



HUBUNGAN KUAT TEKAN BATUAN (UCS) TIDAK LANGSUNG DENGAN POROSITAS PADA FORMASI KEUTAPANG ATAS PADA LAPANGAN GAS ARUN, CEKUNGAN SUMATERA UTARA DENGAN MENGGUNAKAN DATA LOG SONIK

Alvian Budiman^{1*}, Dicky Muslim¹, Yuyun Yuniardi¹, R. M. Riza Atmadibrata¹

¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung

*Korespondensi: alvianbudimen@yahoo.co.id

ABSTRAK

Formasi Keutapang merupakan formasi batuan pembawa migas yang produktif di Cekungan Sumatera Utara. Namun, seringkali terdapat hal yang menghambat proses pemboran minyak bumi. Permasalahan yang sering ditemukan dalam kasus pemboran minyak bumi adalah penurunan laju pemboran. Kuat tekan batuan merupakan faktor yang penting dalam menentukan laju suatu pemboran. Kuat tekan batuan sangat berpengaruh terhadap besarnya nilai porositas. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara porositas dengan kekuatan batuan (UCS) yang dikhususkan pada Formasi Keutapang bagian atas. Penelitian dilakukan dengan metode kualitatif dan kuantitatif. Secara kualitatif penelitian dilakukan berdasarkan pengamatan grafik log yang terekam pada setiap sumur, sedangkan metode kuantitatif dilakukan dengan mengukur dan menghitung parameter-parameter litologi, porositas, kuat tekan batuan. Hubungan antara porositas dan kuat tekan batuan (UCS) kemudian diuji dengan Uji Korelasi, lalu dilakukan Uji Regresi untuk mengetahui nilai pengaruh antar keduanya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Formasi Keutapang bagian atas tersusun atas perselingan batulanau, batulempung, dan batupasir yang dicirikan dengan pola Log Gamma Ray bergerigi. Porositas yang berkembang di daerah penelitian berupa porositas intergranular dengan nilai 0,25-0,50 untuk batupasir, 0,14-0,30 untuk batulanau, dan 0,06-0,35 untuk batulempung. Kekuatan batuan yang terdapat di daerah penelitian berkisar antara 15,62-50,5 MPa untuk batupasir, 27-54,4 MPa untuk batulanau, dan 10,81-27 MPa untuk batulempung. Berdasarkan Uji Korelasi ditarik kesimpulan bahwa hubungan porositas dengan kuat tekan batuan pada Formasi Keutapang Atas berhubungan negatif dengan tingkat korelasi sempurna, sedangkan hasil Uji Regresi menunjukkan dua variabel saling berpengaruh negatif. Secara geologi, dapat ditafsirkan bahwa semakin besar nilai porositas, maka semakin kecil nilai kuat tekan batuan begitupun sebaliknya.

Kata Kunci : Formasi Keutapang Atas, Litologi, Porositas, Kuat Tekan, Uji Korelasi Regresi

ABSTRACT

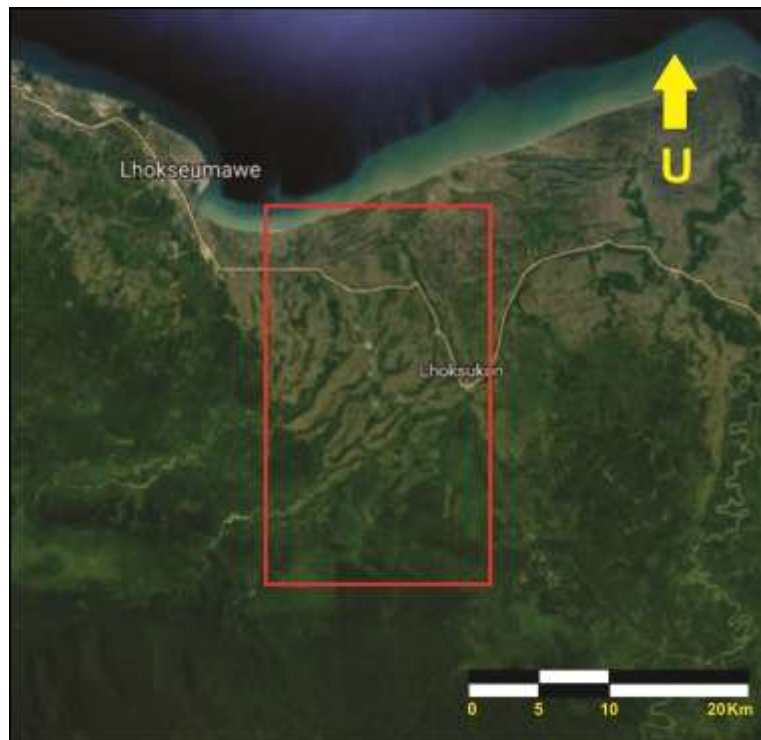
Keutapang Formation is a productive hydrocarbon bearing rock formation in North Sumatera Basin. But, there is always a problem which could happened to obstruct hydrocarbon drilling process. One of the problems that common to be face in hydrocarbon drilling case is the decrease of drilling velocity. Rock strength (UCS) is an important factor to determine the drilling velocity. Rock strength is very highly influenced with porosity. This research aim to know the correlation between porosity and rock strength (UCS) which specifically on Upper Keutapang Formation. This research used qualitative and quantitative methods. Based on qualitative method, the research is to observe the well log curves which recorded in every research wells, however quantitative method is used to determine lithology parameters, porosity, and rock strength. Correlation between porosity and rock strength (UCS) is tested with Correlation Test, and then the Regression Test is also been used to know the regression value between those variables. The result shows that Upper Keutapang Formation consists of interbedded between sandstone, siltstone, and claystone which has Serrated Gamma Ray curve characteristics. The kind of porosity that developed in the study area is intergranular porosity which has value between 0,25-0,50 for sandstone, 0,14-0,30 for siltstone, and 0,06-0,35 for claystone. The rock strength interval that developed in the study area is ranging between 15,62-50,5 MPa for sandstone, 27-54,4 MPa for siltstone, and 10,81-27 MPa for claystone. Based on Correlation Test, the correlation between porosity and rock strength in the Upper Keutapang Formation has a negative correlation with perfect level category, but the result of Regression Test showed that both of variables are negative affected each other. Geologically, this could be interpreted that the higher value of porosity has a smaller value of the rock strength, also in contrary.

