

ANALISIS GRANULOMETRI DAN KEMATANGAN BATUPASIR FORMASI KOTABAKTI DAN ANGGOTA PADANGTIJI SEBAGAI EVALUASI AWAL POTENSI RESERVOIR MINYAK DAN GAS BUMI

Hidayat Syah Putra^{1,2}, Tika Hapsari^{1,2}, Intan Mutia Anindira Putri², Dina Gunarsih², Fahri Adrian^{1,2}

¹Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik-Universitas Syiah Kuala

²Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik-Universitas Syiah Kuala

e-mail : tikahapsari@usk.ac.id

Abstrak. Formasi Kotabakti dan Anggota Padangtiji yang berkembang di Kecamatan Keumala, Kabupaten Pidie, Provinsi Aceh, merupakan bagian dari Cekungan Sumatra Utara yang berpotensi sebagai batuan reservoir migas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis statistik granulometri dan tingkat kematangan batupasir serta implikasinya terhadap kualitas reservoir. Metode penelitian meliputi pemetaan geologi lapangan, analisis granulometri dengan metode ayakan terhadap enam sampel batupasir, serta analisis petrografi sayatan tipis pada empat sampel batuan. Analisis granulometri dilakukan untuk memperoleh parameter statistik ukuran butir berupa *mean*, *sortasi*, *skewness*, dan *kurtosis*, sedangkan analisis petrografi digunakan untuk menentukan komposisi mineralogi, kandungan matriks, serta klasifikasi batupasir berdasarkan (Pettijohn, 1975) dan (Dunham, 1962). Hasil penelitian menunjukkan bahwa batupasir didominasi oleh ukuran butir pasir sangat halus hingga pasir sedang dengan sortasi baik hingga sangat baik. Namun, beberapa sampel petrografi memiliki kandungan matriks yang tinggi (>15%) seperti *lithic wacke* sehingga diklasifikasikan pada tingkat kematangan tekstural yang rendah (*immature*). Batupasir *lithic wacke* menunjukkan kehadiran fragmen litik dalam jumlah signifikan yang mengindikasikan pengaruh lingkungan tektonik aktif pada saat sedimentasi (Dickinson dan Suczek, 1979), namun implikasinya terhadap pembentukan porositas sekunder memerlukan analisis diagenesis yang lebih mendalam. Secara umum, hasil analisis granulometri batupasir pada STA 2, STA 10, dan STA 18 dikategorikan sebagai *poor reservoir quality*, sedangkan STA 28, STA 37, dan STA 57 memiliki *moderate reservoir quality*. Penelitian ini menegaskan bahwa tingkat kematangan batupasir berperan penting dalam mengontrol kualitas reservoir, namun evaluasi reservoir secara komprehensif memerlukan integrasi dengan data petrofisika.

Kata Kunci: batupasir; granulometri; minyak dan gas bumi; petrografi; reservoir

Abstract. The Kotabakti Formation and the Padangtiji Member, which developed in Keumala Subdistrict, Pidie Regency, Aceh Province, are part of the North Sumatra Basin, with potential as an oil and gas reservoir rock. This study aims to analyze the granulometric statistics and maturity level of sandstone and their implications for reservoir quality. The research methods include field geological mapping, granulometric analysis using the sieving method on six sandstone samples, and thin section petrographic analysis on four rock samples. Granulometric analysis was conducted to obtain statistical grain-size parameters, namely *mean*, *sorting*, *skewness*, and *kurtosis*, while petrographic analysis was used to determine mineralogical composition, matrix content, and sandstone classification based on (Pettijohn, 1975) and (Dunham, 1962). The results show that the sandstone is dominated by very fine to medium sand grain sizes with good to very good sorting. However, several petrographic samples have high matrix content (>15%) such as *lithic wacke*, and therefore classified as having a low textural maturity level (*immature*). The *lithic wacke* sandstone shows a significant amount of lithic fragments, indicating the influence of an active tectonic setting during sedimentation (Dickinson dan Suczek, 1979), however, its implications for secondary porosity formation require more in-depth diagenetic analysis. In general, the granulometry analysis results of the sandstone at STA 2, STA 10, and STA 18 are categorized as *poor reservoir quality*, while STA 28, STA 37, and STA 57 have *moderate reservoir quality*. This study confirms that the maturity level of sandstone plays an important role in controlling reservoir quality, but comprehensive reservoir evaluation requires integration with petrophysical data.

Keywords: sandstone; granulometry; oil and gas; petrography; reservoir

PENDAHULUAN

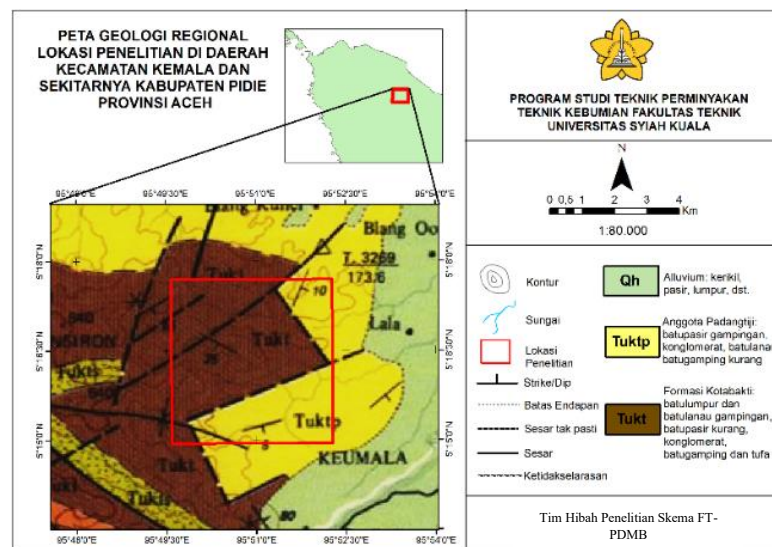
Kebutuhan energi yang terus meningkat mendorong upaya eksplorasi dan eksploitasi sumber daya minyak dan gas bumi (migas) secara lebih intensif, terutama di wilayah yang memiliki potensi geologi yang menjanjikan (Tissot dan Welte, 1984). Salah satu aspek penting dalam menentukan potensi suatu wilayah

sebagai reservoir migas adalah karakteristik batupasir, didapatkan dari metode granulometri dan tingkat kematangan batupasir. Parameter-parameter ini berperan signifikan dalam menentukan porositas dan permeabilitas batuan, yang menjadi indikator utama dalam menilai kemampuan batuan untuk menyimpan dan mengalirkan fluida hidrokarbon dalam suatu batuan reservoir (Boggs, 2006). Oleh karenanya, batuan reservoir sangat penting dianalisis dalam dunia migas. Salah satu penghasil migas terbesar di Indonesia adalah provinsi Aceh yang berada pada lapangan Arun, Aceh Utara. Informasi dan penelitian terkait ilmu kebumihian terhadap sumber daya migas sudah banyak dilakukan di sekitar lapangan Arun (Aceh Utara – Aceh Tamiang), namun saat ini para ahli sedang menjajaki sisi bagian wilayah kerja Bireuen – Sigli yang mana masih banyak lapangan produksi minyak secara tradisional yang dilakukan masyarakat di daerah Kabupaten Bireuen. Berdasarkan hal itu, area sekitar Kabupaten Pidie khususnya kecamatan Keumala yang masih masuk sebagai Cekungan Sumatra Utara diduga memiliki potensi batuan sebagai reservoir migas juga.

Secara geografis, Kecamatan Keumala terletak pada koordinat 5°45'40" Lintang Utara dan 95°51'30" Bujur Timur, dengan luas wilayah mencapai 49,30 km². Wilayah ini berbatasan dengan Kecamatan Titeue di sebelah utara, Kecamatan Tiro di sebelah timur, Kecamatan Tangse di sebelah selatan, dan Pegunungan Jantho (Kabupaten Aceh Besar) di sebelah barat. Keberadaan wilayah ini pada zona transisi antara dataran dan pegunungan menjadikannya menarik untuk diteliti, karena memungkinkan berkembangnya berbagai jenis batuan serta struktur geologi yang kompleks. Formasi Kotabakti dan Anggota Padang Tiji yang terdapat di Kecamatan Keumala dan sekitarnya, Kabupaten Pidie, Provinsi Aceh, merupakan bagian dari Cekungan Sumatra Utara yang telah dikenal memiliki sejarah geologi yang kompleks dan memiliki potensi minyak dan gas bumi (Satyana dan Purwaningsih, 2003) seperti terlihat pada Gambar 1. Namun demikian, informasi detail mengenai kualitas reservoir di wilayah ini, terutama yang terkait dengan tekstur dan kematangan batupasir, masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan kajian mendalam mengenai karakteristik fisik dan mineralogi batupasir dari kedua satuan batuan ini guna menilai potensinya sebagai batuan reservoir.

