

Artikel Penelitian (Teknik Pertambangan)

Karakterisasi Pasir Silika Sebagai Bahan Baku dalam Pembuatan Panel Surya Berdasarkan Analisis Geokimia di Desa Teluk Rendah, Jambi

Muhammad El Hakim^{*}, Wahyudi Zahar, Yudi Arista Yulanda, Jarot Wiratama

Fakultas Sains dan Teknologi, Teknik Pertambangan, Universitas Jambi, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 26 Februari 2026

Revisi Akhir: 08 April 2026

Diterbitkan Online: 12 April 2026

KATA KUNCI

Geokimia
AAS
SEM-EDS
Pasir Silika
Panel Surya

KORESPONDENSI^(*)

E-mail: elhakim@unja.ac.id

A B S T R A K

Indonesia sebagai negara tropis menjadikannya sebagai negara yang mendapatkan penyinaran matahari yang lama dan konsisten setiap harinya. Oleh sebab itu potensi pemanfaatan panel surya di Indonesia juga cukup besar, di samping bahan bakunya juga tersedia di Indonesia. Pasir silika memiliki sumberdaya yang berlimpah, stabil digunakan sebagai penyimpan panas, dan memerlukan biaya yang rendah sebagai penyimpan panas dengan temperatur hingga 1.2000C. Penelitian ini menggunakan metoda kuantitatif, yaitu dengan cara melakukan pengujian dan pengukuran secara geokimia pada sampel pasir silika yang ada di Desa Teluk Rendah, Jambi. Sampel diuji menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui dan melakukan analisis terhadap karakterisasi sampel pasir silika yang telah diambil. Kualitas pasir silika sebagai bahan baku panel surya sebaiknya mengandung kadar unsur Silicon Dioxide lebih dari 99,7%, Iron Oxide kurang dari 85 ppm, Titanium Dioxide kurang dari 140 ppm, Aluminium Oxide kurang dari 500 ppm. Dari hasil pengujian AAS didapatkan karakteristik pasir silika di daerah penelitian tidak memenuhi syarat dengan kadar Silicon Dioxide sebesar 95,78%, Iron Oxide 17.200 ppm, Titanium Dioxide 13.700ppm, dan Aluminium Oxide 8.900ppm. Namun jika dilihat dari kandungan silika yang cukup tinggi pada sampel, maka kemungkinan pemanfaatan pasir silika pada daerah penelitian perlu dikaji lebih lanjut. Dari hasil uji SEM-EDS didapatkan unsur yang paling banyak terdeteksi berupa Carbon dengan massa konsentrasi 40,86%, Oksigen dengan massa konsentrasi 30% dan Silikon 25,22%. Kehadiran Silikon (Si) dan Oksigen (O) dalam jumlah yang banyak mengindikasikan mineral yang paling banyak pada daerah ini adalah mineral Silikat (SiO₂) dengan total massa konsentrasi 53,97%.

PENDAHULUAN

Panel surya dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Penggunaan panel surya untuk menghasilkan listrik dapat mengurangi ketergantungan akan bahan bakar fosil. Hal ini sesuai dengan salah satu tujuan dari The Sustainable Development Goals (SDGs 2030) yaitu memastikan akses untuk energi yang terjangkau, dapat diandalkan, berkelanjutan dan modern [1]. Saat ini terdapat sebanyak 675 juta orang di dunia masih hidup dalam kegelapan. Peningkatan efisiensi penggunaan energi dibutuhkan dua kali lipat dari yang diterapkan saat ini, sedangkan dana dunia yang tersedia untuk pengembangan energi bersih terus turun yang semula sebesar 28,4 juta dolar pada tahun 2017 menjadi 10,8 juta dolar di tahun 2021.

Pasir silika dibutuhkan dalam industri panel surya sebagai bahan baku utama yang murah dan efisien. Berdasarkan data dari kementerian ESDM pada tahun 2021, Indonesia memiliki potensi bahan galian pasir silika yang besar dengan sumberdaya sekitar 25 miliar ton dan cadangan mencapai 330 juta ton. Dikutip dari data CNN, jumlah sumberdaya dan cadangan pasir silika ini telah menarik perhatian Perusahaan China, Xinyi Group, untuk menanamkan investasi hingga

381 triliun rupiah untuk mendirikan pabrik kaca dan panel surya di Kepulauan Riau [2]. Terlepas dari permasalahan yang dihadapi Indonesia dalam pelaksanaan investasi ini, minat perusahaan luar negeri untuk berinvestasi di Indonesia menunjukkan besarnya potensi pasir silika yang ada di sini sebagai bahan baku panel surya. Jika dikelola dengan baik, pasir silika dapat menjadi komoditi ekspor dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Metode geokimia merupakan salah satu metode yang efektif untuk mengetahui kandungan mineral dan karakteristik bahan galian. Analisis geokimia dengan metode X-Ray Fluorescence (XRF) dan X-Ray Diffraction (XRD) untuk menentukan komposisi unsur Si, gugus fungsional dan struktur kristal telah dilakukan pada sampel pasir pantai Pulau Sumatra dan Sulawesi. Pengujian XRF dapat mengetahui komposisi unsur dan oksida dari sampel yang diuji, dengan kandungan SiO₂ pada sampel pantai Sulawesi sebesar 16-17%, sedangkan pada sampel pulau sumatra didapatkan kadar SiO₂ sebesar 87%. Pengujian XRD dapat mengetahui fase mineral dan struktur kristal dari sampel penelitian dengan hasil struktur kristal SiO₂ pada sampel berupa heksagonal [3].