Keywords: Upper Keutapang Formation, Lithology, Porosity, Rock Strength, Regression and Correlation Test.

1. PENDAHULUAN

Salah satu hal yang penting untuk diperhatikan dalam pelaksanaan eksplorasi minyak bumi adalah efisiensi. Dalam kegiatan eksplorasi khususnya pemboran, efisiensi sangatlah diperlukan untuk meminimalisasi

biaya yang dikeluarkan. Hambatan yang terjadi pada saat pemboran akan menghabiskan waktu yang lebih lama, sehingga dapat memperbesar biaya pengeluaran.



Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian

Salah satu hambatan yang paling sering ditemukan dalam proses pemboran adalah penurunan laju pemboran, sedangkan laju pemboran sangat berkaitan dengan kuat tekan batuan (Sudarmoyo dan P. Subiatmono, 2001). Arthur (1959), menyatakan bahwa kuat tekan pada batuan merupakan faktor yang sangat penting untuk menentukan laju pemboran.

Kuat tekan batuan sangat berkaitan erat dengan porositas. Semakin besar nilai porositas maka semakin lemah batumannya, namun apabila semakin kecil nilai porositas maka nilai kuat tekan batuan semakin besar (Schon, 2011).

Salah satu metode alternatif yang dapat digunakan untuk memperoleh data porositas batuan bawah permukaan dan kuat tekan batumannya adalah melalui data log sumur (*Well Log*), khususnya dengan menggunakan data Log Sonik.

Pada Lapangan Gas Arun terdapat Formasi Keutapang Atas yang secara

stratigrafi berada diatas Formasi Baong dan Formasi Arun. Formasi Arun ini berperan sebagai reservoir di Lapangan Gas Arun. Oleh karena itu untuk mengurangi kemungkinan adanya penurunan laju pemboran yang berkaitan dengan kuat tekan batuan yang terjadi pada formasi batuan di atas Formasi Arun, khususnya pada Formasi Keutapang Atas maka dikajilah hubungan kuat tekan batuan dengan porositas pada Formasi Keutapang Atas dengan memanfaatkan data porositas dari log sumur yang tersedia. Diharapkan nilai kuat tekan batuan (UCS) di bawah permukaan dan hubungannya dengan porositas pada Formasi Keutapang Atas pada Lapangan Gas Arun secara tidak langsung dapat diketahui.

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui jenis litologi Formasi Keutapang Atas yang berkembang di daerah penelitian

2. Mengetahui nilai porositas dan kuat tekan batuan (UCS) Formasi Keutapang Atas di daerah penelitian
3. Mengetahui hubungan antara porositas dan kuat tekan batuan (UCS) Formasi Keutapang Atas di daerah penelitian

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi

Lapangan Gas Arun apabila dilihat dari tatanan geologinya, merupakan lapangan gas yang terletak pada Cekungan Sumatera Utara. Cekungan Sumatera Utara merupakan perpaduan antara cekungan tarik-pisah (*pull-apart basin*) dan *half graben basin* yang terletak pada bagian tenggara kerak Benua Eurasia. Kerangka tektonik cekungan-cekungan di Sumatera merupakan hasil interaksi Lempeng Benua Eurasia dan tepi utara-tenggara Lempeng Samudra Hindia Australia (Katili, 1975).

Menurut Barber *et. al* (2005), Cekungan Sumatera Utara merupakan cekungan belakang busur (*back arc basin*) berisi sedimen Tersier yang diendapkan di atas kompleks metasedimen Pra-Tersier. Secara fisiografi, cekungan ini dibatasi oleh Pegunungan Bukit Barisan di bagian barat, Paparan Malaka di bagian timur, Lengkungan Asahan di bagian selatan, serta Laut Andaman di bagian utara (Darman dan Sidi, 2000).

Pembentukan Cekungan Sumatera Utara dimulai pada Eosen Akhir ketika Lempeng Samudra Hindia mulai bertumbukan dengan Lempeng Benua Eurasia. Perkembangan cekungan ini sangat dipengaruhi oleh dua sistem sesar utama, yaitu Sesar Sumatera dan Sesar Malaka yang mengakibatkan penyesaran bongkah (*block faulting*) sebagai *pull apart basin*. Secara garis besar dari barat laut ke tenggara membentuk *Sigli Platform*, *Pase sub-Basin*, dan *Tampur Platform* (Sosromihardjo, 1988).

