

Potensi Basalt sebagai Material Pendukung Energi Hijau: Kajian Petrografi untuk Aplikasi pada Sistem Pembangkit dan Penyimpanan Energi

Septianus Cristian Guntur¹⁾, Resty Intan Putri¹⁾, Koeshadi Sasmito¹⁾

¹⁾ Fakultas Teknik/Program Studi Teknik Geologi, Universitas Mulawarman

E-mail: septianuscristian99@gmail.com

ABSTRAK

Transisi energi global dari bahan bakar fosil menuju energi baru terbarukan menuntut ketersediaan material pendukung yang andal, berkelanjutan, serta berbiaya efisien. Salah satu material yang memiliki potensi besar adalah basalt, batuan beku ekstrusif yang melimpah di Indonesia. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi basalt sebagai material pendukung energi hijau melalui kajian petrografi, dengan fokus pada dua aplikasi utama: sebagai material struktural pada sistem pembangkit energi, khususnya fondasi turbin angin, serta sebagai media penyimpanan energi panas (*Thermal Energy Storage*, TES). Metode penelitian menggunakan pendekatan *mixed-method*, yaitu analisis kualitatif untuk identifikasi sifat optik mineral melalui mikroskop polarisasi, dan analisis kuantitatif dengan metode *point counting* untuk menentukan komposisi modal batuan. Sampel basalt diambil dari dua lokasi di Kutai Barat, Kalimantan Timur, kemudian dipreparasi menjadi sayatan tipis untuk pengamatan mikroskopis. Hasil analisis menunjukkan dominasi mineral olivin, piroksen, dan feldspatoid dengan tekstur *trachytic* yang khas. Kehadiran olivin dan piroksen mengindikasikan kekuatan mekanik tinggi serta stabilitas terhadap suhu ekstrem, sementara feldspatoid mendukung kapasitas panas spesifik yang besar. Temuan ini menegaskan kelayakan basalt sebagai material konstruksi berkelanjutan untuk fondasi turbin angin, serta sebagai media penyimpanan energi panas yang stabil hingga suhu tinggi. Selain itu, kandungan mineral mafik pada basalt memberi potensi tambahan dalam sequestrasi karbon melalui mineralisasi alami. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa basalt adalah material strategis yang mampu mendukung transisi energi nasional maupun global, baik melalui aplikasi struktural maupun penyimpanan energi, sekaligus berkontribusi pada upaya dekarbonisasi.

Kata Kunci: Basalt, Petrografi, Energi Hijau, Pembangkit Energi, *Thermal Energy Storage*

ABSTRACT

The global transition from fossil fuels to renewable energy demands reliable, sustainable, cost-effective supporting materials. One of the most promising candidates is basalt, an abundant extrusive igneous rock widely distributed in Indonesia. This study aims to analyze the potential of basalt as a green energy supporting material through petrographic analysis, focusing on two main applications: as a structural material for energy generation systems, particularly wind turbine foundations, and as a medium for thermal energy storage (TES). The research applied a mixed-method approach, combining qualitative and quantitative petrographic techniques. Qualitative analysis was conducted to identify mineral optical properties under a polarizing microscope, while quantitative analysis employed the point counting method to determine the modal composition. Basalt samples were collected from two sites in Kutai Barat, East Kalimantan, and prepared as thin sections for microscopic observation. The petrographic results revealed the dominance of olivine, pyroxene, and feldspathoid minerals with characteristic trachytic textures. Olivine and pyroxene indicate high mechanical strength and stability under extreme thermal conditions, whereas feldspathoid contributes to a large specific heat capacity. These findings confirm basalt's suitability as a sustainable construction material for wind turbine foundations and as a thermally stable medium for energy storage at high temperatures. Furthermore, the mafic minerals present in basalt offer additional potential for carbon sequestration through natural mineral carbonation. In conclusion, this study highlights basalt as a strategic material that can support national and global energy transitions, not only in structural and storage applications but also in contributing to decarbonization efforts.

Keyword: Basalt, Petrography, Green Energy, Power Plant, Thermal Energy Storage

1. Pendahuluan

Transisi energi global dari bahan bakar fosil menuju energi baru terbarukan merupakan salah satu tantangan terbesar abad ke-21. Kebutuhan untuk menekan emisi karbon guna mengurangi dampak perubahan iklim mendorong percepatan pengembangan teknologi energi hijau, seperti energi surya, angin, dan panas bumi. Namun, transisi ini tidak hanya bergantung pada ketersediaan teknologi konversi energi, melainkan juga pada material pendukung yang memiliki sifat mekanik, termal, dan keberlanjutan yang memadai.

Krisis iklim global dan ketergantungan yang terus-menerus pada bahan bakar fosil telah mendorong dunia untuk menjalani transisi energi yang masif. Pergeseran ini, yang mengalihkan fokus dari sumber energi tradisional seperti batu bara, minyak, dan gas alam, kini menuju sumber energi terbarukan atau energi hijau. Energi hijau, termasuk energi surya, angin, dan panas bumi, menawarkan solusi berkelanjutan dengan emisi karbon yang jauh lebih rendah. Namun, mewujudkan transisi ini memerlukan lebih dari sekadar inovasi teknologi; juga diperlukan ketersediaan bahan baku utama yang mendukung proses tersebut (Wardhana & Marifatullah, 2020). Tantangan global ini menuntut pendekatan holistik yang tidak hanya berfokus pada sumber energi, tetapi juga pada material pendukungnya.