Desa teluk rendah berada pada formasi kasai yang terdiri atas perselingan batupasir tufan, tuf, batu lempung tufan, batu lempung, dan batupasir lempungan. Pada formasi kasai banyak dijumpai endapan tuf yang kaya akan kuarsa dan diduga berasal dari gunung berapi yang ada di sepanjang bukit barisan. Endapan tuf ini salah satunya dapat dijumpai di Desa Teluk Rendah, dengan hamparan pasir kuarsa yang luas pada daerah sekitar sungai daerah ini. Fase pengendapan pada formasi kasai berupa fluvial dan aluvial, dimana tipe endapan ini berkaitan erat dengan aktivitas arus sungai dalam pembentukan endapan sedimen.

Penelitian ini menggunakan analisis geokimia dengan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) dan *Scanning Electron Microscope-energy dispersive spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui karakteristik dan kadar unsur pada daerah penelitian. Metoda AAS mampu mendeteksi kadar unsur logam maupun non logam dari sampel batuan, tanah ataupun sedimen hingga keberadaan kadar yang sangat rendah. Metoda AAS memiliki sensitivitas yang cukup baik untuk mendeteksi logam berat dengan tingkat kesalahan relatif lebih kecil dari 5% [4]. *Scanning Electron Microscope (SEM)* dapat memberikan informasi mengenai topografi, morfologi, komposisi dan sifat kristalografi dengan menggunakan emisi elektron sekunder (topografi) dan elektron hamburan balik (nomor atom). Spektrum sinar-X adalah foton berenergi tinggi yang dihasilkan dari transisi elektron dalam padatan sampel oleh berkas elektron yang dipercepat. Spektrum sinar-X yang dipancarkan oleh spesimen memberikan informasi kualitatif dan kuantitatif, memungkinkan identifikasi unsur-unsur apa yang ada dalam sampel dan jumlah masing-masing unsur. Kombinasi gambaran yang dihasilkan SEM dengan analisis kualitatif dan kuantitatif unsur yang didapatkan dari EDS mampu memberikan gambaran yang akurat mengenai karakteristik dan keberadaan dari suatu unsur [5]. Biasanya pasir silika dimanfaatkan sebagai bahan baku kaca, penjernih air, bahan konstruksi dan bangunan. Pemanfaatan pasir silika sendiri sebagai bahan baku panel surya di Indonesia masih terbilang jarang untuk digunakan, termasuk pasir silika yang ada di Daerah Muaro Jambi. Untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik pasir silika yang ada pada Daerah Muaro Jambi, sehingga dapat diketahui nantinya potensi pasir silika ini sebagai bahan baku panel surya.

TINJAUAN PUSTAKA

Pasir Silika sebagai Bahan Baku Panel Surya

Penelitian mengenai karakteristik pasir silika sebagai bahan baku penyimpanan energi termal (Thermal Energy Storage / TES) telah sedang gencar dilakukan. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa pasir silika memiliki sumberdaya yang berlimpah, stabil digunakan sebagai penyimpan panas, dan memerlukan biaya yang rendah sebagai penyimpan panas dengan temperatur hingga 1.2000C [6]. Silikon yang diambil dari pasir silika dengan kemurnian sangat tinggi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku panel surya karena memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi, biaya produksi yang relatif rendah dibandingkan jika menggunakan unsur lain, jumlah di alam yang melimpah, ramah lingkungan, dan menunjukkan stabilitas jangka panjang. Pasir silika yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku panel surya setidaknya harus mengandung Silicon Dioxide (SiO₂) sebesar 99,7% atau lebih. Ambang batas pengotor yang diperbolehkan pada bahan baku ini berupa Iron Oxide (Fe₂O₃) tidak lebih dari 85 ppm (0,0085%), Titanium Dioxide (TiO₂) tidak lebih dari 140 ppm (0,014%) dan Aluminium Oxide (Al₂O₃) tidak lebih banyak dari 500 ppm (0,05%). Spesifikasi pasir silika sebagai bahan baku panel surya yang disarankan dapat dilihat pada tabel berikut [7].

Tabel 1. Spesifikasi Kualitas Pasir Silika Sebagai Bahan Baku Panel Surya

No	Unsur	Kadar
1	Silicon Dioxide	$\geq 99.7\%$
2	Iron Oxide	≤ 85 ppm
3	Titanium Dioxide	≤ 140 ppm
4	Aluminium Oxide	≤ 500 ppm
Ukuran Partikel: 109-700 mikron (24-140 mesh)		

Analisis Geokimia pada Pasir Silika

Penelitian mengenai karakterisasi pasir silika di Pulau Bangka dengan memanfaatkan analisis geokimia telah dilakukan guna mengetahui potensinya sebagai bahan baku panel surya. Penelitian dilakukan dengan menggunakan analisis geokimia metode *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *X-Ray Fluorescence (XRF)*, dan *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)*. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pasir silika yang ada di Pulau Bangka memiliki potensi sebagai bahan baku panel surya jika dilakukan pengolahan lebih lanjut pada pasir silika tersebut. Analisis geokimia dinilai mampu untuk mengetahui sebaran unsur yang terdapat pada sampel pasir silika. Indonesia sebagai negara tropis dan berada tepat di garis khatulistiwa menjadikan Indonesia sebagai negara yang mendapatkan penyinaran matahari yang lama dan konsisten setiap harinya. Oleh sebab itu potensi pemanfaatan panel surya di Indonesia juga cukup besar, di samping bahan bakunya juga tersedia di Indonesia untuk dapat beralih ke energi surya secara massif saat ini sangat memungkinkan [8].