Stratigrafi daerah penelitian yang diperoleh dari data sumur Arun-A1 tersusun secara umum atas formasi-formasi sebagai berikut:

1. Batuan Dasar (*Basement*)

Berdasarkan data sumur Arun-A1, litologi batuan dasar (*Basement*) daerah penelitian telah ditemukan pada kedalaman 10,825 ft (3.299 m). Batuan penyusun *basement* ini merupakan batuan *calcareous*

phyllite yang dinyatakan berumur Triasik berdasarkan data penentuan umur radiometrik (Soeparjadi, 1983).

2. Formasi Parapat

Formasi ini terdiri dari batupasir dan konglomerat yang tebal. Sifat atau karakter sedimen menunjukkan bahwa batuan sumber dari formasi ini adalah daerah tinggian pra Tersier dengan lingkungan pengendapan kipas Aluvium. Klastik kasar merupakan jenis endapan yang dominan dari batuan Formasi Parapat. Formasi ini memiliki umur Oligosen Bawah yang ditunjukkan dengan banyaknya fosil *Nummulites Fichteli* pada batuan Formasi Parapat di daerah Aceh.

3. Formasi Bampo

Formasi ini terdiri dari batuserpih dan batulanau hitam, yang berasosiasi dengan pirit dan nodul karbonatan. Ketebalan formasi ini berkisar antara 500 meter di sebelah Selatan sampai dengan 2000 meter di sebelah Utara. Formasi ini diendapkan di lingkungan laut dangkal pada umur Oligosen Atas - Miosen Bawah.

4. Formasi Arun

Formasi ini diendapkan di lingkungan laut terbuka pada umur Oligosen Atas – Miosen Bawah. Formasi ini merupakan batuan *reservoir* yang terdiri dari batugamping, dimana beberapa bagian tersusun atas dolomit.

Pada Formasi Arun banyak ditemukan foraminifera besar *Lepidocyclina (canelli)* dan *Miogyopsina thecidaeforma*) yang mengindikasikan umur Miosen Bawah – Miosen Tengah. Selain itu, terdapat juga foraminifera planktonik seperti *Globigerinoides* dan *Orbulina* (Soeparjadi, 1983).

5. Formasi Peutu

Formasi ini terdiri dari batulempung karbonatan yang banyak mengandung fosil dan beberapa mengandung mineral glaukonit serta beberapa terdiri atas batuterumbu yang diendapkan di Daerah Arun, Peusangan, dan Lho Sukon.

6. Formasi Baong

Formasi ini sebagian besar memiliki litologi batuserpih dengan sebagian kecil batupasir. Batuserpih pada formasi ini memiliki ciri berwarna abu-abu terang sampai gelap dan bersifat karbonat, karbonatan, dan glaukonitan. Formasi ini diendapkan di lingkungan *Bathyal* dan

memiliki ketebalan yang berkisar antara 1500-1750 meter.

7. Formasi Keutapang

Formasi Keutapang tersusun atas litologi serpih berselang-seling dengan batulempung-batulanau, sisipan batugamping dan batupasir berlapis tebal. Batuan ini memiliki kandungan mineral kuarsa, pyrite, sedikit mika, dan karbonan. Ketebalan formasi ini berkisar antara 404 – 1534 meter. Formasi Keutapang merupakan awal siklus regresi dari sedimen dalam Cekungan Sumatera Utara yang terendapkan dalam lingkungan delta sampai laut dalam pada kala Miosen akhir.

8. Formasi Seurula

Formasi ini secara umum terdiri dari batupasir, serpih, dan batulempung. Batupasir pada formasi ini lebih kasar butirnya daripada batupasir Formasi Keutapang. Ini yang menandakan bahwa fase regresi masih berlanjut. Lingkungan pengendapan formasi ini masih di lingkungan laut.

9. Formasi Julu Rayeu

Formasi ini memiliki litologi berupa batupasir berbutir halus sampai kasar dan batulempung, dengan fragmen mika, kayu dan moluska. Formasi ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal. Ketebalan formasi ini berkisar antara 550 sampai 2200 meter.

2.2 Porositas

Porositas adalah sifat volumetrik batuan yang sangat fundamental. Porositas dapat menjelaskan potensi volume penyimpanan fluida seperti minyak, air, dan gas dalam batuan. Porositas juga mempengaruhi hampir seluruh sifat fisik batuan seperti kecepatan gelombang elastis, resistivitas elektrik, dan densitas batuan (Schon, 2011).

Asquith (1982) menyatakan bahwa porositas merupakan persentase volume pori terhadap total volume batuan dan dihitung dengan menggunakan satuan persen (%), sedangkan menurut Serra (1984), porositas merupakan bagian dari total volume batuan yang tidak tersusun oleh konstituen (material) padat.

Menurut Schon (2011), faktor-faktor yang mempengaruhi porositas antara lain :

1. Ukuran butir (*grain size*)

Semakin kecil ukuran butir maka rongga yang terbentuk akan semakin kecil pula dan sebaliknya jika ukuran butir

besar maka rongga yang terbentuk juga semakin besar.

2. Bentuk butir (*sphericity*)

Batuan dengan bentuk butir menyudut akan memiliki porositas yang besar, sedangkan kalau bentuk butir membundar maka akan memiliki porositas yang kecil.

3. Susunan butir

Apabila ukuran butirnya sama maka susunan butir sama dengan bentuk kubus dan mempunyai porositas yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk rhombohedral.