Berdasarkan IESR (Institute for Essential Services Reform, 2017), Indonesia, dengan posisinya sebagai negara kepulauan yang kaya akan sumber daya alam, memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar untuk ketenagalistrikan, mencapai 443 GW. Potensi ini mencakup panas bumi, air dan mikro-mini hidro, bioenergi surya, angin, serta gelombang laut. Potensi energi surya di Indonesia, misalnya, merupakan yang terbesar dengan lebih dari 207 GW. Meskipun demikian, pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia masih sangat rendah, menunjukkan keterlambatan yang signifikan. Situasi ini menjadi paradoks, karena kelimpahan sumber daya material domestik yang dapat dimanfaatkan sebagai pendukung utama percepatan transisi energi tersebut belum dieksplorasi secara maksimal.

Material seperti basalt telah menarik perhatian signifikan di dunia, terutama karena potensi aplikasinya dalam sistem energi hijau. Sebagai jenis batuan beku yang melimpah di alam, basalt memiliki sifat mineralogi dan tekstural yang unik yang menjadikannya kandidat ideal sebagai medium penyimpanan energi termal dan agen sekuestrasi karbon (Bouvry et al., 2017; Nahhas et al., 2019). Selain itu, basalt menawarkan potensi besar dalam sekuestrasi karbon melalui pelapukan batuan yang ditingkatkan (*Enhanced Rock Weathering*). Proses ini memanfaatkan reaktivitas mineral alami, terutama mineral mafik seperti olivin dan piroksen yang ditemukan dalam basalt, untuk menangkap dan menyimpan karbon dioksida atmosferik dalam bentuk karbonat yang stabil. Hal ini efektif menurunkan tingkat gas rumah kaca di atmosfer (Arvanitis et al., 2020; Joel & Oguanobi, 2024). Evaluasi petrografi adalah kunci untuk memahami dan mengoptimalkan karakteristik mineral tersebut.

Peran basalt dalam penyimpanan energi termal, khususnya pada pembangkit listrik tenaga surya terkonsentrasi, telah menjadi fokus penelitian global. Studi menunjukkan bahwa penggunaan basalt sebagai material pengisi dalam sistem penyimpanan energi bersuhu tinggi dapat meningkatkan efisiensi penyimpanan dan pengeluaran energi melalui stabilitas termal dan ketahanan mekanisnya (Nahhas et al., 2019). Karakteristik ini menjadikan basalt sebagai alternatif yang menarik sekaligus ekonomis dibandingkan dengan sistem penyimpanan energi berbasis baterai yang lebih mahal dan ketersediaannya terbatas. Selain itu, sifat mineralogi dan tekstural yang rapat pada basalt memberikan kekuatan mekanik tinggi dan ketahanan erosi, menjadikannya material ideal untuk fondasi turbin angin lepas pantai.

Penelitian ini difokuskan pada analisis petrografi basalt guna mengeksplorasi potensi aplikasinya dalam mendukung sistem energi hijau. Kajian ini menitikberatkan pada karakteristik mineral dan tekstur batuan sebagai indikator awal untuk menilai kelayakan basalt dalam dua konteks utama, yaitu sebagai material struktural dan sebagai media penyimpanan energi panas (TES). Pendekatan ini dipilih karena petrografi memberikan informasi dasar yang sangat penting mengenai komposisi mineral penyusun batuan, yang pada gilirannya berhubungan dengan sifat mekanik maupun termal.

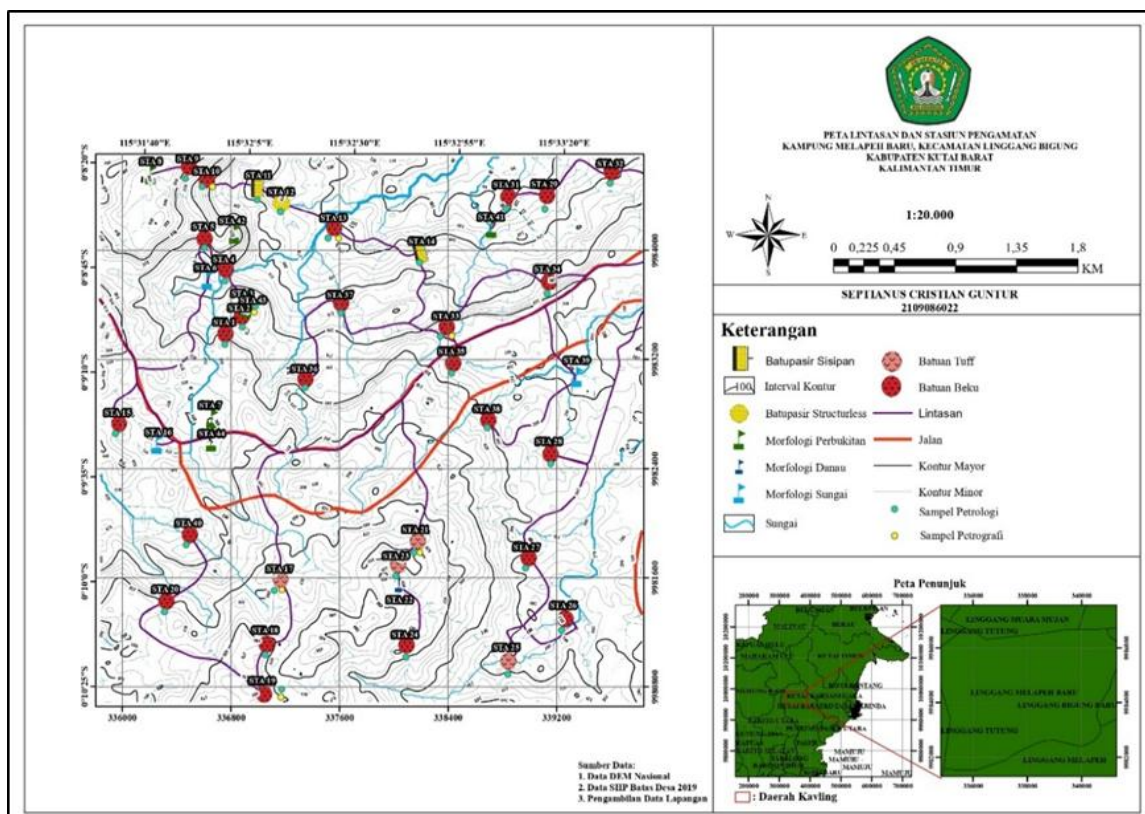
Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam lingkup analisis. Kajian ini hanya menyoroti aspek petrografi dan belum mencakup pengujian sifat mekanik maupun termal secara langsung. Dengan kata lain, hasil yang disajikan masih bersifat indikatif berdasarkan interpretasi mineralogi, dan belum dapat menggantikan uji laboratorium yang mengukur parameter fisis secara kuantitatif. Oleh karena itu, penelitian ini lebih tepat dipandang sebagai studi dasar yang membuka jalan bagi penelitian lanjutan yang lebih komprehensif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi batuan beku basalt sebagai bahan pendukung dalam transisi menuju energi baru terbarukan dan energi hijau. Fokus utamanya adalah mempelajari karakteristik petrografi basalt untuk dua aplikasi penting: sebagai material struktural dalam sistem pembangkit energi dan sebagai media penyimpanan energi panas (*Thermal Energy Storage*). Diharapkan hasil studi ini dapat memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan bahan inovatif dan berkelanjutan berbasis batuan beku basalt, sekaligus mendukung visi transisi energi nasional.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan mixed-method yang mengombinasikan metode kualitatif dan kuantitatif dalam analisis petrografi. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mengamati sifat optik mineral sebagai dasar penentuan jenis mineral, sedangkan pendekatan kuantitatif dilakukan melalui metode point counting guna menentukan komposisi modal batuan. Metode ini dilakukan dengan menetapkan titik-titik acak pada sayatan tipis dan mencatat jenis mineral yang teridentifikasi di bawah mikroskop. Frekuensi kemunculan tiap mineral kemudian dihitung untuk memperoleh persentase komposisi, yang selanjutnya digunakan dalam klasifikasi dan penentuan nama batuan. Kombinasi kedua metode tersebut memberikan hasil analisis petrografi yang lebih komprehensif dan reliabel. Analisis petrografi pada sayatan tipis batuan memungkinkan diperolehnya informasi rinci mengenai karakter mikroskopis batuan. Karakter tersebut mencakup struktur internal batuan, indikasi mineralisasi, komposisi mineral penyusun, klasifikasi jenis batuan, serta penentuan nomenklatur batuan secara petrologis.