METODOLOGI

Sampel Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yaitu dengan cara melakukan pengujian dan pengukuran secara geokimia pada sampel pasir silika yang ada di lokasi penelitian dari Muaro Jambi. Pengujian dilakukan dengan maksud mengetahui dan melakukan analisis terhadap karakterisasi sampel pasir silika yang telah diambil. Analisis geokimia dapat dimanfaatkan untuk mengetahui proporsi unsur logam maupun non logam dalam sebuah sampel.

Sampel penelitian di ambil dengan metode grab sampling menggunakan sekop, lalu di masukkan ke dalam plastik ziplock dengan ukuran 2 kg, selanjutnya sampel diberi kode sesuai dengan ketentuan penamaan yang berlaku. Sampel yang diambil berupa sampel permukaan pada kedalaman dangkal dengan tujuan untuk melihat sebaran SiO_2 pada permukaan endapan. Sampel diambil pada bagian tengah endapan pasir silika pada kedalaman kurang dari 0,5 meter. Sebelum di lakukan pengujian dan analisis di laboratorium, sampel perlu melewati tahap preparasi dengan tujuan menyesuaikan volume sampel dengan kebutuhan analisis dan melakukan pemilahan sebagian sampel. Hal ini bertujuan untuk mencari sampel yang paling mewakili daerah penelitian untuk dilakukan pengujian lebih lanjut.

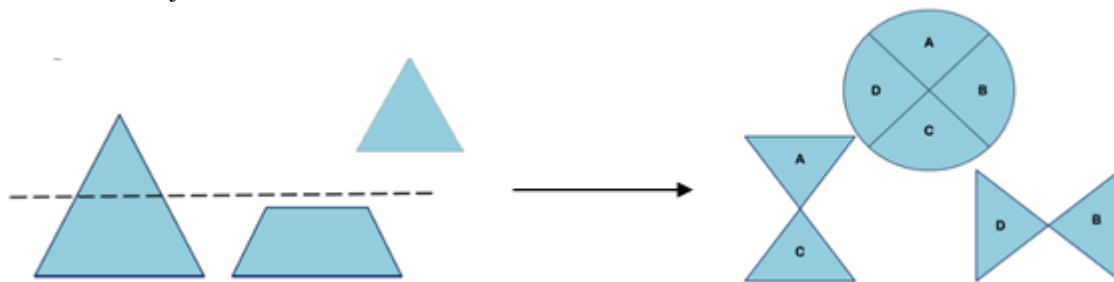


Gambar 1. Proses pengambilan sampel pasir silika dengan metoda grab sampling

Preparasi Sampel

Dari sampel yang telah dikumpulkan maka sebagian akan dilanjutkan ke tahap pengujian dan sebagian lagi akan disimpan sebagai data alternatif. Sampel yang dipilih untuk pengujian dan pengukuran harus mewakili sebagian besar distribusi

ukuran partikel dan fraksi relatif dari berbagai unsur penyusunnya. Oleh sebab itu, bulk sampling yang telah diambil perlu dibagi dalam sampel kecil yang mewakili dengan metode *cone and quartering*. Prosedur ini dimulai dengan menuangkan sampel sehingga membentuk kerucut, kemudian bagian permukaannya diratakan. Lalu sampel dibagi menjadi empat bagian, dua bagian dari sisi yang berlawanan kemudian dipisahkan. Dua bagian sisanya digabungkan untuk kemudian di tumpuk dalam bentuk kerucut [9]. Proses *cone and quartering* terus di ulang hingga mendapatkan sampel sesuai berat yang dibutuhkan untuk uji laboratorium.



Gambar 2. Proses reduksi sampel dengan metode coning quartering

Pengujian Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

Pengujian geokimia yang dilakukan dalam penelitian ini diantaranya dengan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) dan *Scanning Electron Microscope-energy dispersive spectroscopy* (SEM-EDS). AAS dapat digunakan untuk analisis unsur logam maupun non logam pada material organik maupun non-organik. AAS mampu mendeteksi unsur pada sampel dengan kadar rendah, yaitu mencapai dalam satuan part-per-million (0,0001%). Pengujian AAS dilakukan dalam 2 langkah diantaranya mengkonversi molekul sampel menjadi atom-atom bebas dalam fase gas (atomisasi) dengan menggunakan nyala api dan selanjutnya atom-atom bebas tersebut akan menyerap radiasi (cahaya) pada panjang gelombang tertentu. Jumlah radiasi yang diserap ditentukan oleh jumlah konsentrasi atom didalam sampel dan digunakan untuk mengukur kandungan unsur logam maupun non-logam di dalam sampel tersebut [10]. Kadar suatu unsur dalam sampel pada analisis AAS dihitung dari jumlah radiasi pada panjang gelombang spesifik yang diserap oleh sampel. Peningkatan jumlah radiasi yang diserap berbanding lurus dengan konsentrasi unsur dalam sampel.