Cekungan Sumatera Utara secara tektonik regional termasuk *back-arc basin* yang terdiri dari sedimen Tersier yang diendapkan di atas batuan dasar metasedimen Pra-Tersier (Davies, 1984). Menurut Davies (1984), pembentukan awal cekungan karena adanya rezim ekstensional sehingga menghasilkan cekungan tarik – pisah (*pull-apart basin*). Cekungan ini pada awalnya menyatu dengan Cekungan Aceh Barat dan Cekungan Sumatra Barat, namun kini dipisahkan oleh Pegunungan Barisan kemudian struktur – strukturnya hancur karena proses pengangkatan (*uplift*) pada Pliosen hingga Plistosen. Sedimen Cekungan Sumatera Utara diendapkan secara tidak selaras terhadap *basement* yang tersingkap di bagian selatan dan barat. Sedimen Tersier mulai menipis diatas Paparan Malaka dan Batuan Dasar Pra-Tersier muncuk di atas muka laut di Semenanjung Malaya (Barber dkk., 2005). Struktur sesar dan lipatan pada cekungan ini berarah barat laut – tenggara. Mayoritas lipatan pada cekungan ini sejajar dengan Pegunungan Barisan yang mana disebabkan oleh pergerakan dekstral Sesar *Strike-slip* Lhokseumawe (Bennet dkk., 1981). Perkembangan tektonik di cekungan ini memiliki beberapa *horst* dan *graben* mempunyai tren timur laut – barat daya akibat aktivitas rotasi Sumatra pada umur Eosen (Riadhy dan Gutomo, 1993). Selanjutnya pada Miosen Tengah sistem *horst* dan *graben* aktif kembali akibat dari aktivitas *uplift* yang terjadi di Laut Andaman (Ryacudu dkk., 1992). Pergerakan rotasi Sumatra terus menerus pada Akhir Miosen Tengah hingga sekarang dengan arah yang sama menyebabkan terjadi tektonik kompresi dan fase sedimentasi regresif di cekungan ini. Tektonik kompresi mengakibatkan perlipatan pada Plio – Pleistosen (Riadhy dan Gutomo, 1993).

Berdasarkan hasil survei awal dan studi literatur, diketahui bahwa daerah penelitian ini disusun oleh satuan batuan dari Formasi Kota Bakti (Tukt) dan Anggota Padangtiji (Tuktp), yang keduanya merupakan bagian dari kelompok batuan sedimen berumur Miosen. Kedua satuan batuan ini memperlihatkan singkapan yang baik di permukaan dan tersusun atas litologi dominan berupa batupasir, batulanau, hingga batupasir karbonatan. Keberadaan batupasir yang tersebar luas dan mudah dikenali menjadikan satuan ini menarik untuk dikaji lebih lanjut melalui pendekatan analisis sedimen, khususnya analisis granulometri.

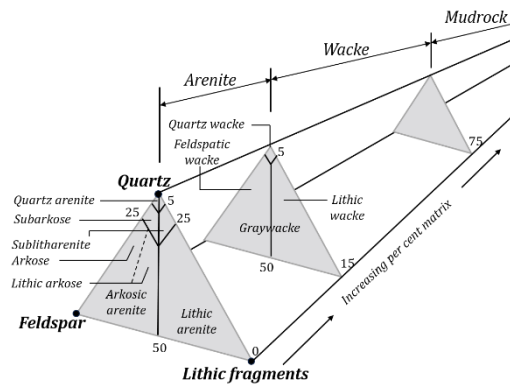


Gambar 1. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Bennet dkk., 1981).

Analisis granulometri memberikan gambaran mengenai distribusi ukuran butir batupasir, yang sangat mempengaruhi kapasitas penyimpanan (porositas) dan keterhubungan antar pori (permeabilitas) (Blatt dkk., 1980). Melalui analisis ini, dapat diperoleh informasi mengenai karakteristik fisik sedimen, seperti ukuran, sortasi, dan distribusinya, yang berkaitan erat dengan proses transportasi dan pengendapan. Sementara itu, tingkat kematangan tekstural dan mineralogi mencerminkan sejauh mana batuan tersebut mengalami transportasi dan perubahan diagenetik, yang juga memengaruhi kualitas reservoir (Tucker, 2001). Melalui pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan kontribusi dalam mengidentifikasi zona-zona prospektif untuk pengembangan sumber daya migas di wilayah penelitian. Penelitian ini berfokus memecahkan beberapa rumusan masalah seperti kondisi geologi di daerah penelitian meliputi persebaran litologi, menganalisis distribusi ukuran butir batupasir pada area penelitian dengan metode ayakan butiran, tingkat kematangan batupasir, dan potensinya sebagai reservoir migas.

Menurut Pettijohn (1975) seperti yang dikutip dalam Suwarno (2008), batuan sedimen terbentuk dari pengendapan material yang berasal dari proses pelapukan batuan yang telah ada sebelumnya, aktivitas kimia, atau organisme. Material ini secara bertahap terendapkan di permukaan bumi dan mengalami proses litifikasi. Tucker (1991) menyatakan bahwa sekitar 70% batuan yang ada di permukaan bumi adalah batuan sedimen, namun volume batuan sedimen ini hanya menyumbang sekitar 2% dari total volume kerak bumi. Hal ini menunjukkan bahwa batuan sedimen tersebar luas di permukaan bumi namun memiliki ketebalan yang relatif tipis. Secara komposisi mineral seperti kuarsa, feldspar, fragmen litik dan kandungan matriks (*clay/silt*) dapat memberikan petunjuk tentang asal dari batupasir dan tingkat kematangannya dan dikelompokkan beberapa jenis batupasir. Adapun klasifikasi batupasir menurut Pettijohn (1975) seperti pada Gambar 2.

Pettijohn (1975) menjelaskan bahwa tekstur batuan sedimen terbagi atas 2 tekstur yaitu tekstur klastik primer dan sekunder. Tekstur klastik primer mengacu pada karakteristik butiran yang terbentuk sebelum terjadi pengendapan, seperti ukuran butir, bentuk butir, dan susunan butiran. Sementara itu, tekstur klastik sekunder merujuk pada perubahan yang terjadi pada butiran setelah proses pengendapan terjadi, seperti rekristalisasi, sementasi, atau pengaruh terhadap diagenesis lainnya. Pettijohn (1975) juga menekankan pentingnya tekstur batuan sedimen klastik dalam memahami sejarah pengendapan dan lingkungan pengendapannya. Para ahli geologi lainnya seperti Folk (1968) sebelumnya juga mengklasifikasikan batuan sedimen untuk deskripsi karakteristiknya berdasarkan lima komponen batupasir yaitu ukuran butir, sementasi kimiawi, kematangan tekstural, butiran aksesori (fragmen litik, mineral berat, *mica*, *glauconite*, dan lainnya), dan kelompok batupasir berdasarkan asalnya. Pendekatan ini membantu dalam mengidentifikasi sumber material, proses transportasi material, dan kondisi pengendapan yang terjadi.



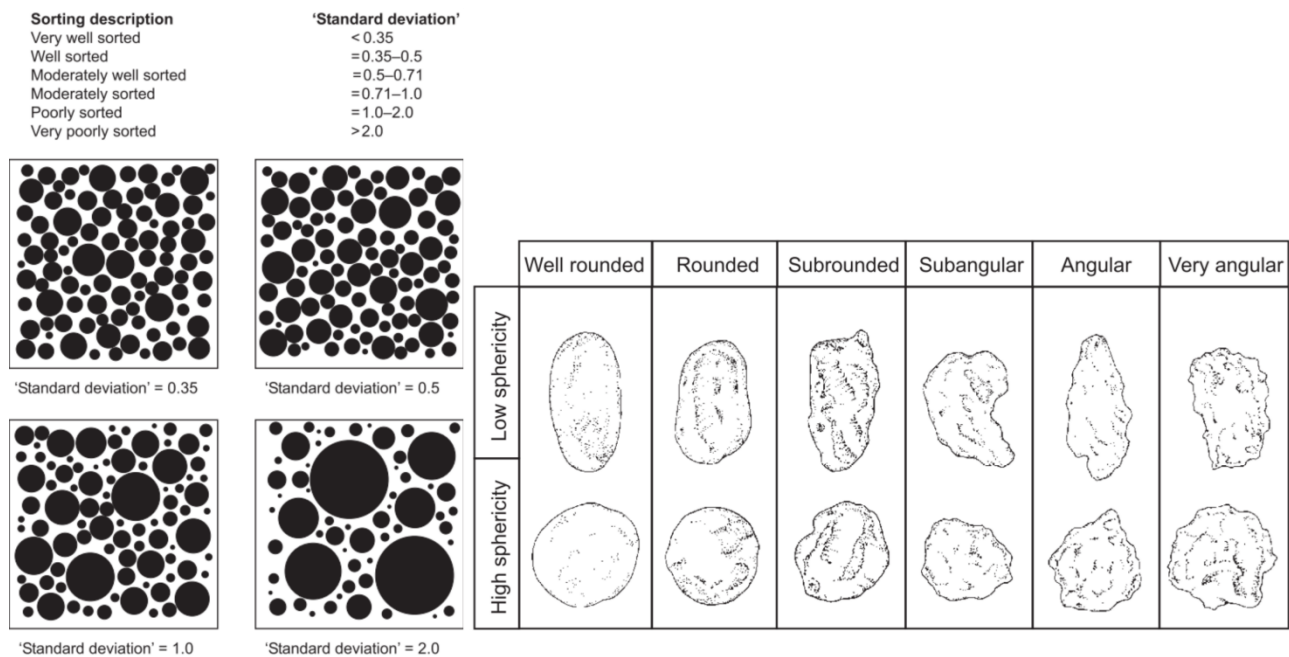
Gambar 2. Klafifikasi batupasir berdasarkan Pettijohn (1975).