Penelitian ini dilakukan di Kampung Melapeh Baru, Kecamatan Linggang Bigung, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur. Sampel diambil dari singkapan batuan beku yang dipilih berdasarkan kondisi lapangan yang segar dan minim alterasi. Setiap sampel dikumpulkan dalam ukuran hand specimen untuk menjamin ketersediaan material pada pembuatan sayatan tipis. Data lapangan, meliputi deskripsi geologi dan koordinat GPS, dicatat pada setiap titik pengambilan. Sebanyak dua (2) sampel yang dianalisis dalam penelitian ini, kedua sampel tersebut dipilih sebagai representasi paling sesuai untuk menginterpretasikan karakter basalt pada lokasi penelitian. Pemilihan dua sampel dilakukan pada titik STA 3, dan STA 33, yang posisi masing-masing ditampilkan pada Peta Lintasan (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Lintasan dan Stasiun Pengamatan

Lokasi penelitian difokuskan pada daerah yang kaya akan formasi basalt di Kutai Barat, Penelitian dilakukan selama periode 2 bulan, mulai dari Agustus hingga Oktober 2024, disesuaikan dengan musim kemarau untuk memfasilitasi akses dan pengambilan sampel basalt.

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan, mulai dari persiapan, pengumpulan data, pengolahan dan analisis data.

A. Persiapan

Tahap persiapan menjadi langkah awal yang sangat penting karena berperan menentukan kualitas serta keandalan hasil penelitian. Pada fase ini, rancangan metodologi disusun secara cermat dan sistematis agar seluruh rangkaian kegiatan penelitian, mulai dari proses pengumpulan data hingga tahap analisis dapat berlangsung terarah, konsisten, serta memiliki dasar pertanggungjawaban yang kuat. Beberapa tahapan yang digunakan dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut: (1) Tahap awal persiapan dimulai dengan melakukan kajian literatur secara menyeluruh. Kegiatan ini bertujuan membangun dasar teori yang solid sekaligus menelusuri celah penelitian yang masih terbuka dan relevan dengan topik yang dikaji. (2) Tahap berikutnya adalah perencanaan, perencanaan lapangan dan logistik disusun secara terperinci untuk menjamin kelancaran serta validitas penelitian. Tahap ini diawali dengan pemilihan lokasi pengambilan sampel yang memiliki singkapan basalt representatif dan relatif tidak terganggu, sehingga kualitas sampel yang diperoleh dapat dipertahankan. Selanjutnya, disusun protokol pengambilan sampel secara standar guna memastikan konsistensi metode serta menjaga aspek ilmiah. Protokol tersebut mencakup langkah-langkah untuk mencegah kontaminasi, pencatatan posisi geospasial menggunakan GPS, serta dokumentasi kondisi geologi di lokasi penelitian. Selain itu, seluruh instrumen penelitian, mulai dari kompas geologi, palu batuan, kantong sampel, hingga perangkat dokumentasi, dipersiapkan dan dikalibrasi agar dapat berfungsi optimal di lapangan. Dengan demikian, tahapan persiapan ini tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga menjadi landasan metodologis yang menjamin keandalan hasil penelitian. (3) Tahap persiapan ditutup dengan penyusunan metodologi analisis yang menjadi panduan utama dalam pengolahan sampel di laboratorium. Pada bagian ini dirancang prosedur analisis petrografi secara sistematis, mulai dari pembuatan sayatan tipis batuan (*thin section*) hingga pengamatan mikroskopis yang terstandar. Prosedur tersebut tidak hanya berfungsi untuk mengidentifikasi tekstur, komposisi mineral, dan struktur mikroskopis basalt, tetapi juga untuk menilai indikator penting yang menentukan potensi aplikasinya sebagai material pendukung energi hijau.