Pengujian Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)

Tembakan berkas elektron berenergi tinggi pada atom dari suatu sampel dapat menghasilkan beberapa interaksi yang berbeda tergantung ketebalan dari sampel yang digunakan. Pada sampel dengan ketebalan yang tipis maka elektron dapat ditransmisikan tanpa terjadinya penyerapan. Sedangkan pada sampel yang lebih tebal elektron tidak ditransmisikan dan partikel elektron yang muncul dari permukaan memberikan informasi morfologis dan struktural [11].

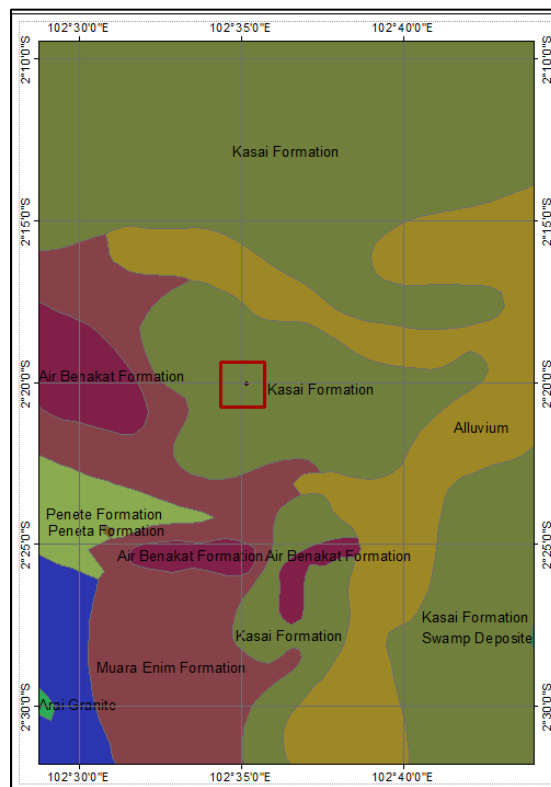
Berkas elektron diperkecil ukurannya menjadi titik halus menggunakan dua atau tiga lensa kondensor elektromagnetik. Kumbaran pemindai digunakan bersamaan dengan titik halus dari berkas elektron tersebut untuk memindai berkas elektron di seluruh area sampel yang dipilih. Elektron dari titik halus ini kemudian akan menembus sampel dalam bentuk tetesan air. Interaksi elastis antara berkas elektron yang ditembakkan dengan sampel mengakibatkan elektron tersebut direfleksikan kembali menghasilkan *backscattered electrons* (BSE). Elektron ini akan menghasilkan gambar dengan resolusi tinggi dari unsur penyusun sampel tersebut. Gambar yang dihasilkan SEM berasal dari berbagai sinyal elektron yang dikumpulkan oleh sensor dalam ruang pengumpulan. Gambar ini memberikan informasi topografi dari sampel seperti tekstur permukaan, bentuk serta fitur [12].

Ketika berkas elektron ditembakkan dan berinteraksi diatas permukaan sampel maka gelombang X-rays akan dihasilkan. Perlambatan yang dialami elektron saat memasuki area *Coulomb* dari sampel menyebabkan kehilangan energi elektron dan memancarkan photon. Penyerapan gelombang X-ray, penentuan faktor koreksi saat elektron penetrasi dan menghambur, serta konversi intensitas X-ray menjadi parameter perhitungan kuantitatif dalam *energy dispersive spectrometry* (EDS). EDS yang dikombinasikan dengan SEM menghasilkan komposisi data dari gelombang X-ray yang diperoleh saat gelombang elektron memindai area pada sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi Regional Daerah Penelitian

Penelitian dilakukan pada daerah Desa Teluk Rendah, Sarolangun, Provinsi Jambi dengan koordinat lokasi 02020,0492' S dan 102035,1561' E seperti yang terlihat pada area merah dari gambar geologi regional daerah penelitian. Area penelitian berada pada formasi kasai yang terdiri atas perselingan batupasir tufan, tuf, Batul empung tufan, batu lempung, dan batu pasir lempungan seperti yang terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Geologi regional daerah penelitian

Formasi ini diendapkan pada kala Pliosen Akhir sampai dengan Pleistosen Awal yang merupakan hasil dari erosi dari pengangkatan Bukit Barisan dan Pegunungan Tiga Puluh, serta akibat adanya pengangkatan pelipatan yang terjadi di cekungan. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 500 m hingga 1000 m. Formasi ini berdampingan dengan formasi muara enim yang terendapkan pada kala eosen Akhir hingga Pliosen. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 750 m dan memiliki batupasir dengan kandungan glaukonit serta Batubara dengan tingkatan lignit [13]. Formasi kasai juga mengalami kontak dengan formasi air benakat yang terdiri atas perselingan batupasir dan batulempung, sisipan konglomerat gampingan, batulanau, napal dan batubara. Pada formasi ini ditemukan moluska dalam jumlah besar dan makin ke atas makin banyak sisa tumbuhan terkandung dalam satuan ini. Batupasir tufan berwarna putih sampai coklat kekuningan, berbutir halus sampai sedang, lunak–keras, komposisi utama felspar dan sejumlah kuarsa. Hal ini sesuai dengan kondisi yang terlihat di lapangan yang ditandai dengan banyaknya pasir silika yang berwarna putih.