Ukuran butiran perlu dideskripsikan guna mengetahui jarak transportasi dan energi pengendapan saat proses pengendapan terjadi. Selain itu, resisten butiran juga dapat dilihat dari ukurannya untuk determinasi kekuatan mekanik butiran dari berbagai proses destruktif. Wentworth (1922) menyusun standar skala butir untuk deskripsi sediment dalam satuan milimeter yang berlaku untuk sedimen klastik. Dasar klasifikasinya dari ukuran diameter butir dalam skala logaritmik dari *clay* hingga *boulder*. Adapun klasifikasi ukuran butir berdasarkan skala Wentworth (1922) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran butir berdasarkan skala Wentworth (1922)

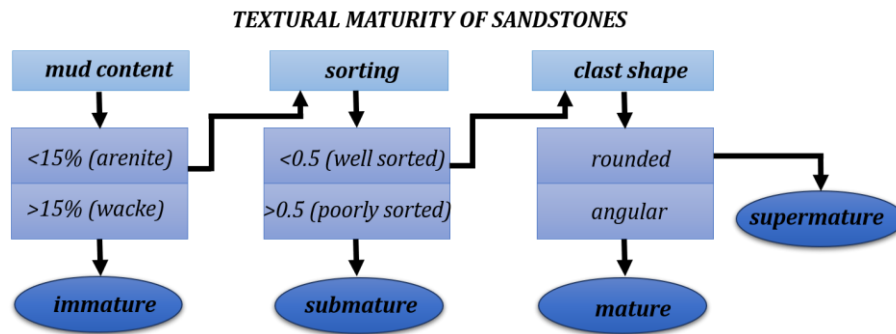
Ukuran Partikel Sedimen (mm)	Nama Partikel	Nama Sedimen	Nama Batuan
>256	<i>Boulder</i> (bongkah)	<i>Gravel</i>	Konglomerat atau Breksi
64 – 256	<i>Cobble</i> (berangkal)		
4 – 64	<i>Pebble</i> (kerakal)		
2 – 4	<i>Granule</i> (kerikil)	<i>Sand</i>	Batupasir
0.0625 – 2	<i>Sand</i> (pasir)		
0.0039 – 0.0625	<i>Silt</i> (lanau)		
< 0.0039	<i>Clay</i> (lempung)	<i>Mud</i>	Batupasir atau Batulumpur

Saat proses pengendapan sedimen yang melalui proses penguraian dan penyaringan material saat batuan mengalami pelapukan dan transportasi dapat menghasilkan tekstur butiran yaitu sortasi dan kebundaran. Saat material biasanya pasir mengalami transportasi yang diangkut oleh air dan angin biasanya cenderung partikel tersebut disortir ke dalam ukuran yang berbeda. Derajat penyortiran ini bergantung pada perilaku pengendapan partikel berdasarkan ukuran dan densitas melalui arus yang mengangkutnya. Apabila partikel lebih berat maka partikel tidak ikut terbawa lebih jauh dibandingkan partikel halus yang terbawa karena lebih ringan. Hal ini dapat mendefinisikan energi pengendapan. Sortasi ini terbagi atas baik dan buruk dengan contohnya seperti pada Gambar 3 bagian bawah yang mana partikel kurang teratur dengan ukuran butir yang bervariasi dan bercampur aduk dikarenakan terendapkan dalam kondisi yang sangat cepat seperti longsor atau banjir bandang. Selain itu, ada hal penting lainnya selama transportasi yaitu tingkat kebundaran. Selama transportasi, butiran saling bertabrakan sehingga sudut – sudut partikel dapat terlepas atau menghalus sehingga dapat menunjukkan proses dan jarak transportasi sedimen. Semakin bundar butirannya maka semakin jauh transportasi partikel dari sumbernya (Nichols, 2009). Adapun bentuk dari tingkat kebundaran partikel dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sortasi partikel berdasarkan analisis granulometri (kiri) dan bentuk butiran (kanan) (Nichols, 2009).

Batupasir memiliki tingkat kematangan yang beragam yang mana butiran penyusunnya tidak terdiri satu tipe mineral, namun juga memiliki penyusun butiran lainnya. Konsep kematangan berdasarkan komposisi maupun tekstur. Hal ini didapatkan dari analisis petrografi dengan melihat komposisi kuarsa, feldspar, fragmen litik, dan kandungan matriks. Karena kuarsa material penyusun dominan di Bumi karena resistansinya tinggi atau stabil. Oleh karenanya, tingkat kematangan yang paling tinggi secara tekstural dan komposisional terdapat pada batupasir kuarsa. Kematangan batupasir juga diukur berdasarkan parameter kandungan matriks yang merefleksikan perbedaan antara kondisi batuan saat ini dan batuan induknya. Kematangan tekstur batupasir ditentukan melalui sortasi, kandungan matriks, *skewness*, dan *kurtosis* dari ukuran butiran sedimen. Folk (1951) mengklasifikasikan kematangan tekstur butir batupasir menjadi empat tahap kematangan yaitu *immature*, *submature*, *mature*, dan *supermature*. Setelah Folk (1951), Nichols (2009) menyederhanakan diagram tingkat kematangan batupasir dengan mengadopsi dan merujuk pada tingkat kematangan tekstural oleh Folk (1951) seperti terlihat pada Gambar 4. Nichols (2009) cenderung menjelaskan bagaimana interpretasi proses tingkat kematangan batupasir digabungkan dengan konsep Pettijohn (1975) sehingga dapat dikaitkan dengan proses transportasi dan pengendapan.

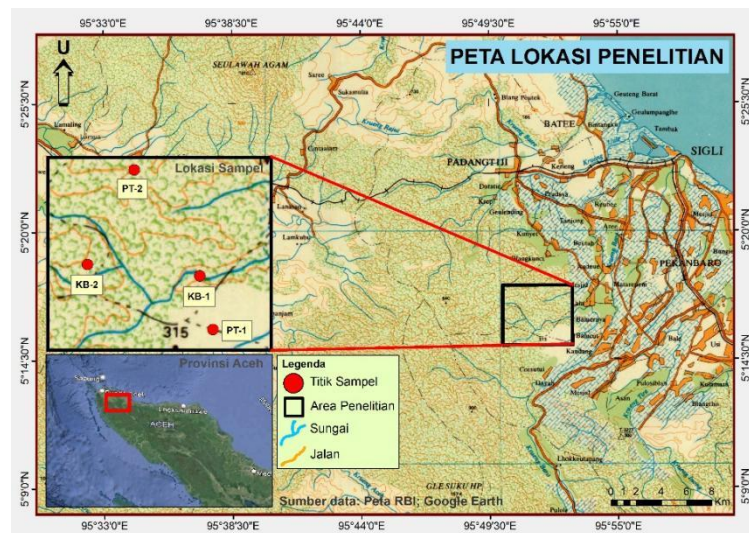


Gambar 4. Tingkat kematangan batupasir (Nichols (2009) modifikasi dari Folk (1951) dan Pettijohn (1975).

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Secara geografis, lokasi penelitian berada pada koordinat 5°14'56.69" - 5°17'41.60" N, 95° 49' 34.90"- 95°52'16.28" E. Lokasi penelitian berada di Kecamatan Keumala, Kabupaten Pidie, Aceh. Kabupaten Pidie berjarak ±153km dari Kota Banda Aceh yang merupakan Ibukota Provinsi Aceh. Area penelitian dengan luas wilayah penelitian 25 km². Lokasi penelitian berjarak 30 menit menggunakan kendaraan roda 2 dari pusat pemerintahan Kabupaten Pidie. Area penelitian menelusuri sungai dan perbukitan dengan vegetasi sedang – lebat untuk menemukan singkapan batuan dalam upaya pengambilan sampel batuan untuk di analisis petrografi dan granulometri.



Gambar 5. Peta lokasi penelitian.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang dibutuhkan selama pengumpulan data dikelompokkan berdasarkan pemetaan geologi lapangan dan analisis laboratorium (petrografi dan granulometri). Selama pengumpulan data di lapangan alat yang dibutuhkan antara lain peta geologi, peta topografi, kompas geologi, palu geologi, GPS, komperator ukuran butir, lup geologi, plastik sampel, HCl, kamera, buku catatan lapangan, dan alat tulis. Sementara itu, alat dan bahan yang dibutuhkan selama analisis sampel batuan antara lain mikroskop polarisasi Nikon, ayakan (mesh) dengan ukuran 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, dan *pan*, timbangan, cawan atau tempat sampel, dan *oven*.

Tahapan penggunaan alat dan analisis dilakukan di Laboratorium Geologi Dasar Program Studi Teknik Geologi USK.

Tahapan Penelitian

Tahap awal merupakan proses penting dalam setiap kegiatan penelitian yaitu penentuan topik dan daerah penelitian, studi literatur mengenai area yang akan diteliti meliputi geografis, tektonik regional, stratigrafi, dan geologi regional, survei awal, dan perencanaan lintasan geologi. Selanjutnya, tahapan pengumpulan data melalui observasi langsung singkapan batuan serta melakukan deskripsi batuan. Data yang dikumpulkan antara lain deskripsi batuan, struktur geologi, pengambilan sampel batuan, serta pencatatan detail kondisi geologi termasuk kondisi cuaca yang dicatat pada buku catatan lapangan (Compton, 1985). Observasi litologi mencakup pengamatan dari jarak jauh dan dekat terhadap singkapan, serta mendeskripsi karakteristik fisik batuan secara megaskopis, seperti warna segar dan warna lapuk, ukuran butir, sortasi, kemas, reaksi terhadap HCl, keberadaan fosil dalam batuan, dan penamaan batuan (Tucker, 2003). Selain itu, pengamatan juga melibatkan pengukuran strike dan dip, pengambilan dokumentasi berupa foto singkapan, serta pengukuran *azimuth* dan kemiringan singkapan, serta *plotting* koordinat singkapan. Untuk *plotting* koordinat, beberapa aplikasi seperti *Handy GPS* dan *Avenza Map* digunakan (Rowan dan Mars, 2003).