B. Pengumpulan Data

Penelitian ini melibatkan kegiatan survei lapangan yang dipadukan dengan pengambilan sampel batuan sebagai sumber data utama. Pendekatan tersebut dirancang untuk memperoleh data primer yang tidak hanya akurat, tetapi juga representatif, sehingga dapat menjadi dasar yang kuat dalam pelaksanaan analisis petrografi.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh melalui pengambilan langsung di lapangan. Data yang dikumpulkan meliputi sampel batuan secara megaskopis, koordinat stasiun pengamatan, serta dokumentasi lapangan terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Pengamatan dan Dokumentasi Lapangan dan (b) Pengambilan Sampel

C. Pengolahan dan Analisis Data

Analisis petrografi dilaksanakan di Laboratorium Geologi dan Survei, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman. Sampel batuan terlebih dahulu dipreparasi menjadi sayatan tipis dengan ketebalan standar, kemudian diamati menggunakan mikroskop polarisasi untuk mengidentifikasi jenis serta karakter mineral berdasarkan sifat optiknya. Pengamatan dilakukan melalui tiga mode pencahayaan, yaitu *Plane Polarized Light* (PPL), dan *Cross Polarized Light* (XPL), sehingga memungkinkan karakterisasi mineral secara lebih komprehensif. Penamaan secara mikroskopis menggunakan klasifikasi batuan beku menurut (Travis, 1955)

Teknik petrografi kuantitatif yang digunakan untuk mengevaluasi persentase dari mineral-mineral yang terdapat dalam sampel batuan menggunakan metode *point counting*. Teknik ini sangat berguna dalam analisis batuan basal karena dapat memberikan informasi mendetail tentang komposisi mineralogi, yang merupakan faktor kunci dalam penilaian potensi batuan tersebut untuk aplikasi energi hijau. Adapun langkah-langkah yang kemudian dilakukan dalam metode ini berupa; (1) Identifikasi Mineral: Setiap mineral yang ditemukan pada titik pengamatan diidentifikasi berdasarkan indeks bias, warna interferensi, dan sifat optik lainnya yang diamati melalui mikroskop polarisasi. (2) Penghitungan Titik: Penghitungan dilakukan dengan memberikan titik-titik pengamatan secara sistematis, kemudian setiap titik diidentifikasi mineralnya. Data yang dihasilkan terdiri dari frekuensi atau persentase dari setiap jenis mineral yang ditemukan.

3. Hasil dan Pembahasan

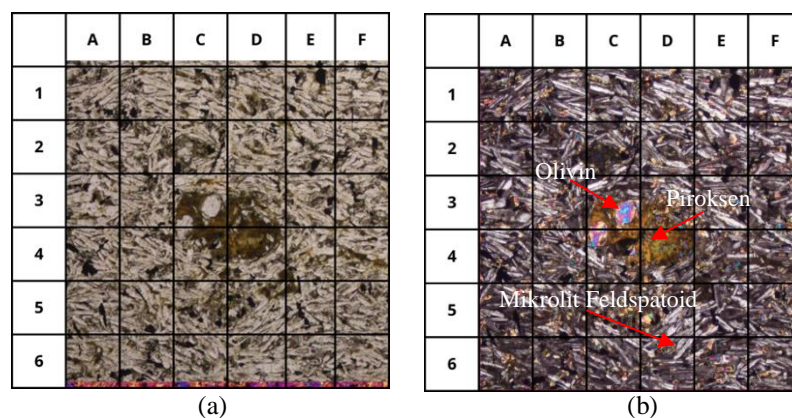
Potensi basalt sebagai material pendukung dalam aplikasi energi hijau telah menjadi topik menarik di bidang penelitian geologi dan energi terbarukan. Studi ini berfokus pada analisis petrografi basalt untuk menilai kelayakannya dalam sistem penyimpanan dan konversi energi. Analisis ini berangkat dari komposisi mineralogis dan tekstur basalt yang unik, yang menyediakan sejumlah keunggulan bagi pengembangan teknologi energi hijau (Heinonen et al., 2018).

Hasil penelitian dan analisis petrografi menunjukkan beberapa temuan utama yang dapat diuraikan sebagai berikut:

A. Sampel Petrografi (STA 33)

Berdasarkan deskripsi petrologi, secara umum batuan ini merupakan jenis batuan beku, dengan warna lapuk hitam keabuan, warna segar abu-abu, memiliki tekstur derajat kristalisasi holokristalin, granularitas afanitik, dan bentuk Kristal anhedral. Tersusun oleh komposisi mineral antara lain piroksen, olivine, dan feldspatoid.

Berdasarkan deskripsi petrografi, pada satuan batu basalt diambil sebanyak 1 sampel yaitu dengan kode sampel KL2/STA 33/SCG. Pada pengamatan ini dilakukan pada perbesaran okuler 10x dan perbesaran objektif 4x dengan menggunakan tiga medan pandang, untuk penamaan batuan ini menggunakan klasifikasi dari (Travis, 1955).