Analisis Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

Desa teluk rendah memiliki potensi pasir silika yang cukup besar, hal ini dapat terlihat dari peta geologi daerah sekitar. Dari pengamatan di lapangan diduga pasir silika pada daerah ini mengandung cukup banyak mineral kuarsa yang ditandai dengan kristal-kristal mineral putih dan bening, serta bercampur dengan beberapa mineral logam. Mineral logam yang paling banyak terlihat adalah bijih besi dengan warna mineral hitam dan tersebar hampir disemua bagian pasir daerah ini. Untuk mengetahui karakteristik dan jumlah kandungan unsur pasir silika dari daerah penelitian dilakukan pengujian geokimia dengan metode Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). Prinsip kerja AAS adalah dengan mengukur penyerapan atom yang terjadi ketika elektron terluar dari atom suatu unsur mengubah tingkat energi dari keadaan dasar netral ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan menyerap energi radiasi pada panjang gelombang tertentu. Pengukuran penyerapan energi oleh atom suatu unsur dengan AAS memerlukan sumber cahaya, sel sampel, dan perangkat pengukuran cahaya tertentu. Konsentrasi unsur dalam sampel yang tidak diketahui diukur dengan membandingkan sinyal penyerapan

atomnya dengan sinyal penyerapan standar konsentrasi unsur yang diketahui [14]. Dari hasil pengujian AAS didapatkan karakteristik pasir silika pada daerah penelitian sebagai berikut.

Tabel 2. Karakterisasi Pasir Silika pada Daerah Desa Teluk Rendah, Sarolangun

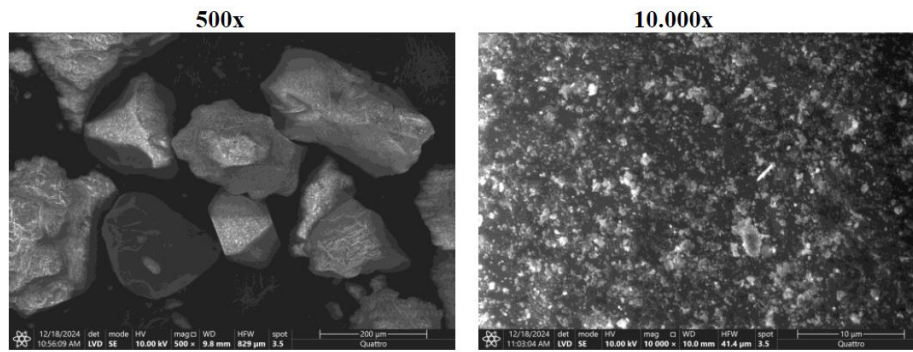
No	Unsur	Kadar	
		%	ppm
1	SiO ₂	95,78	957.800
2	Al ₂ O ₃	0,89	8.900
3	Fe ₂ O ₃	1,72	17.200
4	K ₂ O	0,087	870
5	Na ₂ O	0,084	840
6	CaO	0,035	350
7	MgO	0,060	600
8	TiO ₂	1,37	13.700
9	LOI	0,38	3.800
10	MnO	0,025	250

Dari hasil pengujian dengan menggunakan AAS didapatkan bahwa kandungan unsur Silika Dioksida (SiO₂) pasir kuarsa pada daerah penelitian cukup tinggi sekitar 95,78%, namun kadar ini tidak memenuhi syarat sebagai bahan baku panel surya dengan minimal kadar 99,7%. Sampel penelitian juga mengandung kadar Titanium Dioxide yang cukup tinggi sebesar 13.700ppm, sedangkan kadar Titanium Dioxide (TiO₂) pada pasir silika yang direkomendasikan sebagai bahan baku panel surya tidak lebih dari 140 ppm. Begitu juga nilai Aluminium Oxide (Al₂O₃) memiliki kadar yang lebih tinggi dari ambang batas untuk bahan baku panel surya dengan kadar 8.900 ppm pada sampel, sedangkan kadar yang direkomendasikan tidak lebih dari 500 ppm. Kadar iron Oxide (Fe₂O₃) pada sampel sebesar 17.200 ppm jauh melebihi kadar rekomendasi yang tidak lebih dari 85ppm. Namun jika dilihat dari jumlah silika yang cukup tinggi pada sampel penelitian maka pasir silika di daerah penelitian masih memungkinkan untuk dijadikan sebagai bahan baku panel surya dengan pemurnian yang lebih lanjut sehingga memenuhi standar ambang batas kadar yang diinginkan. Oleh karena itu perlu dikaji lebih lanjut mengenai proses pemurnian yang sesuai dan biaya pemurnian yang diperlukan sebagai pertimbangan potensi pasir silika pada desa Teluk Rendah sebagai bahan baku panel surya.

Kandungan pengotor yang tinggi seperti TiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ pada pasir silika jika digunakan pada panel surya akan mengurangi efektifitas pemanfaatan dan konversi energi matahari menjadi energi listrik. Kandungan pengotor yang tinggi akan mengurangi kemurnian unsur SiO₂ sedangkan bahan baku panel surya membutuhkan pasir silika dengan kadar SiO₂ yang cukup tinggi tidak kurang dari 99,7%. Kandungan pada TiO₂ panel surya mengurangi efektifitas penggunaan energi listrik, dengan kandungan 10% Ti dalam sel surya silikon N(+)/P membentuk pusat aktif listrik yang menyebabkan degradasi sambungan sel. 14% dari Ti yang tersisa mengendap sebagai TiO₂, membentuk cacat aktif listrik, yang juga menyebabkan degradasi sambungan [15]. Kandungan TiO₂ yang tinggi juga mengakibatkan proses pemurnian pasir silika menjadi lebih sulit diproses dan lebih mahal dari segi biaya. Begitupun dengan keberadaan Al₂O₃, dan Fe₂O₃ dalam jumlah banyak transmisi cahaya sehingga mengakibatkan pengurangan energi listrik yang dapat dikonversi dari cahaya matahari.