Pengambilan sampel data petrografi sebanyak 4 sampel batuan pada Formasi Kotabakti dan Anggota Padangtiji pada tipe batupasir dan pengambilan sampel batupasir untuk analisis granulometri sebanyak 6 titik yang terlampir pada Gambar 17. Empat sampel data petrografi diambil pada singkapan dengan lokasi STA 22, STA 28, STA 37, dan STA 3 dengan kode sampel secara berurutan KB-1 (Kotabakti-1), KB-2 (Kotabakti-2), PT-1 (Padangtiji-1), PT-2 (Padangtiji-2). Adapun lokasi sampel granulometri pada singkapan yaitu STA 2, STA 28, STA 57, STA 10, STA 18, dan STA 37. Pada STA 37 dan STA 28 merupakan lokasi *overlap* untuk data petrografi dan granulometri. Tahap pengambilan sampel batupasir dilakukan di lapangan dengan cara mengambil sampel dari singkapan menggunakan palu geologi. Hal yang terpenting untuk diperhatikan adalah kekompakan dan kesegaran batuan saat pengambilan sampel, agar sampel yang diambil dapat dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis petrografi dan granulometri, yang mana dimulai dengan mengambil sampel batupasir seberat 500 gram per sampel untuk granulometri, lalu dimasukkan ke dalam wadah sampel plastik dan diikat dengan karet. Sementara itu, sampel petrografi dalam bentuk balok batuan kemudian dibentuk menjadi sayatan tipis yang kemudian diamati secara mikroskopis.

Setelah pengumpulan data, selanjutnya dilakukan pengolahan data yang siap dianalisis. Sayatan tipis (*thin section*) dari empat sampel petrografi kemudian diamati secara mikroskopis untuk menentukan area yang akan dihitung (*point counting*) komposisi material penyusun batuan menggunakan *software JmicroVision* dalam persentase. Data determinasi mineral kuarsa, feldspar, fragmen litik, dan kandungan matriks berupa *clay* atau *silt* dalam persentase kemudian *diplot* kedalam diagram Q-F-L diagram oleh Pettijohn (1975) dalam Nichols (2009) dan diagram klasifikasi jenis batupasir oleh Pettijohn (1975). Selanjutnya, pengolahan sampel data granulometri dimulai dari pengambilan sampel *consolidated* yang kemudian didisagregasi sehingga menjadi material lepas, selanjutnya sampel dikeringkan dengan *oven*, kemudian diayak secara manual dengan metode ayakan berlubang di laboratorium untuk memisahkan ukuran tertentu mulai dari terbesar hingga terkecil kemudian ditimbang berat partikel menggunakan timbangan analitik untuk dihitung persentase kumulatif tiap sampel. Metode ayakan digunakan untuk memisahkan partikel-partikel berdasarkan ukuran yang berbeda sehingga dapat diketahui distribusi ukuran partikel dalam suatu sampel (ASTM D422-63, 2007).

Tahap analisis dan interpretasi data yang telah diolah dimulai dengan menganalisis tingkat kematangan sampel batuan petrografi secara mineralogi. Analisis petrografi ini menitikberatkan pada kandungan matriks yang biasanya mengandung partikel lumpur (*mud*). Berdasarkan penentuan tingkat kematangan batupasir oleh Nichols (2009), langkah awalnya adalah *mud content* dengan batasan kandungannya 15%. Selanjutnya, analisis granulometri dapat menghasilkan distribusi ukuran butir dan tingkat kematangan secara tekstural pada batupasir. Hasil berat partikel ukuran butir kemudian dihitung persentase kumulatif untuk divisualisasikan menjadi grafik dalam kurva distribusi butiran secara logaritmik. Grafik

tersebut kemudian dilakukan analisis data granulometri menggunakan pendekatan perhitungan statistik yaitu parameter nilai rata – rata (*means*) ukuran butir oleh Folk (1968), sortasi oleh Friedman dan Sanders (1978), *skewness* oleh Folk (1968)), dan kurtosis oleh Folk dan Ward (1957). Persamaan perhitungan statistik granulometri secara berurutan dapat dilihat sebagai berikut.

$$\text{Mean: } \frac{\varphi_{16} + (2 \times \varphi_{50}) + \varphi_{84}}{3} \quad (1)$$

$$\text{Sortasi: } \frac{\varphi_{84} + \varphi_{16}}{2} + \frac{\varphi_{95} + \varphi_5}{6,6} \quad (2)$$

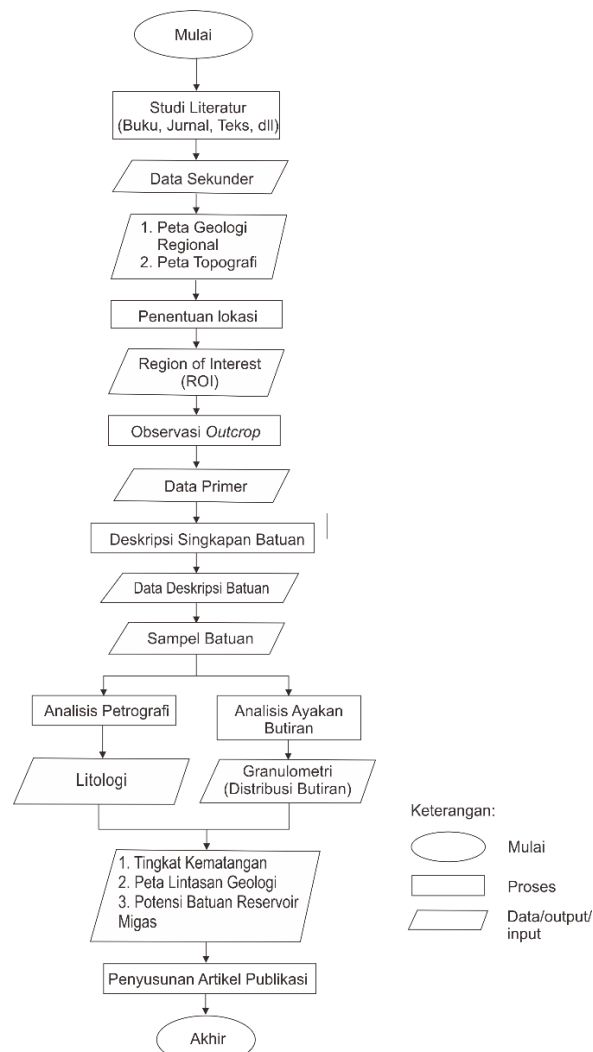
$$\text{Skewness: } \frac{(\varphi_{16} + \varphi_{84}) - (2 \times \varphi_{50})}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_5 + \varphi_{95} - (2 \times \varphi_{50})}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)} \quad (3)$$

$$\text{Kurtosis: } \frac{\varphi_{95} + \varphi_5}{2(\varphi_{75} - \varphi_{25})} \quad (4)$$

dengan φ : phi atau persentil ukuran butir.

Perhitungan dan analisis juga menggunakan beberapa piranti lunak seperti *Microsoft Office*, *ArcGIS* untuk pembuatan peta lintasan geologi, *Corel Draw* untuk pembuatan simbol litologi, dan *Google Earth* untuk menandakan koordinat. Keseluruhan tahapan penelitian disimpulkan dalam *flowchart* pada Gambar 5.

Kemudian, tahapan interpretasi didasarkan pada nilai referensi tiap parameter statistik yang dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 6. Flow chart penelitian.

Tabel 2. Nilai referensi statistik granulometri batupasir.

Parameter	Keterangan	Parameter	Keterangan
Nilai Sortasi (Friedman dan Sanders, 1978)		Nilai Kurtosis (Folk dan Ward, 1957)	
<0,35	Sangat Baik	<0,67	<i>Very Platykurtic</i>
0,35 – 0,50	Baik	0,67 – 0,90	<i>Platykurtic</i>
0,50 – 1,00	Sedang	0,90 – 1,11	<i>Mesokurtic</i>
1,00 – 2,00	Buruk	1,11 – 1,50	<i>Leptokurtic</i>
2,00 – 4,00	Sangat Buruk	1,50 – 3,00	<i>Very Leptokurtic</i>
> 4,00	Sangat Buruk Sekali	> 3,00	<i>Extremely Leptokurtic</i>
Nilai Skewness (Folk, 1968)			
-0,7	Sangat Negatif		
-0,2	Negatif		
-0,10 – 0,10	Mendekat Simetris		
0,10 – 0,30	Positif		
0,30 – 1,00	Sangat Positif		

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pemetaan geologi lapangan dari deskripsi batuan secara langsung dikelompokkan ke dalam 4 satuan batuan. Satuan batuan dari pengamatan langsung antara lain Satuan Batulanau Karbonatan Formasi Kotabakti, Satuan Batupasir Formasi Kotabakti, dan Satuan Batupasir Karbonatan Anggota Padangtiji, Satuan Batulanau Anggota Padangtiji. Jumlah tiap data sampel yang diambil di lapangan terletak pada Formasi Kotabakti dan Anggota Padangtiji sebanyak 6 sampel.