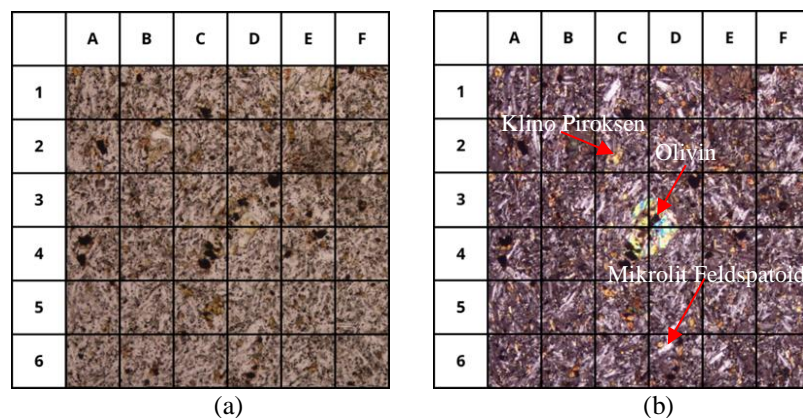
Gambar 3. (a) PPL, (b) XPL

Pada pengamatan petrografi satuan batu basalt pada sampel merupakan sayatan batuan beku, komposisi batuan terdiri dari mineral olivin dengan bentuk subhedral, relief tinggi, berwarna coklat kehijauan, mempunyai pecahan internal, bias rangkap tinggi dengan komposisi 16,63%, mineral piroksen memiliki komposisi 18,46% , bentuk kristal subhedral, berwarna coklat muda sampai kehijauan (XPL) dan *colourless* pada (PPL), biasrangkap orde II, relief tinggi, dan mikrolit feldspatoid dengan komposisi 60,13%, membentuk struktur *trachyt*, kristal subhedral-anhedral, *colourless* tapi tidak pudar atau keruh, bias rangkap abu-abu putih dan relief sedang-tinggi, serta beberapa mineral opaque dengan komposisi 4,6%, dengan warna hitam pada PPL dan hitam pula pada XPL, tidak dapat di deskripsi. Berdasarkan klasifikasi dari (Travis, 1955) sayatan ini memiliki nama batuan Basalt.

B. Sampel Petrografi (STA 3)

Deskripsi petrologi menunjukkan bahwa batuan pada STA 3 tergolong batuan beku, dengan ciri megaskopis berupa warna lapuk abu-abu kehitaman dan warna segar abu-abu. Teksturnya ditandai oleh derajat kristalisasi holokristalin, granularitas afanitik, serta bentuk kristal dominan anhedral. Mineral penyusun utama terdiri atas klinto piroksen, olivin, dan mikrolit feldspatoid.

Berdasarkan analisis petrografi, pada satuan batuan basalt diperoleh satu sampel dengan kode KL2/STA 3/SCG. Pengamatan dilakukan pada perbesaran okuler 10× dan objektif 4× menggunakan tiga medan pandang. Penentuan klasifikasi batuan mengacu pada sistem klasifikasi (Travis, 1955).



Gambar 4. (a) PPL, (b) XPL

Pada pengamatan petrografi satuan batu basalt pada sampel merupakan sayatan batuan beku, komposisi batuan terdiri dari mineral olivin dengan Bentuk subhedral, relief tinggi, berwarna coklat kehijauan, mempunyai pecahan internal, bias rangkap tinggi dengan komposisi 16,63%, mineral klinto piroksen memiliki komposisi 21,26% , bentuk kristal subhedral, berwarna coklat muda sampai kehijauan (XPL) dan *colourless* pada (PPL), biasrangkap orde II, relief tinggi, dan mikrolit feldspatoid dengan komposisi 62%, membentuk tekstur *trachyt*, kristal subhedral-anhedral, *colourless* tapi tidak pudar atau keruh, bias rangkap abu-abu putih dan relief sedang-tinggi, serta beberapa mineral opaque dengan komposisi 1,2%, dengan warna hitam pada PPL dan hitam pula pada XPL, tidak dapat di deskripsi. Berdasarkan klasifikasi dari (Travis, 1955) sayatan ini memiliki nama batuan Basalt.

C. Potensi Batuan Beku Basalt

Hasil analisis petrografi pada sampel basalt (STA 3 dan STA 33) menunjukkan dominasi mineral olivin, piroksen, dan mikrolit feldspatoid dengan tekstur *trachytic* yang khas pada batuan beku. Komposisi ini memiliki makna penting. Kehadiran olivin dan piroksen dengan bentuk subhedral-anhedral memperlihatkan indikasi kekuatan mekanik yang tinggi serta kestabilan pada kondisi suhu ekstrem. Feldspatoid yang mendominasi juga memberikan kapasitas termal yang cukup besar karena sifat fisiknya yang mampu menahan fluktuasi panas. mineral olivin dan piroksen hadir dalam jumlah signifikan, sementara feldspatoid mendominasi komposisi. yang menunjukkan bahwa basalt kaya feldspatoid memiliki kekuatan mekanik yang tinggi serta kestabilan mineral yang baik terhadap siklus

termal (Isnugroho et al., 2018). Sebagai hasilnya, basalt yang kaya akan feldspatoid ini menunjukkan potensi aplikasi yang luas dalam industri konstruksi dan material.

Temuan ini selaras dengan teori petrologi beku (Travis, 1955) yang menyebutkan bahwa tekstur holokristalin-apanitik pada basalt menandakan pendinginan cepat, menghasilkan struktur mineral yang rapat dan kompak. Struktur ini menjadikan basalt berpotensi besar sebagai material konstruksi dan penyimpanan energi.

Beberapa studi internasional mendukung pemanfaatan basalt sebagai media penyimpanan energi panas (*thermal energy storage*). (Nahhas et al., 2019) membuktikan bahwa basalt dapat digunakan pada *high-temperature packed-bed* TES di *concentrated solar power plants*, dengan stabilitas termal tinggi hingga 1000°C. Hal ini konsisten dengan pengamatan pada sampel lokal di Kutai Barat yang mengandung mineral dengan relief tinggi dan bias rangkap orde II, indikasi kestabilan optik dan termal.