Analisis Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)

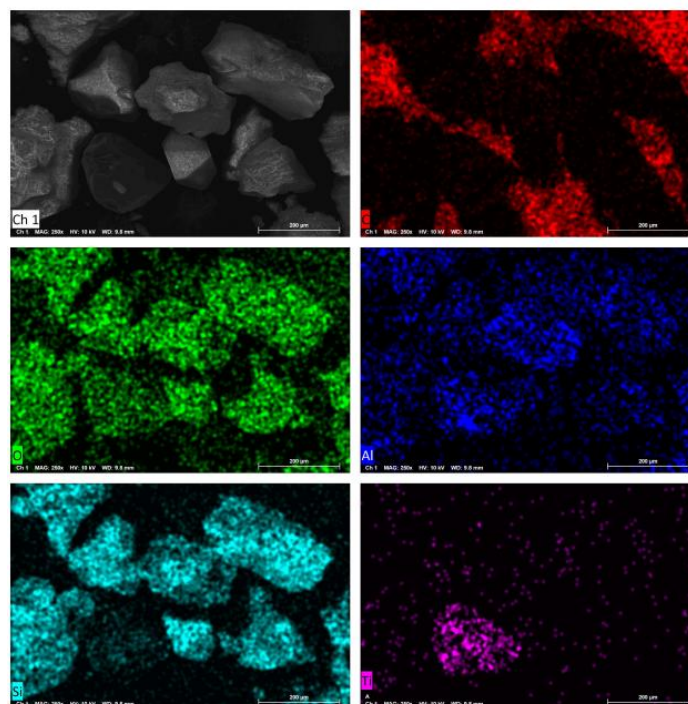
Scanning Electron Microscope (SEM) dapat digunakan bersamaan dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* untuk mengetahui komposisi dan karakteristik dari mineral. SEM menggunakan berkas elektron berenergi tinggi untuk mengkarakterisasi sampel pada skala mikro sampai nano sehingga mampu mengamati objek dengan perbesaran hingga 10.000 kali dengan resolusi tinggi seperti yang terlihat pada gambar dibawah. Interaksi antara berkas elektron dengan sampel menghasilkan elektron sekunder dan elektron yang direfleksikan kembali dapat digunakan untuk melihat morfologi dan komposisi permukaan mineral dari sampel yang diuji.



Gambar 4. Hasil pengujian SEM dengan perbesaran 500 kali dan 10.000 kali

Pada pengamatan menggunakan SEM dengan perbesaran 500 kali terlihat butiran sampel berbentuk angular hingga sub-angular yang terlihat memiliki sudut dan tidak terlalu membulat. Tingkat kebulatan ini mencerminkan tingkat abrasi selama proses transportasi pada endapan sedimen. Bentuk butir yang tidak membulat menunjukkan material ini tidak mengalami proses transportasi yang terlalu jauh dari sumber batuan asal yang mengalami pelapukan. Ukuran butir yang diamati berkisar 100 μm hingga 400 μm menunjukkan butiran relatif halus hingga kasar. Dari pengamatan ini juga dapat dilihat permukaan butiran tidak rata dan terdapat perbedaan kontras warna gelap dan terang pada sampel. Warna yang cerah dari abu-abu cerah hingga putih menunjukkan unsur pada mineral tersebut memiliki nomor atom yang tinggi, sebaliknya semakin gelap warna yang dihasilkan menunjukkan unsur dengan nomor atom rendah terdapat pada mineral yang diamati. Dari hasil pengamatan SEM dapat dilihat material ini menunjukkan warna yang tidak terlalu terang hingga abu-abu gelap yang menandakan material didominasi unsur dengan nomor atom rendah seperti Si, C, ataupun O.

Pada pengamatan SEM dengan perbesaran 10.000 kali terlihat ukuran kristal dibawah 10 μm dengan warna didominasi oleh warna gelap dengan minor warna terang. Warna gelap menunjukkan unsur dengan nomor atom rendah kemungkinan berupa silikat, sedangkan unsur dengan warna yang lebih terang menunjukkan terdapat mineral dengan nomor atom tinggi dalam jumlah kecil. Pada pengamatan ini kristal yang terbentuk tidak terlihat sempurna, kemungkinan bisa dikategorikan dalam subhedral.