4. Pemilahan

Apabila butiran baik maka ada keseragaman sehingga porositasnya akan baik pula. Pemilahan yang jelek menyebabkan butiran yang berukuran kecil akan menempati rongga diantara butiran yang lebih besar akibatnya porositasnya rendah.

5. Komposisi mineral

Apabila penyusun batuan terdiri dari mineral-mineral yang mudah larut seperti golongan karbonat maka porositasnya akan baik karena rongga-rongga akibat proses pelarutan dari batuan tersebut.

6. Sementasi

Material semen pada dasarnya akan mengurangi harga porositas. Material yang dapat berwujud semen adalah silika, oksida besi dan mineral lempung.

7. Kompaksi dan pemampatan

Adanya kompaksi dan pemampatan akan mengurangi harga porositas. Apabila batuan terkubur semakin dalam maka porositasnya akan semakin kecil yang diakibatkan karena adanya penambahan beban.

2.3 Kuat Tekan Batuan (UCS)

Kuat tekan pada batuan adalah kemampuan batuan untuk mengikat komponen-komponen bersama-sama. Jadi dengan kata lain bahwa apabila suatu batuan diberikan tekanan yang lebih besar dari kekuatannya maka komponen-komponennya akan terpisah atau dapat dikatakan hancur (Arthur, 1959). Kuat tekan batuan sangat berkaitan erat dengan porositas. Semakin besar nilai porositas maka semakin lemah batumannya, namun apabila semakin kecil nilai porositas maka nilai kuat tekan batuan

semakin besar, hal ini disebabkan karena adanya faktor kompaksi (Schon, 2011).

McNally (1987) dalam Schon (2011) telah meneliti hubungan (korelasi) antara nilai UCS (*Uniaxial Compression Strength*) dari 142 sampel dengan perlambatan gelombang kompresi yang diukur dengan menggunakan alat logging sonik) terhadap batupasir halus hingga medium Formasi German Creek, Australia. Hasil penelitian ini menghasilkan hubungan korelasi sebagai berikut:

$$\sigma_c = 1277. \exp(-0.0367. \Delta t) \quad \text{dengan } R^2 = 0.83$$

dimana σ_c = nilai UCS dalam MPa dan Δt = *interval transite time* dalam $\mu\text{s/ft}$.

2.4 Wireline Logging

Log adalah suatu grafik kedalaman (bisa juga waktu), dari satu set data yang menunjukkan parameter yang diukur secara berkesinambungan di dalam sebuah sumur (Harsono, 1997). Kegiatan untuk mendapatkan data log disebut 'logging'. Logging memberikan data yang diperlukan untuk mengevaluasi secara kuantitatif banyaknya hidrokarbon di lapisan batuan pada situasi dan kondisi yang sesungguhnya. Kurva log memberikan informasi yang dibutuhkan untuk mengetahui sifat-sifat batuan dan fluida yang terkandung di dalamnya.

Log sonik merupakan log yang mengukur *interval transit time* (Δt) dari penjaralan gelombang kompresional (gelombang P) (Asquith, 1982). Berdasarkan definisi tersebut Rider (2002) menambahkan bahwa log sonik mengukur kemampuan suatu formasi untuk menyalurkan gelombang suara yang dikeluarkan pada saat pengukuran log sonik ini. Secara geologi, kemampuan suatu formasi untuk menyalurkan gelombang suara bergantung pada jenis litologi dan tekstur batuan, khususnya porositas batuan.

3. METODE

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini berupa analisis data primer dan sekunder yang diawali dengan melakukan

analisis litologi pada sumur penelitian bernama Sumur AB3 melalui data Log *Gamma Ray* dan Log *SP* yang mengacu pada ketentuan yang dikemukakan oleh Asquith (1982) yang kemudian divalidasi dengan log litologi hasil deskripsi *cutting* dan *side wall core* pendoran.

Setelah litologi pada sumur penelitian diketahui, kemudian dilakukan perhitungan porositas tiap litologi melalui Log Sonik menggunakan metode yang dikemukakan oleh Wyllie *et. al* (1958) dalam Asquith (1982).

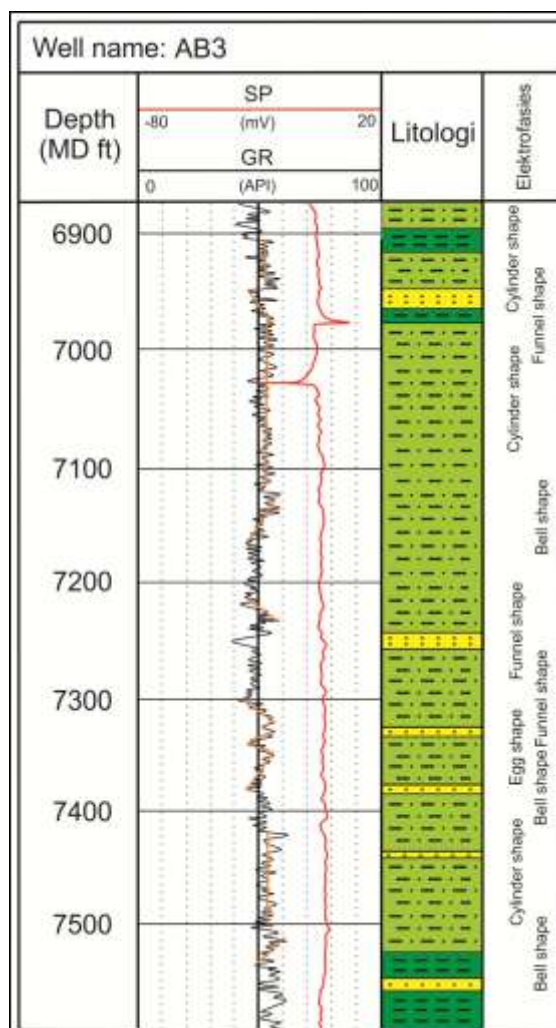
Lalu untuk mendapatkan nilai kuat tekan batuan dalam hal ini UCS, digunakanlah persamaan McNally (1987) dalam Schon (2011) dengan mengkorelasikan nilai perambatan gelombang (*interval transite time*) hasil perekaman Log Sonik terhadap nilai kuat tekan batuan (UCS).