Interpretasi dari temuan ini adalah bahwa basalt Kutai Barat memiliki potensi domestik yang sama dengan hasil studi internasional, dengan mineral utama (piroksen dan olivin) yang memang dikenal memiliki kapasitas panas dan stabilitas termal tinggi (Cuce et al., 2022). Basalt dengan tekstur kristal rapat memberikan kekuatan mekanik dan ketahanan erosi yang dibutuhkan untuk fondasi turbin angin. (Arvanitis et al., 2020) menunjukkan bahwa batuan beku, termasuk basalt, dapat dimanfaatkan sebagai geological support material pada proyek energi terbarukan. Ketahanan mekanik ini juga relevan dengan hasil petrografi sampel STA 3 dan STA 33 yang menunjukkan dominasi olivin dan piroksen, mineral dengan modulus elastisitas tinggi.

D. Implikasi Petrografi Terhadap Kekuatan Struktural

Basalt dikenal memiliki kuat tekan tinggi, densitas relatif besar, serta ketahanan terhadap pelapukan kimia. Dari perspektif petrografi, kehadiran mineral olivin dan piroksen dalam bentuk subhedral memperkuat struktur batuan, sementara dominasi feldspatoid dengan tekstur trachytic memberikan ikatan kristal yang padat, basalt dapat dimanfaatkan sebagai material konstruksi berkelanjutan, khususnya untuk fondasi turbin angin lepas pantai, karena sifat mekaniknya yang tahan lama dan biaya perawatan yang relatif rendah (Haji Muhammad et al., 2024).

Pada (Abhinaya et al., 2022) juga membahas hal serupa yang dimana menyatakan bahwa basalt merupakan salah satu batuan yang dikenal memiliki ketahanan mekanik tinggi, dengan kuat tekan rata-rata berkisar 100–300 MPa, lebih unggul dibandingkan banyak batuan sedimen seperti batupasir atau batugamping. Ketahanan mekanik ini menjadikan basalt sebagai pilihan material yang ideal untuk berbagai aplikasi konstruksi dan rekayasa. Penggunaan basalt dalam konstruksi tidak hanya meningkatkan ketahanan bangunan, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan dengan memanfaatkan sumber daya alam yang melimpah.

Penelitian (Telloli et al., 2021) juga memperkuat temuan ini, dengan menunjukkan bahwa penggunaan agregat basalt dalam beton meningkatkan kuat tekan serta ketahanan terhadap kondisi lingkungan ekstrem, dibandingkan dengan agregat batuan sedimen. Dengan demikian, karakter petrografi basalt yang ditemukan dalam penelitian ini relevan dengan kebutuhan material pada infrastruktur energi hijau, terutama dalam mendukung transisi menuju pembangkit energi terbarukan. Penggunaan material yang tepat sangat penting untuk memastikan efisiensi dan keberlanjutan dalam pembangunan infrastruktur energi terbarukan.

Dengan kata lain, informasi petrografi bukan hanya sekadar deskripsi mineralogi, tetapi juga membuka peluang praktis: basalt dapat diposisikan sebagai material struktural berkelanjutan. Jika diuji lebih lanjut secara mekanis, basalt Kutai Barat berpotensi menjadi alternatif yang kompetitif dibanding beton konvensional atau batuan sedimen dalam menopang infrastruktur energi terbarukan.

E. Potensi Basalt sebagai Media Penyimpanan Energi Panas (TES)

Selain peran struktural, basalt memiliki potensi sebagai media *Thermal Energy Storage* (TES). Hasil pengamatan menunjukkan dominasi feldspatoid mikrolitik yang mampu meningkatkan stabilitas batuan terhadap perubahan suhu. dibuktikan bahwa basalt memiliki kapasitas panas spesifik tinggi dan dapat menahan siklus pemanasan–pendinginan hingga 800 °C tanpa mengalami degradasi signifikan (Fränzer et al., 2023).

Penelitian (Liu et al., 2020) menegaskan bahwa basalt dapat digunakan sebagai material penyimpanan energi panas jangka panjang dalam sistem energi surya terkonsentrasi, berkat sifat konduktivitas termalnya yang stabil. Kombinasi mineral olivin dan piroksen juga mendukung kestabilan batuan pada suhu tinggi karena struktur silikat mereka relatif tahan terhadap perubahan kristalografi selama siklus termal berulang.

Dari sisi keberlanjutan, basalt bahkan memiliki nilai tambah: mineral olivin dan piroksen di dalamnya mampu mengikat CO₂ secara permanen melalui proses mineralisasi (Danczyk & Oze, 2024). Dengan demikian, basalt bukan hanya berfungsi sebagai penyimpan energi, tetapi juga dapat menjadi penyerap karbon alami.

Secara keseluruhan, karakter petrografi basalt Kutai Barat mengisyaratkan potensi ganda, baik sebagai bahan penyimpan energi panas maupun sebagai solusi mitigasi karbon. Meski demikian, penelitian lanjutan masih diperlukan, terutama berupa uji laboratorium mengenai kapasitas panas, konduktivitas termal, dan ketahanan terhadap siklus pemanasan berulang agar kelayakan basalt pada skala industri dapat benar-benar dipastikan.

Dengan demikian, hasil petrografi basalt dalam penelitian ini tidak hanya menunjukkan potensi mekanik, tetapi juga menegaskan kelayakan basalt sebagai kandidat material TES yang ramah lingkungan, menggantikan media konvensional seperti garam cair yang lebih mahal dan memiliki keterbatasan korosi.