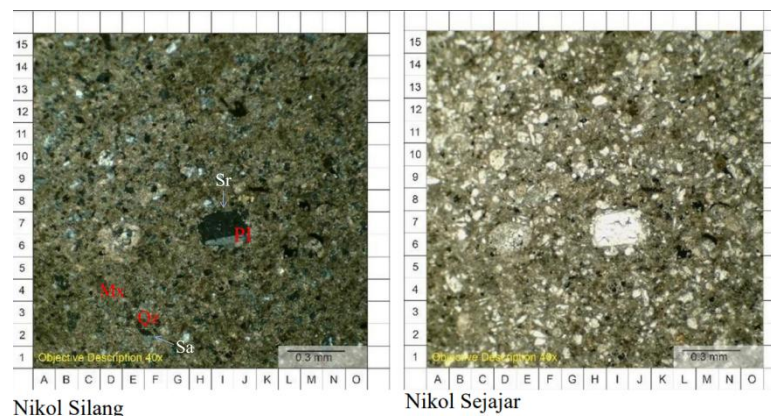
Berdasarkan jumlah data sampel yang diambil di lapangan ini kemudian di plot pada peta lintasan geologi menunjukkan lokasi titik koordinat sampel yang diambil dengan peta dasar topografi (DEMNAS). Peta lintasan geologi dengan informasi titik koordinat sampel dapat dilihat pada Gambar 17.

Satuan Batulanau Karbonatan Formasi Kotabakti

Satuan ini mencakup 7% dari total area penelitian dengan karakteristik secara megaskopis antara lain warna coklat kehitaman yang segar, ukuran butir lanau, sortasi sangat baik, kemas tertutup, dan bereaksi dengan larutan HCl. Berdasarkan hasil analisis petrografi dengan kode sampel KB-1 pada Gambar 8 menggunakan mikroskop polarisasi perbesaran 40x, teridentifikasi komposisi batuan meliputi kuarsa (Qz) sebesar 18,68%, mineral feldspar (Pl) sebesar 3,61%, dan kandungan matriks (Mx) sebesar 77,71% berupa matriks karbonat. Matriks tampak berwarna putih dengan ukuran butir antara 0,004 mm – 0,031 mm. Persentase komposisi sampel ini kemudian diplot dalam diagram Q-F-L oleh Pettijohn (1975) maka dapat dikategorikan sebagai *mudrock* dikarenakan kandungan matriks yang lebih besar dari 75%. Batuan ini juga mengandung material karbonat, maka lebih tepat dikategorikan sebagai *calcareous mudrock*. Kenampakan bentuk butiran pada sampel KB-1 berdasarkan (Nichols, 2009) terlihat bentuk *Sub-rounded* (Sr) pada mineral feldspar dan bentuk *Sub-angular* (Sa) pada mineral kuarsa.



Gambar 7. Singkapan batuan Satuan Batulanau Karbonatan Formasi Kotabakti



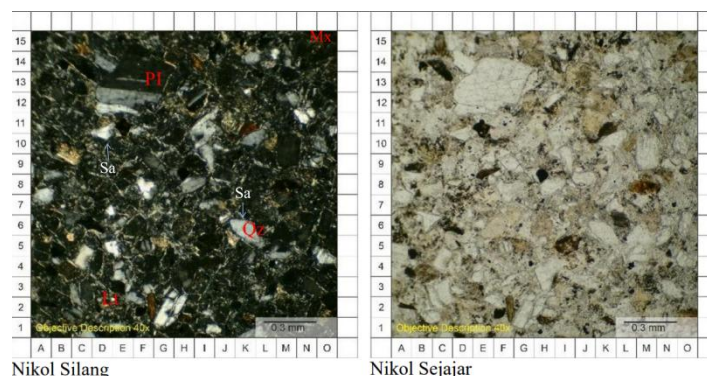
Gambar 8. Kenampakan sayatan tipis sampel KB-1.

Satuan Batupasir Formasi Kotabakti

Satuan ini mencakup 62% dari total area penelitian dengan karakteristik secara megaskopis antara lain warna coklat keabu – abuan dalam kondisi segar, ukuran butir pasir sedang, didominasi fraksi pasir dan beberapa butiran yang lebih besar, sortasi sedang hingga baik, kemas tertutup, dan tidak bereaksi terhadap larutan HCl. Berdasarkan hasil analisis petrografi dengan kode sampel KB-2 pada Gambar 10 menggunakan mikroskop polarisasi perbesaran 40x, komposisi batupasir meliputi mineral kuarsa (Qz) sebesar 20,98%, mineral feldspar (Pl) sebesar 14,43%, fragmen litik (Lt) sebesar 32,62%, dan kandungan matriks (Mx) sebesar 31,97% berukuran butir halus. Persentase komposisi sampel ini kemudian diplot dalam diagram Q-F-L oleh Pettijohn (1975), maka dapat dikategorikan sebagai *lithic wacke* dikarenakan kandungan matriks berada antara 15% - 75% tergolong jenis batupasir *wacke*. Kenampakan bentuk butiran pada sampel KB-2 berdasarkan (Nichols, 2009) terlihat bentuk *Sub-angular* (Sa) pada mineral kuarsa dan feldspar.



Gambar 9. Singkapan batuan Satuan Batupasir Formasi Kotabakti.



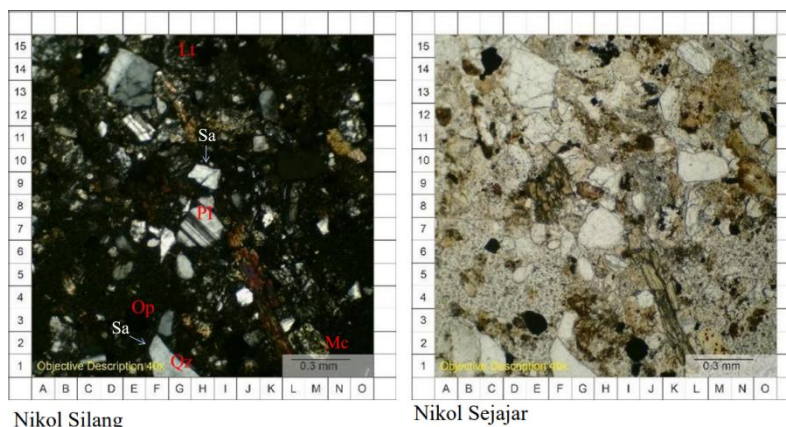
Gambar 10. Kenampakan sayatan tipis sampel KB-2.

Satuan Batupasir Karbonatan Anggota Padangtiji

Satuan ini mencakup 25% dari total area penelitian dengan karakteristik secara megaskopis antara lain warna kuning hingga kecoklatan dalam kondisi segar, ukuran butir pasir sedang, sortasi sedang hingga baik, kemas terbuka, dan bereaksi dengan larutan HCl. Berdasarkan hasil analisis petrografi dengan kode sampel PT-1 pada Gambar 12 menggunakan mikroskop polarisasi perbesaran 40x, teridentifikasi komposisi penyusun batuanannya meliputi mineral kuarsa (Qz) sebesar 13,36%, mineral feldspar (Pl) sebesar 10,41%, fragmen litik (Lt) sebesar 31,97%, mineral opak (Op) sebesar 4,59% dan micrite (Mc) sebesar 39,67%. Persentase komposisi sampel ini kemudian diplot dalam diagram Q-F-L oleh Pettijohn (1975), maka dapat dikategorikan sebagai *lithic wacke* dikarenakan kandungan matriks (*micrite*) berada antara 15% - 75% tergolong jenis batupasir *wacke*. Kenampakan bentuk butiran pada sampel PT-1 berdasarkan (Nichols, 2009) terlihat bentuk *Sub-angular* (Sa) pada mineral kuarsa dan feldspar.



Gambar 11. Singkapan batuan Satuan Batupasir Karbonatan Anggota Padangtiji sampel PT-1.

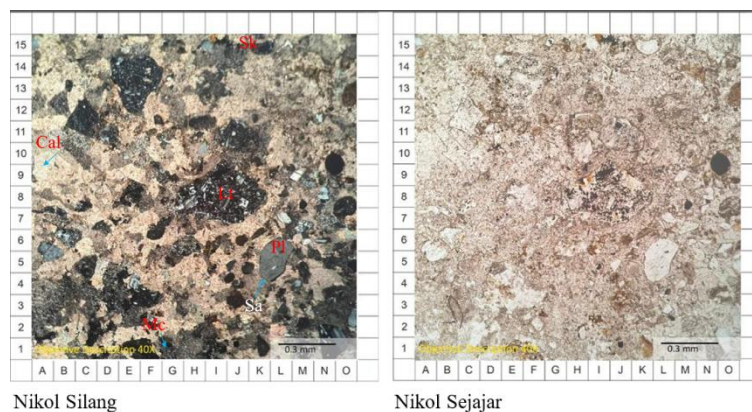


Gambar 12. Kenampakan sayatan tipis sampel PT-1.

Pada satuan batuan ini ditemukan suatu nodul berupa gamping yang memiliki ciri antara lain warna coklat muda keabu – abuan pada kondisi segar, tekstur butir sedang hingga halus, sortasi baik, kemas tertutup, dan bereaksi dengan larutan HCl. Pada sampel batuan ini dilakukan analisis petrografi dengan kode sampel PT-2 pada Gambar 14 menggunakan mikroskop polarisasi perbesaran 40x, teridentifikasi komposisi penyusun batuanannya meliputi mineral kalsit (Cal) sebesar 36,33%, micrite (*microcrystalline calcite*) (Mc) sebesar 26,67%, skeletal (Sk) sebesar 2,33%, mineral feldspar (Pl) sebesar 16,67%, dan fragmen litik (Lt) sebesar 18%. Berdasarkan klasifikasi batuan karbonat oleh Dunham (1962) sampel batuan ini dapat dikategorikan sebagai *packstone* dikarenakan batuan didukung oleh butiran dengan masih mengandung matriks *micrite*. Kenampakan bentuk butiran pada sampel PT-2 berdasarkan (Nichols, 2009) terlihat bentuk *Sub-angular* (Sa) pada mineral feldspar.