Setelah dianalisis secara geologi, kedua parameter yang didapatkan yaitu porositas dan kuat tekan batuan kemudian dihubungkan dan dicari pengaruhnya dengan cara dianalisis kembali dengan menggunakan metode pendekatan statistika. Metode yang digunakan yaitu Metode Korelasi dan Regresi menurut Sudjana (2005) dengan menggunakan perangkat lunak Anava. Setelah kedua variable diuji keterkaitannya dan nilai pengaruhnya, maka dapat dilakukan interpretasi lebih lanjut mengenai hubungan antara porositas dan kuat tekan batuan (UCS) pada Formasi Keutapang Atas.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Litologi

Pada sumur AB3, Formasi Keutapang bagian atas diidentifikasi terdapat pada kedalaman 6784 feet TVD SS (6856 feet MD) hingga 7499 feet TVD SS (7574 feet MD). Berdasarkan data yang diperoleh di sumur ini, Formasi Keutapang bagian atas ditindih oleh batulempung Formasi Seureula bagian bawah dan menindih batulempung Formasi Baong bagian atas.



Gambar 2. Profil Litologi. Grafik Log Gamma Ray, Log SP Formasi Keutapang Atas, dan interpretasi elektrofases pada Sumur AB3

Litologi Formasi Keutapang bagian atas di sumur AB3 terlihat hampir sama dengan litologi yang terdapat pada sumur AB1, yaitu tersusun atas perselingan batulanau, batulempung, dan batupasir. Dominasi litologi yang berkembang yaitu batulanau.

Karakteristik batulempung memiliki karakteristik litologi berwarna abu-abu, lunak, karbonatan, dan menyerpih. Batulanau di bagian ini berwarna coklat keabuan, lunak-agak keras, sedikit karbonatan, dan kaya akan foram. Batupasir memiliki karakteristik litologi berwarna abu-abu, ukuran butir pasir sangat halus, membundar tanggung, agak keras, karbonatan.

Secara kualitatif, Formasi Keutapang Atas pada Sumur AB3 memiliki pola log (elektrofases) yang bervariasi dengan pola umum bergerigi (*serrated*). Hal ini menunjukkan bahwa litologi yang berkembang membentuk perselingan. Litologi yang

berkembang berupa selang-seling batupasir, batulanau, dan batulempung.

Formasi Keutapang Atas pada Sumur AB3 memiliki pola log (elektrofases) yang bervariasi dengan pola umum bergerigi (*serrated*). Hal ini menunjukkan bahwa litologi yang berkembang membentuk perselingan. Namun, secara lebih detail, elektrofases yang berkembang meliputi *Serrated Funnel Shape*, *Serrated Bell Shape*, dan *Serrated Cylinder Shape* (Gambar 2).

Serrated Funnel Shape mencirikan adanya perubahan litologi yang mengkasar ke atas, *Serrated Bell Shape* mencirikan perubahan litologi yang menghalus ke atas, dan *Serrated Cylinder Shape* mencirikan perselingan batuan yang memiliki tekstur masif. Pada Sumur AB3, sama halnya dengan Sumur AB1 terlihat banyaknya perubahan elektrofases dari *Serrated Bell Shape* menjadi

Serrated Funnel Shape atau menjadi *Serrated Cylinder Shape* dan sebaliknya.

Hal ini mencirikan bahwa mekanisme pengendapan yang terjadi pada Formasi Keutapang Atas pada Sumur AB3 tersusun atas perulangan kenaikan dan penurunan muka air laut (transgresi dan regresi). Namun berdasarkan data pendukung berupa profil log dan deskripsi litologi, menunjukkan bahwa semakin ke arah atas tekstur butiran semakin halus, sehingga dapat diinterpretasikan bahwa mekanisme yang mendominasi berupa kenaikan muka air laut (transgresi).

Secara kuantitatif, berdasarkan respon Log *Gamma Ray* dan Log *SP*, rentang nilai Log *Gamma Ray* pada Sumur AB1 berkisar 40-62 API, dan memiliki nilai *Vsh* yang bervariasi seperti yang ditampilkan pada tabel 1.

Berdasarkan tabel 1, batupasir memiliki nilai Log GR 40-58 API dan *Vsh* 0-0,59. Batulanau memiliki nilai Log GR 40-62 API dan *Vsh* 0-1. Batulempung memiliki nilai Log GR 43-62 API dan *Vsh* 0,03-1.