F. Peran Mineral Mafik dalam Mitigasi Karbon

Temuan penting lain adalah kehadiran mineral olivin dan piroksen yang kaya magnesium dan besi. Kehadiran mineral ini berimplikasi pada kemampuan mineral carbonation, yaitu reaksi mineral dengan CO₂ untuk membentuk karbonat stabil (Rasool & Ahmad, 2023) menunjukkan bahwa injeksi CO₂ ke dalam reservoir basalt dapat menghasilkan mineralisasi karbon permanen, sehingga berkontribusi pada mitigasi emisi gas rumah kaca (Yusoff et al., 2025)

Menurut (Ayub et al., 2020) mineral mafik seperti olivin dan piroksen ternyata juga memiliki peran penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Kedua mineral ini mengandung magnesium dan besi dalam jumlah tinggi, yang secara alami mampu bereaksi dengan karbon dioksida (CO₂) untuk membentuk mineral karbonat yang stabil. Proses yang dikenal sebagai mineral carbonation ini menjadikan basalt bukan hanya material konstruksi, tetapi juga “penyerap karbon” alami yang dapat mengunci gas rumah kaca dalam bentuk padatan permanen.

Potensi ini semakin relevan jika dikaitkan dengan agenda global seperti *Paris Agreement* dan target *net-zero emission* tahun 2050 (Institute for Essential Services Reform, 2017). Dibandingkan metode penyimpanan karbon konvensional yang umumnya hanya menginjeksikan CO₂ ke dalam lapisan sedimen, mineralisasi pada basalt menawarkan solusi yang lebih aman karena menghasilkan karbonat solid yang tidak mudah bocor kembali ke atmosfer. Pengalaman proyek CarbFix menunjukkan bahwa basalt mampu mengubah CO₂ cair menjadi mineral karbonat hanya dalam hitungan tahun, jauh lebih cepat dari perkiraan awal yang ratusan tahun (Cao et al., 2024).

Dari segi kapasitas, basalt juga sangat menjanjikan. Penelitian menunjukkan bahwa Satu ton basalt dapat menangkap antara 0,153 hingga 0,165 ton CO₂, tergantung pada berbagai faktor seperti laju infiltrasi dan luas permukaan reaktif (Schwartz, 2022). Dengan cadangan basalt yang tersebar luas di Indonesia, peluang ini bukan hanya mendukung ketahanan energi berkelanjutan, tetapi juga dapat memperkuat kontribusi Indonesia dalam mencapai target pengurangan emisi nasional (*Nationally Determined Contribution/NDC*).

Meski demikian, pemanfaatan basalt untuk penyimpanan karbon masih menghadapi tantangan. Proses mineralisasi secara alami berjalan lambat, sehingga perlu teknologi tambahan seperti enhanced weathering atau injeksi CO₂ bertekanan tinggi untuk mempercepat reaksi (Gutknecht et al., 2018). Selain itu, kajian lebih lanjut masih diperlukan untuk memastikan aspek efisiensi, biaya, serta dampak lingkungannya.

Secara keseluruhan, keberadaan mineral mafik dalam basalt memperluas nilai strategis batuan ini. Tidak hanya berfungsi sebagai material konstruksi dan penyimpanan energi, tetapi juga sebagai solusi mitigasi iklim yang dapat membantu mendorong transisi energi dan mendukung pencapaian target dekarbonisasi di tingkat nasional maupun global.

Dari perspektif energi hijau, potensi ini memberikan nilai tambah pada basalt: selain sebagai material struktural dan media penyimpanan energi panas, basalt juga dapat menjadi reservoir karbon alami. Hal ini memperkuat peran basalt sebagai material strategis dalam mendukung target dekarbonisasi global.

4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa basalt dari Kutai Barat berpotensi sebagai material pendukung energi hijau berdasarkan kajian petrografi. Komposisi mineralnya (olivin, piroksen, dan feldspatoid) dengan tekstur *trachytic* memberikan indikasi kuat tekan tinggi, stabilitas pada suhu ekstrem, dan kapasitas panas spesifik besar. Hal ini sesuai dengan dua aplikasi utama yang disebut dalam judul: (1) sebagai material struktural untuk fondasi turbin angin, berkat kekuatan mekaniknya yang andal, serta (2) sebagai media penyimpanan energi panas (*Thermal Energy Storage*), karena kestabilannya dalam siklus pemanasan berulang. Dengan demikian, hasil ini mempertegas peran basalt sebagai kandidat material strategis dalam mendukung transisi energi terbarukan. Basalt terbukti memiliki potensi empiris dan teoritis untuk mendukung sistem energi terbarukan. Tujuan penelitian tercapai, yaitu membuktikan kelayakan basalt berdasarkan kajian petrografi dalam dua konteks aplikasi energi hijau yang berbeda.

Kontribusi ilmiah utama dari studi ini terletak pada pemberian bukti empiris baru mengenai peran petrografi basalt dalam bidang energi hijau, memperkuat literatur sebelumnya dengan studi kasus spesifik dari Kutai Barat. Hal ini menegaskan basalt bukan sekadar batuan beku melimpah, tetapi juga material strategis yang relevan dalam mendukung pembangunan energi berkelanjutan dan upaya dekarbonisasi.

Implikasi praktis dari penelitian ini mencakup peluang penggunaan basalt domestik sebagai alternatif material konstruksi untuk infrastruktur energi terbarukan, serta sebagai media penyimpanan energi panas yang ramah lingkungan. Secara teoretis, hasil penelitian menambah wawasan tentang keterkaitan antara karakter petrografi batuan dan aplikasinya dalam teknologi energi hijau, membuka ruang interdisipliner antara geologi, teknik material, dan energi terbarukan.

Namun, penelitian ini juga memiliki keterbatasan. Sifat mekanik dan termal batuan belum diuji secara langsung, serta penelitian masih berada pada skala laboratorium. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu melibatkan uji sifat fisik, analisis komparatif pada sampel dari lokasi berbeda, serta pengujian pada skala industri untuk mengonfirmasi potensi basalt dalam penerapan nyata.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa basalt adalah material potensial yang dapat berkontribusi pada percepatan transisi energi nasional maupun global, baik melalui perannya dalam mendukung infrastruktur energi terbarukan maupun sebagai media penyimpanan energi panas yang berkelanjutan.