Gambar 13. Singkapan batuan Satuan Batupasir Karbonatan Anggota Padangtiji sampel PT-2.



Gambar 14. Kenampakan sayatan tipis sampel PT-2.

Satuan Batulanau Anggota Padangtiji

Satuan ini mencakup 6% dari total area penelitian dengan karakteristik secara megaskopis antara lain warna abu – abu gelap hingga coklat kehitaman, ukuran butir lanau, sortasi sangat baik, kemas tertutup, dan tidak bereaksi dengan larutan HCl. Pada satuan batuan ini tidak diambil sampel analisis petrografi. Kenampakan batulanau pada satuan batuan ini dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Kenampakan litologi batulanau di lapangan.

Analisis petrografi dilakukan dengan melakukan *point counting* terhadap komposisi batuan dilihat dari sayatan tipis terhadap 4 sampel yang merepresentasikan area penelitian. Persentase komposisi penyusun batuan ini nantinya digunakan dalam menganalisis tingkat kematangan batupasir secara mineralogi.

Batuan *calcareous mudrock* (Pettijohn, 1975) pada sampel KB-1 terbentuk pada kondisi energi pengendapan yang sangat rendah memungkinkan pengendapan lumpur karbonat bersamaan dengan material silisklastik halus (Boggs, 2006; Nichols, 2009). Pada hakikatnya, sortasi pada lingkungan energi pengendapan rendah relatif tidak berkembang. Namun, karena pengendapan *mudrock* dalam lingkungan arus tenang, butir kasar tidak dapat tersortasi dengan baik dikarenakan pada butir halus (*silt*) mengalami pengendapan secara suspensi. Adanya pengaruh karbonat diinterpretasikan batuan terendapkan di lingkungan laut. Berdasarkan komposisi penyusunnya fraksi pasir berupa kuarsa dan feldspar hanya berperan sebagai komponen minor dan tidak membentuk kerangka batuan (*grain-supported framework*) yang efektif. Akibatnya, batuan tidak didominasi oleh pasir, melainkan oleh matriks halus (lumpur/lempung atau mikrit). Secara mineralogi, dalam kondisi seperti ini mencerminkan tingkat kematangan sedimen yang sangat rendah, di mana material detritus belum mengalami transportasi dan *reworking* yang cukup. Hal ini juga mengindikasikan adanya pengendapan cepat (*rapid deposition*) dalam lingkungan arus tenang, memungkinkan material lempung dan lumpur karbonat terakumulasi tanpa tersingkirkan.

Batuan *lithic wacke* (Pettijohn, 1975) pada sampel KB-2 merupakan salah satu jenis batupasir dengan kadar matriks 15% - 75% dan komponen utamanya dominan fragmen litik (*rock fragments*) sebesar 32,62% dibandingkan mineral kuarsa atau feldspar. Pembentukan *lithic wacke* biasanya berasal dari pelapukan cepat batuan sumber yang belum sempurna/tidak stabil. Hal ini mengindikasikan adanya aktivitas tektonik aktif dengan tingkat erosi yang cukup tinggi (Dickinson dan Suczek, 1979). Kehadiran matriks yang melimpah mencerminkan proses sortasi tidak berkembang, sementara bentuk butir fragmen litik yang *angular* hingga *rounded* menunjukkan transportasi sedimen yang relatif pendek dan abrasi yang belum intensif. Secara mineralogi, batupasir ini belum mengalami pematangan lanjut karena kuarsa belum menjadi komponen dominan, sedangkan feldspar dan fragmen litik masih bertahan dalam jumlah signifikan. Hal ini menunjukkan tingkat pelapukan kimia yang rendah pada batuan sumber serta kemungkinan pengendapan yang relatif dekat dengan daerah sumber. Batuan *lithic wacke* (Pettijohn, 1975) pada sampel PT-1 juga merupakan jenis batupasir dengan komponen utamanya dominan fragmen litik sebesar 31,8% dibandingkan mineral kuarsa atau feldspar. Kandungan matriks yang relatif besar mengindikasikan bahwa batupasir ini tergolong *matrix-rich sandstone* (*wacke*), di mana material halus masih mendominasi ruang antarbutir. Secara kematangan tekstural, batupasir ini dikategorikan tidak matang hingga kurang matang (*immature-submature*). Hal ini ditunjukkan oleh (1) Kandungan matriks yang tinggi, yang menandakan proses pemilahan (*sorting*) yang buruk dan energi pengendapan yang relatif rendah, (2) Bentuk butir fragmen litik yang agak runcing hingga membundar, menunjukkan derajat abrasi dan transportasi yang masih terbatas, dan (3) Ukuran butir pasir sangat halus, yang umumnya terendapkan pada lingkungan berenergi rendah hingga menengah. Berdasarkan kematangan mineralogi, batupasir ini juga tergolong belum matang, karena masih mengandung feldspar dan fragmen litik

dalam jumlah signifikan, sementara kuarsa belum mendominasi. Kondisi ini mengindikasikan jarak transportasi yang relatif pendek dan/atau tingkat pelapukan kimia yang rendah pada batuan sumber. Selain itu, ada penelitian pada target formasi yang sama dengan lokasi geografi berbeda mendapatkan hasil analisis sayatan tipis berupa *lithic wacke* dan *feldspatic wacke* (Mutia dkk., 2022).

Batuan nodul berupa batuan karbonat dijumpai sampel PT-2. Berdasarkan hubungan antara butiran karbonat dan *micrite*, nodul batugamping ini diklasifikasikan sebagai *packstone* (Dunham, 1962), karena bersifat *grain-supported* namun masih mengandung *micrite* sebagai matriks. Keberadaan *micrite* yang cukup signifikan serta dominasi kalsit sebagai semen menunjukkan bahwa batuan ini memiliki tingkat kematangan tekstural rendah (*immature*). Energi pengendapan diperkirakan menengah, cukup untuk mendukung kontak antar butir, tetapi belum cukup tinggi untuk menghilangkan seluruh lumpur karbonat. Secara diagenetik, nodul ini belum mencapai tingkat kematangan tinggi, karena *micrite* masih berkembang, rekristalisasi belum menyeluruh, dan porositas primer sebagian telah terisi oleh semen kalsit. Kehadiran lumpur karbonat mengindikasikan lingkungan laut yang relatif tenang (Tucker dan Wright, 1990).

Distribusi Ukuran Butir Sedimen

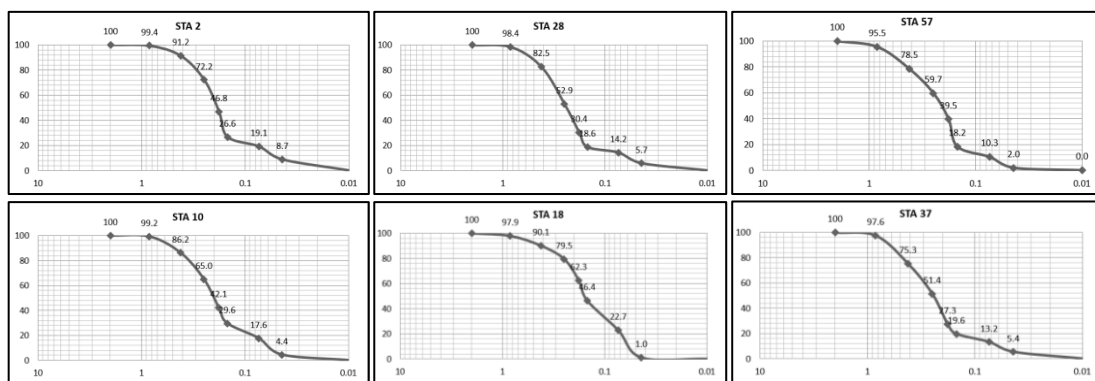
Data yang digunakan untuk melakukan analisis granulometri adalah sebanyak 6 sampel yang berada di lokasi singkapan Formasi Kotabakti di STA 2, STA 28, dan STA 57, serta pada Anggota Padangtiji di STA 10, STA 18, dan STA 37. Data sampel kemudian dalam bentuk butiran pasir yang sudah dihancurkan kemudian dilakukan ayakan (*mesh*) dengan ukuran 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200 dan *pan*. Adapun hasil perhitungan berat jumlah butir tiap stasiun berdasarkan ukuran partikel dalam gram seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan jumlah ukuran butir berdasarkan ukuran partikel (g).

Kode Sampel	Berat Jumlah Butir Berdasarkan Ukuran Partikel (g)								Penamaan Berdasarkan Ukuran Butir
	2	0,84	0,42	0,25	0,18	0,149	0,074	0,044	
STA 2	1,28	6,25	38,14	50,89	40,37	15,01	20,73	17,54	Batupasir Sedang
STA 28	3,17	31,82	59,23	45,13	23,51	8,88	16,96	11,53	Batupasir Sedang
STA 57	9,01	34,09	37,52	40,39	42,6	15,81	16,77	3,9	Batupasir Halus
STA 10	1,59	26,12	42,43	45,77	24,98	23,93	26,5	8,88	Batupasir Sedang
STA 18	4,24	15,62	21,19	34,37	31,9	47,3	43,55	2,05	Batupasir Sangat Halus
STA 37	4,82	44,66	47,74	48,35	15,38	12,79	15,66	10,8	Batupasir Sedang

Berdasarkan hasil perhitungan ukuran partikel, dari 6 sampel data diklasifikasikan dalam tiga keseragaman butir yaitu Batupasir Sedang, Batupasir Halus, dan Batupasir Sangat Halus menggunakan skala *Wentworth (1922)*. Berdasarkan hasil perhitungan ini selanjutnya dilakukan analisis parameter statistika dengan menentukan nilai rata – rata (*mean*), pemilahan (*sortasi*), *skewness*, dan kurtosis ukuran butir sesuai dengan persamaan (1), (2), (3), dan (4). Adapun grafik persentase kumulatif ukuran butir disajikan pada Gambar 16.