Tabel 1. Hasil perhitungan Log *Gamma Ray* dan *Volume of Shale (Vsh)* pada Sumur AB3

Litologi	Kedalaman (feet)	GR (API)	Vsh
Batulanau	6856-6878	40-55	0-0,39
Batulempung	6878-6900	43-57	0,03-0,52
Batulanau	6900-6930	45-59	0,06-0,67
Batupasir	6930-6940	47-58	0,10-0,59
Batulempung	6940-6970	47-57	0,10-0,59
Batulanau	6970-7225	43-59	0,03-0,67
Batupasir	7225-7240	40	0
Batulanau	7240-7300	42-57	0,02-0,52
Batupasir	7300-7320	57	0,52
Batulanau	7320-7360	45-56	0,06-0,45
Batupasir	7360-7370	44	0,04
Batulanau	7370-7415	46-62	0,08-1
Batupasir	7415-7420	52	0,25
Batulanau	7420-7500	48-51	0,12-0,15
Batulempung	7500-7520	49-51	0,15
Batupasir	7520-7535	50-58	0,18-0,37
Batulempung	7535-7574	51-62	0,21-1

4.2 Porositas

Batupasir Formasi Keutapang Atas memiliki rata-rata nilai *interval transite time* 88-120 dengan nilai porositas 0,25-0,50 atau 25%-50%. Berdasarkan klasifikasi Koesoemadinata (1980) dalam Fauzi (2017), nilai porositas tersebut termasuk ke dalam kategori sangat baik-istimewa.

Batulanau Formasi Keutapang Atas memiliki rata-rata nilai *interval transite time* 86-105 dengan nilai porositas 0,14-0,30 atau 14%-30%. Berdasarkan klasifikasi Koesoemadinata (1980) dalam Fauzi (2017), nilai porositas tersebut termasuk kedalam kategori cukup-sangat baik.

Batulempung Formasi Keutapang Atas memiliki rata-rata nilai *interval transite time* 105-130 dengan nilai porositas 0,06-0,35 atau 6%-35%. Berdasarkan klasifikasi Koesoemadinata (1980) dalam Fauzi (2017), nilai porositas tersebut termasuk kedalam kategori buruk-istimewa.

Secara keseluruhan, nilai porositas pada ketiga litologi di Formasi Keutapang Atas didominasi memiliki kategori cukup-istimewa. Hal ini menunjukkan bahwa nilai porositas cenderung besar. Nilai porositas yang cenderung besar ini diinterpretasikan akibat ukuran butir yang halus, susunan butir yang relatif sama, dan derajat pemilahan yang relatif baik. Selain itu, diinterpretasikan pula terdapat mineral penyusun batuan seperti plagioklas yang relatif mudah terlapukkan yang diakibatkan karena adanya interaksi dengan fluida formasi, sehingga mengakibatkan bertambahnya nilai porositas.

4.3 Kuat Tekan Batuan (UCS) Tidak Langsung

Batupasir pada Formasi Keutapang Atas memiliki rentang nilai *interval transite time* 88-120 $\mu\text{s}/\text{ft}$ dan rentang nilai kuat tekan batuan (UCS) sebesar 15,62-50,5 MPa. Berdasarkan klasifikasi Carmichael (1989) dalam Schon (2011), rentang nilai kuat tekan batuan (UCS) pada litologi batupasir Formasi Keutapang Atas termasuk ke dalam kategori batuan D-E (*low strength-very low strength*).

Batulanau pada Formasi Keutapang Atas memiliki rentang nilai *interval transite time* 86-105 $\mu\text{s}/\text{ft}$ dan rentang nilai kuat tekan batuan (UCS) sebesar 27-54,4 MPa. Berdasarkan klasifikasi Carmichael (1989) dalam Schon (2011), rentang nilai kuat tekan batuan (UCS) pada litologi batulanau Formasi Keutapang Atas masuk ke dalam kategori batuan D-E (*low strength-very low strength*).

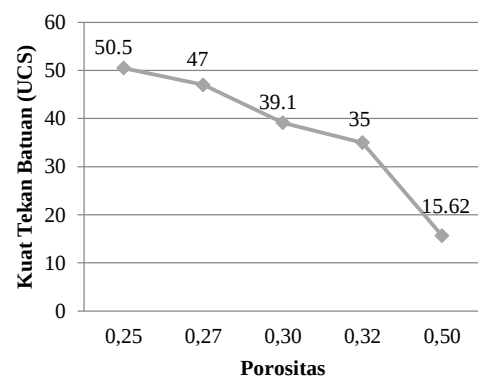
Batulempung pada Formasi Keutapang Atas memiliki rentang nilai *interval transite time* 105-130 $\mu\text{s}/\text{ft}$ dan rentang nilai kuat tekan batuan (UCS) sebesar 10,81-27 MPa. Berdasarkan klasifikasi Carmichael (1989) dalam Schon (2011), rentang nilai kuat tekan batuan (UCS) pada litologi batulempung Formasi Keutapang Atas masuk ke dalam kategori batuan D (*very low strength*).

4.4 Korelasi dan Regresi

1. Batupasir

Dari Uji Korelasi didapatkan nilai korelasi Pearson (r) sebesar 0,984. Nilai tersebut berdasarkan uji korelasi termasuk ke dalam kategori korelasi sempurna (0,81-1). Namun, bila dilihat dari notasi negatif (-) yang terdapat sebelum angka korelasi, hal ini menunjukkan bahwa hubungan yang terbentuk berupa hubungan negatif, yang berarti setiap kenaikan nilai variabel bebas, akan menurunkan nilai variabel terikat begitupun sebaliknya. Pada penelitian ini, yang berperan sebagai variabel bebas adalah porositas, sedangkan variabel terikatnya adalah kekuatan batuan.