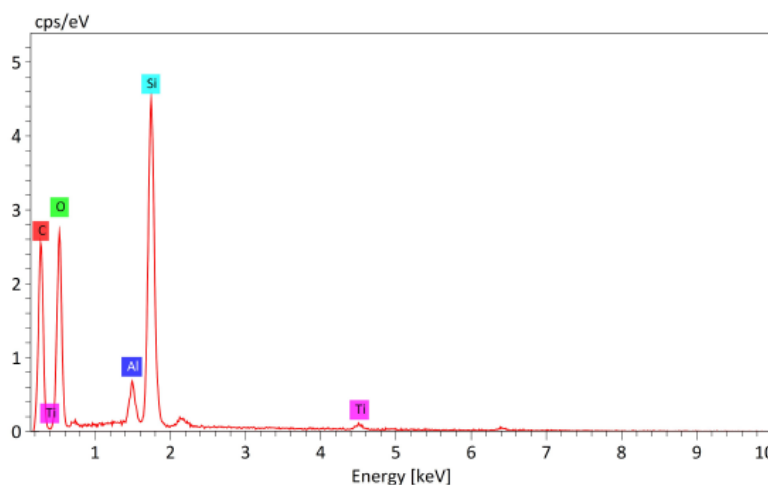


Gambar 5. Peta sebaran unsur yang dideteksi dari pengujian SEM

Berdasarkan peta sebaran unsur seperti yang terlihat pada gambar diatas terlihat banyak terdapat unsur carbon seperti yang ditunjukkan oleh warna merah. Kandungan Carbon yang cukup tinggi dan tersebar luas kemungkinan berasal dari proses coating saat preparasi sampel yang bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas listrik saat analisis SEM. Material

ini didominasi oleh mineral oksida seperti yang ditunjukkan oleh warna hijau dan juga mineral silikat yang ditunjukkan oleh warna biru kehijauan. Dominasi mineral Silikat dan Oksida mengindikasikan bahwa komposisi utama pada material ini berupa kuarsa (SiO₂). Unsur aluminium tersebar merata dapat dilihat pada butiran berwarna biru, menunjukkan kemungkinan adanya indikasi mineral feldspar. Pada material ini terdapat sedikit mineral titanium yang terkonsentrasi pada area tertentu.

Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) merupakan teknik mikro analitik yang memungkinkan untuk mengetahui karakterisasi komposisi unsur batuan dan mineral dari sampel yang diuji. Berdasarkan grafik spektrum EDS menunjukkan unsur silikon (Si) memiliki puncak tertinggi pada energi 1,7 kilo-electron volt (keV). Hal ini menunjukkan bahwa silikon (Si) merupakan unsur dengan kelimpahan terbanyak pada sampel ini. Unsur oksigen terdeteksi memiliki puncak signifikan tertinggi setelah silikon pada energi 0,5 keV, sehingga sampel ini kemungkinan tergolong senyawa oksida. Unsur Carbon terdeteksi memiliki puncak pada energi 0,25 keV yang diduga berasal dari proses preparasi sampel sebelum dilakukan pengujian. Aluminium terlihat memiliki puncak kecil pada energi 1,5 keV sedangkan titanium muncul 2 kali dengan puncak sangat kecil.



Gambar 6. Grafik Kelimpahan Unsur yang Diperoleh dari Uji EDS

Berdasarkan hasil analisis kuantitatif menggunakan EDS dapat dilihat bahwa unsur yang paling banyak terdeteksi adalah Carbon dengan massa konsentrasi sekitar 40,86% seperti yang terlihat pada tabel dibawah. Kandungan karbon diduga berasal dari proses preparasi berupa coating carbon sebelum dilakukan pengujian SEM, sehingga kandungan carbon ini tidak mempresentasikan komposisi mineral asli dari sampel yang diuji. Unsur yang paling banyak terdeteksi berikutnya berupa Oksigen dengan massa konsentrasi 30% dan Silikon 25,22%. Kehadiran silikon (Si) dan oksigen (O) dalam jumlah yang banyak mengindikasikan mineral yang paling banyak pada daerah ini adalah silika (SiO₂). Kandungan aluminium dalam jumlah kecil sekitar 2,16% menunjukkan keberadaan mineral feldspar dalam jumlah yang sedikit. Jika menggunakan perbandingan berat molekul antara unsur Si dengan senyawa SiO₂ maka massa konsentrasi senyawa SiO₂ didapatkan dengan persamaan $25,22\% \times 2,14 = 53,97\%$.

Tabel 3. Jumlah Konsentrasi Massa Unsur yang Dideteksi Pada Sampel dengan Pengujian EDS

Unsur	No. Atom	Net counts	Mass concentration (%)	Norm. Mass concentration (%)	Norm. Atomic concentration (%)	1σ rel. uncertainty /%
Carbon	6	9588	42,02	40,86	54,07	2,10
Oksigen	7	10338	30,85	30,00	29,80	1,86
Silicon	14	22978	25,94	25,22	14,27	5,45
Aluminium	13	2624	2,22	2,16	1,27	6,31
Titanium	22	503	1,80	1,75	0,58	9,35
Total			102,82	100	100	

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pengujian AAS diketahui bahwa kandungan silika pada daerah penelitian memiliki kadar SiO_2 sebesar 95,78%. Kadar SiO_2 ini tidak memenuhi batas minimal kandungan bahan baku panel surya dengan kadar SiO_2 yang dianjurkan sebesar 99,7%. Ambang batas untuk unsur lainnya juga lebih tinggi dari ketentuan, antara lain Titanium Dioksida yang cukup tinggi yaitu sebesar 13.700 ppm sedangkan yang disyaratkan tidak lebih dari 140ppm, kandungan Aluminium Oksida pada sampel sebesar 8.900 ppm sedangkan yang disyaratkan tidak lebih dari 500ppm, dan kandungan Besi Dioksida sebesar 17.200 ppm dengan yang disyaratkan tidak lebih dari 85ppm. Namun jika dilihat dari kandungan SiO_2 yang cukup tinggi yaitu sebesar 95,78% pada sampel, maka kemungkinan pemanfaatan pasir silika pada daerah penelitian perlu dikaji lebih lanjut. Proses pemurnian yang tepat dapat digunakan untuk meningkatkan kandungan silika, menurunkan kadar Titanium Dioksida, Aluminium Oksida, dan Besi Oksida sehingga memenuhi standar bahan baku panel surya.

Hasil pengujian SEM pada perbesaran 500 kali menunjukkan material di daerah penelitian tertransportasi tidak terlalu jauh dari batuan asal, hal ini dibuktikan dengan kebundaran butiran memiliki sudut dan tidak membulat. Pada perbesaran 10.000 kali terlihat kristal tidak terbentuk sempurna, dengan warna pengamatan cenderung gelap yang menandakan material ini memiliki mineral dengan nomor atom rendah. Pada peta sebaran pengujian SEM didapatkan unsur paling banyak yang dideteksi diantaranya Carbon, Oksigen dan Silikon. Namun unsur Carbon kemungkinan berasal dari proses preparasi, bukan mineral alami yang berasal dari sampel.

Unsur silikon (Si) terlihat memiliki puncak tertinggi pada grafik pengujian EDS, hal ini menunjukkan unsur Si merupakan unsur dengan kelimpahan terbanyak pada sampel. Selanjutnya unsur oksigen memiliki puncak tertinggi setelah silikon, menandakan mineral pada area ini berupa mineral oksida. Kehadiran silikon (Si) dan oksigen (O) dalam jumlah yang banyak mengindikasikan mineral yang paling banyak pada daerah ini adalah silika (SiO_2).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada LPPM Universitas Jambi yang telah memberikan dukungan dan dana dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] United Nation, "The Sustainable Development Goals Report," 2025. Accessed: Feb. 28, 2026. [Online]. Available: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/>
- [2] CNN, "Mengintip Potensi Pasir Kuarsa RI yang Bikin Rempang Dilirik Investor," CNN Indonesia. Accessed: Mar. 01, 2026. [Online]. Available: <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20230921121144-92-1001886/mengintip-potensi-pasir-kuarsa-ri-yang-bikin-rempang-dilirik-investor>
- [3] M. Jeanne Rampe, J. Zeth Lombok, V. Arini Tiwow, S. Milian Tomponu Tengker, and J. Bua, "Characterization Of Silica (SiO_2) Based On Beach Sand From Sulawesi And Sumatra As Silicon Carbide (SiC) Base Material," *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, vol. 58, pp. 467–476, 2023.
- [4] A. Türker and O. Acar, "Preconcentration of lead from pekmez and tahini with a novel magnetic composite metal organic framework ($\text{Zr-MOF}@CotFib@Fe_3O_4$) and determination by flame atomic absorption spectrometry," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 149, Jan. 2026, doi: 10.1016/j.jfca.2025.108796.
- [5] A. V. Girão, G. Caputo, and M. C. Ferro, "Application of Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)," *Comprehensive Analytical Chemistry*, vol. 75, pp. 153–168, 2017, doi: 10.1016/bs.coac.2016.10.002.
- [6] N. Al Rizeiqi, M. Jedda, and P. Y. Liew, "Silica Sand as Thermal Energy Storage for Renewable-based Hydrogen and Ammonia Production Plants," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 106, pp. 1111–1116, 2023, doi: 10.3303/CET23106186.
- [7] Diatre Corporation Presentation, "Advanced, High Grade, Low-Cost Silica Project Located Adjacent the World's Largest Silica Mine," 2020. Accessed: Feb. 28, 2026. [Online]. Available: https://minedocs.com/21/DiatremeResourcesLtd_CP_07142021.pdf

- [8] Syafrizal, A. Y. Hidayat, W. M. Hadiana, M. D. Rifaldi, and P. Rasma, "Karakterisasi Pasir Kuarsa Di Daerah Bangka Sebagai Bahan Baku Panel Surya," in *PROSIDING TPT XXXI PERHAPI*, Kendari: Perhapi, Oct. 2022, p. 21.
- [9] M. Campos-M and R. Campos-C, "Applications of quartering method in soils and foods," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 7, no. 1, pp. 35–39, Jan. 2017, doi: 10.9790/9622-0701023539.
- [10] A. F. Lagalante, "Atomic Absorption Spectroscopy: A Tutorial Review*," 1999. [Online]. Available: www.dekker.com
- [11] M. Winey, J. B. Meehl, E. T. O'Toole, and T. H. Giddings, "Conventional Transmission Electron Microscopy," Feb. 01, 2014. doi: 10.1091/mbc.E12-12-0863.
- [12] A. Ali, N. Zhang, and R. M. Santos, "Mineral Characterization Using Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review of the Fundamentals, Advancements, and Research Directions," Dec. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/app132312600.
- [13] M. G. Bishop, "South Sumatra Basin Province, Indonesia: The Lahat/Talang Akar-Cenozoic Total Petroleum System," 2001. Accessed: Feb. 28, 2026. [Online]. Available: <https://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr-99-0050/OF99-50S/OF99-50S.pdf>
- [14] J. G. Viets and R. M. O'leary, "The role of atomic absorption spectrometry in geochemical exploration," 1992.
- [15] A. M. Salama and L. J. Cheng, "The Effects of Titanium Impurities in /P Silicon Solar Cells Description of the Silicon Wafers and Cells under Investigation," 1980.