Grafik tersebut selanjutnya dilakukan perhitungan persentil untuk mensubstitusikan ke persamaan statistika granulometri yaitu parameter persentil. Persentil tersebut didapatkan dari pembacaan sumbu-X pada grafik logaritmik terhadap sumbu-Y hingga mengenai kurva distribusi kumulatif ukuran butir tiap stasiun sampel. Adapun hasil perhitungan statistika dari parameter means, *sortasi*, *skewness*, dan kurtosis dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 16. Grafik persentase kumulatif dari berat jumlah butir berdasarkan ukuran partikel (g).

Tabel 4. Interpretasi hasil perhitungan statistik ukuran butir

Stasiun	Mean	Sortasi (Friedman dan Sanders, 1978)	Skewness (Folk, 1968)	Kurtosis (Folk dan Ward, 1957)
STA 2	0.259	0.291 Sangat Baik	0.065 Mendekat simetris	0.033 Sangat Platykurtic
STA 28	0.353	0.402 Baik	0.102 Positif	0.066 Sangat Platykurtic
STA 57	0.360	0.460 Baik	0.206 Positif	0.078 Platykurtic
STA 10	0.290	0.341 Sangat Baik	0.101 Positif	0.054 Sangat Platykurtic
STA 18	0.236	0.288 Sangat Baik	0.102 Positif	0.043 Sangat Platykurtic
STA 37	0.407	0.451 Baik	0.112 Positif	0.112 Sangat Platykurtic

Berdasarkan hasil perhitungan granulometri dalam metode statistik didapatkan nilai *mean* yaitu nilai rata – rata ukuran butir dalam tiap stasiun, nilai pemilahan (sortasi) yang menunjukkan batas ukuran butir atau keanekaragaman ukuran butir, tipe dan karakteristik serta waktu pengendapan dari suatu populasi sedimen, nilai *skewness* merupakan nilai penyimpangan dalam distribusi ukuran butir dibandingkan distribusi normal, dan nilai kurtosis yang menggambarkan derajat ketajaman puncak distribusi ukuran butir.

Berdasarkan hasil analisis statistik pada sampel granulometri Formasi Kotabakti (STA 2, STA 28, dan STA 57) memiliki nilai means ukuran butir termasuk kategori pasir halus hingga menengah (0.259 – 0.360 mm), memiliki tingkat sortasi dari baik hingga sangat baik (0.291 – 0.460) sehingga pemilahan butir yang cukup efisien, nilai *skewness* yang menunjukkan distribusi positif (0.065 – 0.206) yang berarti butiran berukuran halus lebih dominan walaupun di STA 2 diinterpretasikan mendekati simetris yang berarti penyebaran ukuran butir yang relatif seimbang. Selain itu, nilai kurtosis menunjukkan seluruh sampel pada formasi ini tergolong *platykurtic* hingga sangat *platykurtic* (0.033 – 0.078) yang mana distribusi ukuran butir yang relatif tersebar luas.

Di sisi lain, batupasir dari Anggota Padangtiji (STA 10, STA 18, dan STA 37) menunjukkan hasil analisis statistiknya memiliki nilai *mean* ukuran butir termasuk kategori pasir halus hingga pasir sedang, nilai sortasi dengan kategori sangat baik hingga baik (0.236 – 0.407) mengindikasikan pemilahan butiran yang lebih baik dan konsisten dibandingkan batupasir Formasi Kotabakti. Nilai *skewness* menunjukkan distribusi positif ringan (0.101 – 0.112) dengan kecenderungan dominasi butiran ukuran halus. Selain itu, nilai kurtosis dikategorikan sebagai sangat *platykurtic* (0.043 – 0.112) yang menggambarkan sebaran ukuran butir yang sangat lebar dan tidak terkonsentrasi pada ukuran tertentu.

Berdasarkan analisis granulometri didapatkan tingkat kematangan pada tiap – tiap stasiun sampel. Berdasarkan alur analisis tingkat kematangan tekstural dari Nichols (2009) digunakan sampel butiran pasir yang tertahan pada ayakan No. 200 dan *pan* sebagai acuan penentuan kandungan matriks (*mud content*). Adapun tabel interpretasi tingkat kematangan tekstural adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Interpretasi tingkat kematangan tekstural batupasir area penelitian.

Formasi/Anggota	Stasiun	Mud content	Sorting	Clast shape	Tingkat Kematangan
Kotabakti	STA 2	27,11%	0.291	<i>sub-angular</i>	<i>immature</i>
	STA 28	14,23%	0.402	<i>sub-angular</i>	<i>mature</i>
	STA 57	10,31%	0.460	<i>angular</i>	<i>mature</i>
Padangtiji	STA 10	17,67%	0.341	<i>sub-rounded</i>	<i>immature</i>
	STA 18	22,77%	0.288	<i>sub-rounded</i>	<i>immature</i>
	STA 37	13,21%	0.451	<i>sub-angular</i>	<i>mature</i>

Potensi Batupasir sebagai Reservoir

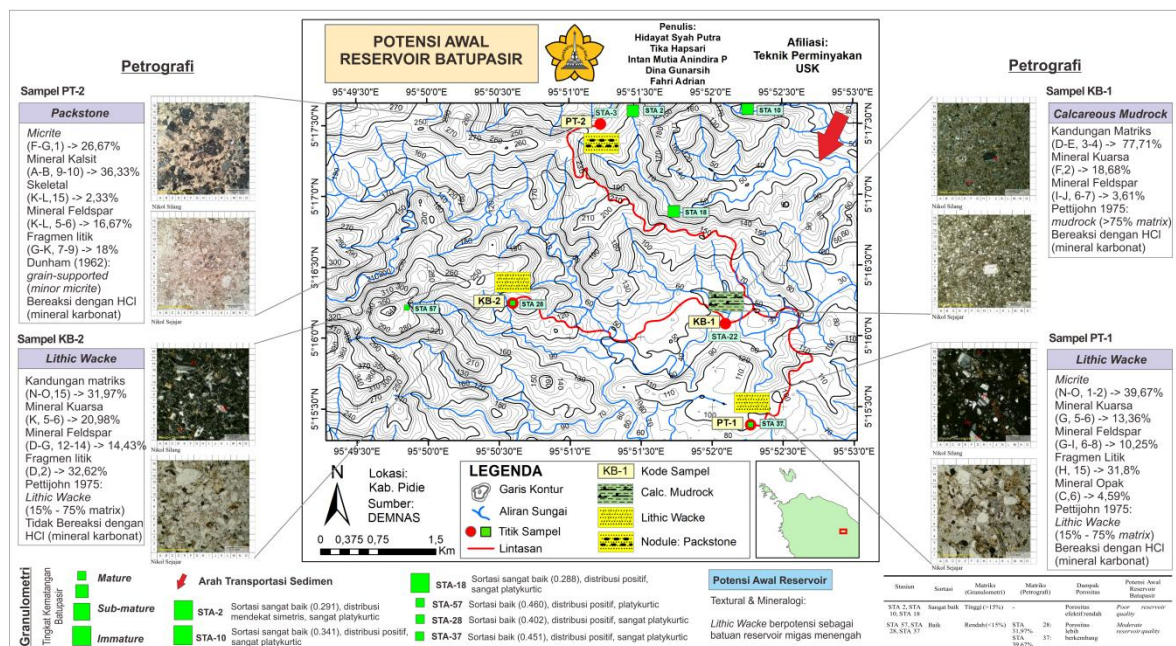
Evaluasi potensi reservoir migas pada daerah penelitian dilakukan melalui integrasi analisis granulometri (titik petak hijau) dan analisis petrografi sayatan tipis (titik bulat merah) yang dapat dilihat pada Gambar 17. Analisis granulometri memberikan informasi kuantitatif mengenai nilai rata - rata ukuran butir, sortasi, *skewness*, dan kurtosis yang merepresentasikan tingkat kematangan tekstural, sedangkan petrografi memberikan kontrol mineralogi, kandungan matriks, jenis semen, serta proses diagenesis yang berpengaruh langsung terhadap porositas dan permeabilitas reservoir secara sedimentologi.

Berdasarkan analisis petrografi, analisis granulometri untuk mendapatkan tingkat kematangan secara tekstural (granulometri) dan mineralogi (petrografi) dihasilkan bahwa litologi *lithic wacke* (Pettijohn, 1975) berpotensi sebagai batuan reservoir migas menengah. Adapun interpretasi tim peneliti terhadap potensi awal reservoir migas pada tiap stasiun sampel granulometri dan sampel petrografi yang saling *overlay* disajikan pada Tabel 6.

Direkomendasikan kepada pengguna informasi bahwa secara sedimentologi semakin ke arah barat daya-selatan secara tekstural semakin matang sehingga berpengaruh dengan porositas pada batuan sedimen semakin berkembang. Kualitas reservoir batupasir di daerah penelitian tidak hanya dikontrol oleh tekstur butiran (granulometri), tetapi juga oleh kandungan matriks dan intensitas sementasi karbonat. Zona selatan menunjukkan kualitas reservoir moderat karena kandungan matriks relatif rendah dan minim sementasi karbonat, sedangkan zona utara menunjukkan kualitas reservoir buruk akibat dominasi matriks (*mudrock*) atau sementasi kalsit yang intensif meskipun fabrik batuan tergolong *grain-supported* (*Packstone*). Namun, perlu dipertimbangkan dari segi sedimentologi tidak boleh berdiri sendiri dalam menentukan potensi reservoir migas secara ekonomis sehingga diperlukan adanya penelitian dari ilmu petrofisika secara kuantitatif.