Grafik 1. Korelasi Porositas dengan UCS pada Batupasir



Apabila dilihat secara geologi, hal tersebut sesuai dengan pernyataan yang dikemukakan oleh Schon (2011), bahwa pada keadaan *normal equilibrium compaction* pada lingkungan batuan sedimen, porositas akan berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sebagai hasil kompaksi sehingga akan menaikkan nilai kekuatan batuan.

Dari hasil perhitungan Uji Regresi Linear pada litologi batupasir, didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,967 yang mengandung pengertian bahwa pengaruh variabel bebas (X) (porositas) terhadap variabel terikat (Y) (UCS) adalah sebesar 96,7%.

Kemudian, didapatkan nilai konstanta (a) sebesar 82,234 yang mengandung arti bahwa nilai konsisten variabel UCS adalah sebesar 82,234. Lalu didapatkan koefisien regresi X (b) sebesar -137,362. Dikarenakan koefisien regresi bernilai negatif, maka dapat dikatakan bahwa arah pengaruh variabel X terhadap Y adalah negatif. Maksudnya adalah setiap kenaikan nilai variabel X, maka akan menurunkan nilai variabel Y atau sebaliknya.

Bentuk persamaan regresi pada batupasir Formasi Keutapang Atas dapat ditulis sebagai berikut:

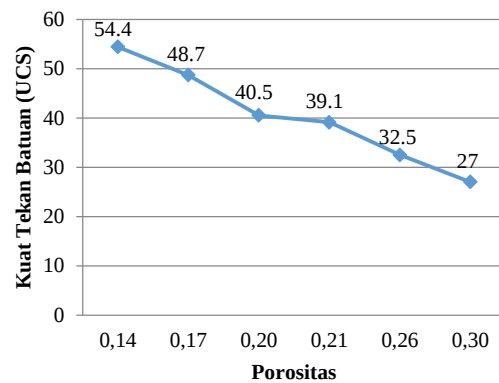
$$Y = a + bX$$

$$Y = 82,234 - 137,362X$$

2. Batulanau

Dari hasil Uji Korelasi didapatkan nilai korelasi Pearson (r) sebesar 0,995. Nilai tersebut berdasarkan uji korelasi termasuk ke dalam kategori korelasi sempurna (0,81-1). Namun, bila dilihat dari notasi negatif (-) yang terdapat sebelum angka korelasi, hal ini menunjukkan bahwa hubungan yang terbentuk berupa hubungan negative.

Grafik 2. Korelasi Porositas dengan UCS pada Batulanau



Dari hasil perhitungan Uji Regresi Linear pada litologi batulanau, didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,990 yang mengandung pengertian bahwa pengaruh variabel bebas (X) (porositas) terhadap variabel terikat (Y) (UCS) adalah sebesar 99%.

Didapatkan pula nilai konstanta (a) sebesar 75,324 yang mengandung arti bahwa nilai konsisten variabel UCS adalah sebesar 75,324. Lalu didapatkan koefisien regresi X (b) sebesar -161,151. Dikarenakan koefisien regresi bernilai negatif, maka dapat dikatakan bahwa arah pengaruh variabel X terhadap Y adalah negatif. Maksudnya adalah setiap kenaikan nilai variabel X, maka akan menurunkan nilai variabel Y atau sebaliknya.

Bentuk persamaan regresi pada batulanau Formasi Keutapang Atas dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y = a + bX$$

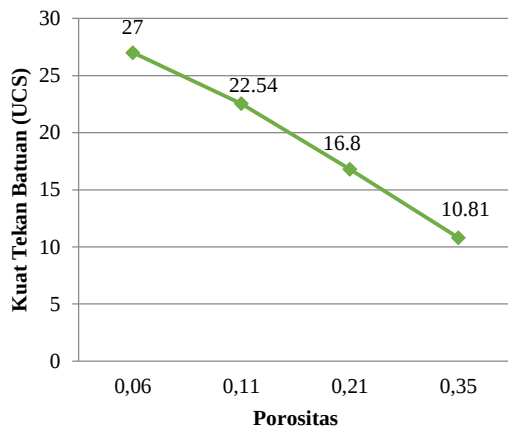
$$Y = 75,324 - 161,151X$$

3. Batulempung

Dari hasil Uji Korelasi didapatkan nilai korelasi Pearson (r) sebesar 0,995. Nilai tersebut berdasarkan uji korelasi termasuk ke dalam kategori korelasi sempurna (0,81-1). Namun, bila dilihat dari notasi negatif (-) yang terdapat sebelum angka korelasi, hal ini menunjukkan bahwa hubungan yang terbentuk berupa hubungan negatif, yang berarti setiap kenaikan nilai variabel bebas, akan menurunkan nilai variabel terikat begitupun sebaliknya.

Pada penelitian ini, yang berperan sebagai variabel bebas adalah porositas, sedangkan variabel terikatnya adalah kekuatan batuan. Korelasi antara porositas dengan UCS pada batupasir dapat dilihat secara mudah pada grafik 3.

Grafik 3. Korelasi Porositas dengan UCS pada Batulempung



Dari hasil perhitungan Uji Regresi Linear pada litologi batulempung, didapatkan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,992 dan determinasi (R^2) sebesar 0,983 yang mengandung pengertian bahwa pengaruh variabel bebas (X) (porositas) terhadap variabel terikat (Y) (UCS) adalah sebesar 98,3%.