5. Pengakuan

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Geologi dan Survei, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman yang telah memberikan fasilitas dalam pelaksanaan analisis petrografi. Apresiasi juga disampaikan kepada Ir. Resty Intan Putri, S.T., M.Eng dan Ir. Koeshadi Sasmito, S.T., M.T atas arahan dan bimbingan yang berharga selama proses penelitian. Tidak lupa, penulis menyampaikan terima kasih kepada rekan-rekan selama pengambilan data lapangan atas bantuan dan dukungan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

6. Daftar Pustaka

- Abhinaya, N., Yuliadi, & Zaenal. (2022). Karakteristik Sifat Fisik dan Mekanik Batuan Basalt sebagai Bahan Baku Serat Basalt di Wilayah Bandung Raya, Provinsi Jawa Barat. *Bandung Conference Series: Mining Engineering*, 2(2), 477–483.
- Arvanitis, A., Koutsovitis, P., Koukoulas, N., Tyrologou, P., Karapanos, D., Karkalis, C., & Pomonis, P. (2020). Potential sites for underground energy and CO₂ storage in Greece: A geological and petrological approach. *Energies*, 13(11).
- Ayub, S. A., Tsegab, H., & Rahmani, O. (2020). Potential for CO₂ Mineral Carbonation in the Paleogene Segamat Basalt of Malaysia. *Minerals*, 10(1045), 1–14.
- Bouvry, B., Fernández Carrión, A. J., Andújar, J., Veron, E., Ory, S., Brassamin, S., Echegut, P., Escape, C., Nahhas, T., Py, X., & Bessada, C. (2017). Mediterranean basin basalts as potential materials for thermal energy storage in concentrated solar plants. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 171(March), 50–59.
- Cao, X., Li, Q., Xu, L., & Tan, Y. (2024). A review of in situ carbon mineralization in basalt. *Journal of Rock*

Mechanics and Geotechnical Engineering, 16(4), 1467–1485.

Cuce, P. M., Cuce, E., Alshahrani, S., Saboor, S., Sen, H., Veza, I., & Saleel, C. A. (2022). Performance Evaluation of Solar Chimney Power Plants with Bayburt Stone and Basalt on the Ground as Natural Energy Storage Material. *Sustainability (Switzerland)*, 14(17).

Danczyk, M., & Oze, C. (2024). Suitability of rocks, minerals, and cement waste for CO₂ removal via enhanced rock weathering. *Communications Chemistry*, 7(1), 1–7.

Fränzer, S., Jeskulke, J., Neumann, K. M., Schumski, S., Thomas, S. L., Duda, M., Witte, L. C., Brajer, C., & Backers, T. (2023). Experimental investigation of the effect of thermal cycling on the thermomechanical properties of three rock varieties for high temperature thermal energy storage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1124(1), 0–9.

Gutknecht, V., Snæbjörnsdóttir, S. Ó., Sigfússon, B., Aradóttir, E. S., & Charles, L. (2018). Creating a carbon dioxide removal solution by combining rapid mineralization of CO₂ with direct air capture. *Energy Procedia*, 146, 129–134.

Haji Muhammad, B. Jan, Ping, W., Mohabbat, M. J., Islam, I., & Ahmad, I. (2024). The COMPARATIVE ANALYSIS OF MECHANICAL STRENGTH AND PETROGRAPHIC FEATURES OF ANDESITE AND BASALT FROM SAWABI AREA, N-W PAKISTAN: IMPLICATIONS FOR CONSTRUCTION ENGINEERING. *Journal of Mountain Area Research*, 9, 92.

Heinonen, J. S., Luttinen, A. V., & Whitehouse, M. J. (2018). Enrichment of 18O in the mantle sources of the Antarctic portion of the Karoo large igneous province. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 173(3), 0.

Institute for Essential Services Reform. (2017). *Energi terbarukan: Energi untuk kini dan nanti (Seri 10 pertanyaannya)*.

Isnugroho, K., Hendronursito, Y., & Birawidha, D. C. (2018). Characterization and utilization potential of basalt rock from East-Lampung district. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 285(1).

Joel, O. T., & Oguanobi, V. U. (2024). Geological data utilization in renewable energy mapping and volcanic region carbon storage feasibility. *Open Access Research Journal of Engineering and Technology*, 6(2), 063–074.

Liu, J., Chang, Z., Wang, L., Xu, J., Kuang, R., & Wu, Z. (2020). Exploration of Basalt Glasses as High-Temperature Sensible Heat Storage Materials. *ACS Omega*, 5(30), 19236–19246.

Nahhas, T., Py, X., & Sadiki, N. (2019). Experimental investigation of basalt rocks as storage material for high-temperature concentrated solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110(May 2018), 226–235.

Rasool, M. H., & Ahmad, M. (2023). Reactivity of Basaltic Minerals for CO₂ Sequestration via In Situ Mineralization: A Review. *Minerals*, 13(9).

Schwartz, M. O. (2022). Modelling a basalt reactor for direct air CO₂ capture. *Environmental Earth Sciences*, 81(7), 1–9.

Telloli, C., Aprile, A., & Marrocchino, E. (2021). Petrographic and Physical-Mechanical Investigation of Natural Aggregates for Concrete Mixtures. *Materials*, 14(19), 5763.

Travis, R. B. (1955). *Classification of Rocks*. Golden, CO: Colorado School of Mines. (Quarterly of the Colorado School of Mines, Vol. 50, No. 1).

Wardhana, A. R., & Marifatullah, W. H. (2020). Transisi Indonesia Menuju Energi Terbarukan. *Tashwirul Afkar*, 38(2).

Yusoff, A. F., Hasnan, H. K., Roselee, M. H., Mustapha, K. A., & Ghani, A. A. (2025). The Potential of CO₂ Sequestration from Basaltic Rock in Peninsular Malaysia. *Sains Malaysiana*, 54(1), 3483–3493.