Tabel 6. Integrasi data petrografi dan granulometri sebagai potensi awal reservoir batupasir

Stasiun	Sortasi	Matriks (Granulometri)	Matriks (Petrografi)	Dampak Porositas	Potensi Awal Reservoir Batupasir
STA 2, STA 10, STA 18	Sangat baik	Tinggi (>15%)	-	Porositas efektif rendah	<i>Poor reservoir quality</i>
STA 57, STA 28 (KB-2), STA 37 (PT-1)	Baik	Rendah (<15%)	STA 28: 31,97% STA 37: 39,67%	Porositas lebih berkembang	<i>Moderate reservoir quality</i>



Gambar 17. Peta potensi reservoir batupasir area penelitian.

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian, dari hasil pengamatan langsung lapangan dengan tahapan deskripsi langsung, kondisi geologi daerah penelitian terdiri dari 4 jenis batuan diantaranya Satuan Batulanau Karbonatan Formasi Kotabakti, Satuan Batupasir Formasi Kotabakti, Satuan Batupasir Karbonatan Anggota Padangtiji dan Satuan Batulanau Anggota Padangtiji. Data sampel sejumlah 4 sampel dilakukan analisis petrografi yang mana dapat disimpulkan bahwa pada STA 22 dengan kode sampel KB-1 dikategorikan sebagai *Calcareous Mudrock*. Pada STA 28 dengan kode sampel KB-2 dikategorikan sebagai *Lithic Wacke*. Pada STA 37 dengan kode sampel PT-1 dikategorikan juga sebagai *Lithic Wacke*. Pada STA 3 dengan kode sampel PT-2 dikategorikan sebagai *Packstone*.

Berdasarkan analisis data granulometri yang diperoleh dari 6 sampel dapat disimpulkan bahwa karakteristik distribusi ukuran butir menunjukkan variasi yang menarik. Distribusi rata – rata ukuran butir bervariasi dari 0.236 hingga 0.407 mm dengan sebagian besar sampel menunjukkan sortasi yang baik dan beberapa sampel termasuk dalam kategori sortasi yang sangat baik (<0.35). Parameter *skewness* pada sebagian besar sampel menunjukkan kecenderungan positif yang berarti distribusi ukuran butir cenderung memiliki arah yang lebih panjang di sisi kanan. Interpretasi ini menunjukkan sebagian besar ukuran butir dalam sampel tidak jauh dari nilai rata – rata dan sedikit sekali kecenderungan ukuran butir lebih besar. Parameter kurtosis menunjukkan semua sampel termasuk kategori platykurtik dan sebagian berada dalam kategori sangat platykurtik. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi ukuran butir cenderung datar dan lebar menandakan adanya variasi ukuran butir yang cukup besar dalam sampel. Secara keseluruhan distribusi umumnya teratur dan tidak menunjukkan penyimpangan yang signifikan dari normalitas.

Kemudian, hasil dari pengolahan 4 data sampel dalam analisis petrografi didapatkan informasi mengenai persentase komposisi dari material penyusun batuan daerah penelitian yang mana disesuaikan kandungan matriks dengan klasifikasi tingkat kematangan batupasir oleh Nichols (2009). Tingginya kandungan matriks sebesar >15% secara langsung diinterpretasikan batupasir sebagai *immature* (tidak matang) terlihat pada STA 10, dan 18. Sementara itu, STA 28, 57, dan 37 diinterpretasikan batupasir sebagai *mature* dengan kandungan matriks <15%. Dapat disimpulkan, dengan distribusi ukuran butir yang <0.062 mm (sangat halus) cenderung memiliki pori – pori kecil pada batuan karena meningkatkan kontak antar butiran sehingga permeabilitas pun akan

rendah didukung dengan hasil analisis tingkat kematangan tergolong *immature* (tidak matang) karena tingginya matriks akan menurunkan permeabilitas, maka batuan ini memiliki potensi yang buruk (*poor*) sebagai reservoir migas pada STA 2, STA 10, dan STA 18. Sebagian tingkat kematangan yang *mature* dikategorikan sebagai batuan yang memiliki potensi yang *moderate* sebagai reservoir migas pada STA 57, STA 28, dan STA 37.

Penelitian ini masih terbatas pada kajian sedimentologi sebagai tahap awal dalam mengevaluasi potensi reservoir minyak dan gas bumi pada formasi batuan yang diteliti. Untuk memperoleh hasil yang lebih pasti dan bersifat kuantitatif terkait potensi reservoir, diperlukan penelitian lanjutan yang menitikberatkan pada analisis proses diagenesis, khususnya yang berperan dalam pembentukan porositas sekunder. Secara umum analisis granulometri pada penelitian ini masih terbatas dengan interval ukuran yang belum berbasis skala phi sehingga adanya gap cukup besar dari ukuran 100 hingga 200 mesh. Oleh karena itu, penulis juga menyarankan penelitian selanjutnya menggunakan interval ukuran ayakan yang lebih seragam pada fraksi halus sehingga meningkatkan resolusi distribusi ukuran butir.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Departemen Teknik Kebumihan yang telah memberikan fasilitas tempat untuk melaksanakan penelitian ini hingga dapat terlaksana dengan baik. Penelitian ini didanai oleh dana PNBP melalui hibah penelitian skema Fakultas Teknik Penelitian Dosen Muda Berdampak Tahun 2025 Universitas Syiah Kuala. Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan pendanaan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D422-63. (2007). *Standard test method for particle-size analysis of soils*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0422-63R07>
- Barber, A. J., Crow, M. J., & Milsom, J. S. (2005). *Sumatra: Geology, resources and tectonic evolution*. Geological Society. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2005.031.01.13>
- Bennet, J. D., Bridge, D. Mcc., Cameron, N. R., Djunuddin, A., Ghazali, S. A., Jeffrey, D. H., Kartawa, W., Keats, W., Rock, N. M. S., Thompson, S. J., & Whandoyo, R. (1981). *Geologic map of the Banda Aceh quadrangle, North Sumatra, scale 1:250,000*. Geological Research and Development Center. Geological Research and Development Centre.
- Blatt, H., Middleton, G. V., & Murray, R. (1980). *Origin of sedimentary rocks*. Prentice-Hall.
- Boggs, S. (2006). *Principles of sedimentology and stratigraphy* (4th ed.). Pearson Prentice-Hall.
- Compton, R. R. (1985). *Geology in the field*. John Wiley & Sons.
- Davies, P. R. (1984). *Tertiary structural evolution and related hydrocarbon occurrences, North Sumatra Basin*. Indonesian Petroleum Association. <https://doi.org/10.29118/ipa.2529.19.49>
- Dickinson, W. R., & Suczek, C. A. (1979). Plate tectonics and sandstone compositions 12, 2164–2182.
- Dunham, R. J. (1962). *Classification of carbonate rocks according to depositional texture*. AAPG Memoir 1 [Preprint].
- Folk, R. L. (1951). Stages of textural maturity in sedimentary rock. *Journal of Sedimentary Research*, 21(3), 127–130. <https://doi.org/10.2110/jsr.21.127>
- Folk, R. L. (1968). *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Co.
- Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). A study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(3), 3–36. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Friedman, G. M., & Sanders, J. E. (1978). *Principles of sedimentology*. Wiley.
- Mutia, I., Rusydy, I., & Fahri, A. (2022). Analisis petrografi batupasir daerah Kecamatan Lembah Seulawah dan sekitarnya, Kabupaten Aceh Besar, Aceh. *Acta Geosci. Energy, Min., 1*.

- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and stratigraphy* (2nd ed.). Willey-Blackwell.
- Pettijohn, F. J. (1975). *Sedimentary rocks* (3rd ed.). Harper and Row.
- Riadhhy, S., & Gutomo, A. (1993). *Notes: "Basal sandstone", existence and hydrocarbon potential in the North Sumatra Basin: A case study in Batang Sarangan, Langkat and Gebang areas*. Indonesian Petroleum Association.
- Rowan, L. C., & Mars, J. C. (2003). *Remote sensing applications in geology*. U.S. Geological Survey [Preprint].
- Ryacudu, R., Djaafar, R., & Gutomo, A. (1992). *Wrench faulting and its implication for hydrocarbon accumulation in the Kuala Simpang Area–North Sumatra Basin*. Indonesian Petroleum Association.
<https://doi.org/10.29118/ipa.654.93.116>
- Satyana, A. H., & Purwaningsih, E. (2003). *Geology and hydrocarbon potential of North Sumatra Basin*. Indonesian Petroleum Association.
- Tissot, B. P., & Welte, D. H. (1984). *Petroleum formation and occurrence* (2nd ed.) [Preprint]. Springer-Verlag.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-87813-8>
- Tucker, M., & Wright, V. (1990). *Carbonate sedimentology*. Blackwell Science.
- Tucker, M. E. (1991). *Sedimentary petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks* (2nd ed.). Blackwell Scientific Publications.
- Tucker, M. E. (2001). *Sedimentary petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks* (3rd ed.). Blackwell Science.
- Tucker, M. E. (2003). *Sedimentary rocks in the field: A practical guide* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30(2), 377–392.