Didapatkan pula nilai konstanta (a) sebesar 29,409 yang mengandung arti bahwa nilai konsisten variabel UCS adalah sebesar 29,409. Lalu didapatkan koefisien regresi X (b) sebesar -54,497. Dikarenakan koefisien regresi bernilai negatif, maka dapat dikatakan bahwa arah pengaruh variabel X terhadap Y adalah negatif. Maksudnya adalah setiap kenaikan nilai variabel X , maka akan menurunkan nilai variabel Y atau sebaliknya.

Bentuk persamaan regresi pada batulempung Formasi Keutapang Atas dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y = a + bX$$

$$Y = 29,409 - 54,497X$$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Secara kualitatif dan kuantitatif berupa analisis kurva grafik Log Sinar Gamma, Log SP, evaluasi hasil *cutting*, serta perhitungan V_{sh} , profil litologi Formasi Keutapang Atas tersusun atas perselingan batulanau, batulempung, dan batupasir.
2. Porositas pada litologi batupasir termasuk ke dalam kategori sangat baik-istimewa. Porositas pada litologi batulanau termasuk kedalam kategori cukup-sangat baik. Porositas pada litologi batulempung termasuk kedalam kategori buruk-istimewa. Litologi batupasir memiliki kategori kuat tekan batuan (UCS) berkekuatan lemah-kuat. Litologi batulanau memiliki kategori kuat tekan batuan (UCS) berkekuatan sedang-kuat. Litologi batulempung memiliki kategori kuat tekan batuan (UCS) berkekuatan lemah-sedang.
3. Dari ketiga hasil uji korelasi pada litologi batupasir, batulanau, dan batulempung pada Formasi Keutapang Atas, dapat ditarik keputusan bahwa porositas dan kekuatan batuan (UCS) memiliki hubungan negatif dengan tingkat korelasi sempurna. Berdasarkan hasil Uji Regresi Linear, ditarik kesimpulan bahwa porositas dan kekuatan batuan (UCS) pada ketiga jenis litologi pada Formasi Keutapang Atas saling berpengaruh negatif yang artinya semakin besar nilai porositas, maka semakin kecil nilai kuat tekan batuan (UCS) dan sebaliknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arthur, W. 1959. *Oil Well Drilling Technology*. Oklahoma: University of Oklahoma Press.
- Asquith, G. B. & Gibson, C. R. 1982. *Basic Well Log Analysis for Geologist*. Tulsa: AAPG.

- Atmadibrata, R.M.R. 1988. *Top of Abnormal Pressure Zone Prediction in the Arun Field, North Sumatra*. Jakarta: PIT. IAGI XVII 1988.
- Barber, A. J., et.al. 2005. *Sumatra: Geology, Resources, and Tectonic Evolution*. London: Geology Society Memoirs No.31.
- Darman, H. dan Sidi, H.F. 2000. *An Outline of The Geology of Indonesia*. Jakarta: Ikatan Ahli Geologi Indonesia Vol. 20.
- Fauzi, R. R. 2017. Karakteristik Formasi Keutapang Berdasarkan Data Log Sumur di Ladang Gas Arun, Aceh, Sumatra Utara.[Skripsi]. Bandung: Universitas Padjadjaran.
- Harsono, A. 1997. *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log*. Jakarta: Schlumberger Oilfield Service Indonesia.
- Katili, J.A. 1975. Volcanism and Plate Tectonics in the Indonesia Island Arcs. *Tectonophysics*, 165-188.
- Koesoemadinata, R.P. 1980. *Geologi Minyak dan Gas Bumi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Rider, Malcolm. 2002. *The Geological Interpretation of Well Logs. 2nd Edition Revised*. Caithness, KW5 6DW, Scotland.
- Schon, J.H. 2011. *Physical Properties of Rocks: A Workbook. Handbook of Petroleum Exploration and Production*. UK: Elsevier.
- Soeparjadi, R. A. 1983. *Geology of the Arun Gas Field*. SPE Paper No.10486. Presented at Offshore South East Asia Conference. Singapore. 21-24 February 1982.
- Sosromihardjo, S. P. C. 1988. Structural analysis of the North Sumatra Basin-with emphasis on Synthetic Aperture Radar data. Indonesian Petroleum Association, Proceedings of the 17th Annual Convention, Jakarta. 1, 187-210.
- Sudarmoyo dan P. Subiatmono. 2001. Hubungan Kuat Tekan dengan Porositas. Yogyakarta: Proseeding Simposium Nasional IATMI.
- Sudjana. 2005. *Metode Statistika*. Bandung: Penerbit Tarsito.
- Tjigugur(Priangan), W.Java : Verth. Geol. Mijnb. Genootshap. Geol. Serie 14, p.37-70.
- Sutedja, J., 1972. Geologi Daerah Cibuluh-Cidaun, lembar 33-d Kabupaten Tjiandjur, Djawa Barat. Univ. Padjadjaran, M.S. Thesis (unpublished thesis).
- Schumm, S.A. 1956. Evolution Processes and Landforms in Badland National Momment, South Dakota. Bull. Geol.Soc. Am. 67.
- Shimano, Y. 1992. Hydro-Geomorphological characteristics in Japan. In: Kayane (1992a),21-59.
- Shreve, R.L. 1967. Infinite topologically random channel network, J.Geol., 77, 399-414.
- Smith, K.G. 1950. Standars for grading texture of eosional topography, