karbon (%) S = Kadar belerang total (%)



BAB II METODE PENELITIAN

tu, Letak dan Kesampaian Daerah

Daerah penelitian berada di PT. Garda Tujuh Buana, dimana perusahaan pertambangan ini beroperasi di Pulau Bunyu, Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara. Secara geografis lokasi tambang PT. Garda Tujuh Buana terletak pada koordinat $117^{\circ}47'11''$ - $117^{\circ}50'6.2''$ Bujur Timur (BT) dan $03^{\circ}31'9.3''$ - $03^{\circ}34'06''$ Lintang Utara (LU). Daerah penelitian dapat diakses melalui jalur udara menggunakan pesawat dari Bandara Sultan Hasanuddin Makassar menuju Bandara Juwata Tarakan dengan waktu tempuh ± 2 jam. Perjalanan darat ± 15 menit menuju Pelabuhan SDF menggunakan kendaraan roda empat, kemudian dilanjutkan dengan menaiki *speedboat* menuju Pulau Bunyu selama ± 1 jam.



Gambar 4 Peta lokasi daerah penelitian



2.2 Variabel Penelitian

urut Sugiyono (2016), variabel *independent* (bebas) adalah variabel yang tidak terikat atau menjadi penyebab perubahan atau timbulnya variabel lain, yang disebut variabel *dependent*. Variabel bebas ini dimanipulasi atau diatur oleh peneliti untuk mengetahui efeknya terhadap variabel lain. Sementara itu, variabel *dependent* (terikat) adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat dari variabel bebas. Variabel *dependent* merupakan hasil atau *outcome* dari eksperimen yang diukur oleh peneliti. Selain itu, variabel kontrol adalah variabel yang dijaga tetap sama atau konstan selama penelitian untuk memastikan bahwa hubungan antara variabel *independent* dan *dependent* tidak dipengaruhi oleh faktor lain. Variabel kontrol sangat penting untuk menjaga validitas internal dalam penelitian, memastikan bahwa hasil yang diperoleh benar-benar merupakan akibat dari variabel *independent* yang diteliti. Penelitian ini memiliki beberapa variabel yaitu karakteristik petrografi dan geokimia batubara *seam D* dan *seam E*. Pencapaian tujuan penelitian terkait mengetahui karakteristik petrografi dan geokimia batubara PT. Garda Tujuh Buana. Variabel independen meliputi kondisi topografi seperti elevasi, kemiringan lereng, struktur, batuan dasar, dan iklim.

2.3 Metode Penelitian

Metode penelitian ini disusun sebagai acuan dalam melaksanakan seluruh rangkaian kegiatan penelitian. Metode penelitian serta tahapan yang dilaksanakan sangat mempengaruhi keberhasilan suatu penelitian, sehingga metode penelitian disusun secara sistematis dan berurut dengan harapan dapat menghasilkan penelitian yang baik.

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah pengamatan dan pengambilan sampel langsung di lapangan, serta pengolahan sampel yang telah diambil dengan menggunakan analisis petrografi dan geokimia untuk mengetahui kualitas batubara. Selanjutnya dilakukan perhitungan optimasi *coal blending* untuk peningkatan kualitas batubara pada Microsoft Excel dengan menggunakan data kualitas batubara yang telah diketahui.

2.4 Tahapan Penelitian

Dalam melaksanakan suatu penelitian, diperlukan tahapan penelitian yang sistematis dan terperinci yang akan berpengaruh pada tingkat keberhasilan penelitian yang dilakukan dan mempermudah peneliti dalam melaksanakan penelitian. Adapun tahapan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

2.4.1 Tahapan Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan yang paling awal dilakukan untuk memulai penelitian ini. Tahapan penelitian terbagi atas 3 tahap yaitu:

2.4.1.1 Administrasi

Pengurusan administrasi dan persuratan, meliputi pembuatan proposal penelitian untuk mendapatkan surat izin legalitas penelitian, terdiri atas pengurusan



pada pihak Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas

li Literatur

Tahapan studi pendahuluan dilakukan sebagai tahapan awal dari kegiatan penelitian. Studi pendahuluan yang dilakukan berfokus pada studi tentang geologi regional daerah penelitian, studi batubara secara umum seperti genesa batubara dan klasifikasi batubara, studi batubara lebih lanjut yang berfokus pada topik penelitian yaitu studi petrografi batubara dan studi geokimia batubara, berupa uji proksimat dan ultimat yang bertujuan untuk penentuan peringkat atau kualitas dari batubara. Studi pendahuluan juga dilakukan sebagai bagian dari penyusunan proposal penelitian.

2.4.1.3 Perlengkapan Lapangan

Persiapan perlengkapan lapangan, meliputi pengadaan peta dasar, persiapan peralatan lapangan lainnya.

2.4.2 Tahapan Pengumpulan Data

Tahapan pengambilan data lapangan merupakan tahapan penelitian yang dilakukan di lokasi penelitian PT. Garda Tujuh Buana. Tahapan ini terbagi menjadi dua yaitu pengambilan data lapangan di Blok Selatan PT. Garda Tujuh Buana berupa analisis profil seam batubara, dan data perusahaan berupa hasil analisis proksimat Blok Selatan PT. Garda Tujuh Buana. Selanjutnya data lapangan yang telah diambil akan dianalisis lebih lanjut.

2.4.3 Tahapan Analisis Data

Tahapan analisis terbagi menjadi 2, yaitu analisis petrografi dan analisis geokimia sebagai berikut:

2.4.3.1 Analisis Petrografi

Setelah pengambilan sampel batubara dilakukan, selanjutnya sampel yang ada akan dipreparasi hingga menjadi sayatan poles untuk pengamatan petrografi. Analisis petrografi pada sayatan poles batubara dilakukan dengan bantuan mikroskop untuk mengamati komposisi material batubara berupa kandungan maseral dan mineral matter dalam batubara yang bertujuan untuk memperkuat data analisis geokimia dalam menentukan peringkat atau kualitas batubara daerah penelitian.

2.4.3.2 Analisis Geokimia

Analisis geokimia berupa uji proksimat dan ultimat dilakukan pada laboratorium untuk mengetahui kualitas batubara dengan menggunakan standar *American Society for Testing and Materials (ASTM)* antara lain: *Total Moisture*, *Volatile Matter*, *Ash*, dan *Fixed Carbon* pada pengujian proksimat yang menunjukkan sifat fisik batubara, dan kandungan unsur kimia seperti Karbon, Hidrogen, Nitrogen, Sulfur, dan Oksigen pada pengujian ultimat.

Penyusunan Laporan



Langkah terakhir adalah penyusunan laporan yang menyajikan seluruh data yang diperoleh dari pengumpulan data, hasil interpretasi, analisis dan pengujian laboratorium, serta pengolahan data secara sistematis. Selama penyusunan laporan dilakukan pengoreksian dan pengecekan ulang terhadap semua data dan hasil analisis yang kemudian disatukan menjadi suatu laporan ilmiah.

2.4.5 Diagram Alir

Tahapan dan metode penelitian ini dituangkan dalam diagram alir penelitian di bawah ini



Tabel 3 Diagram Alir Penelitian

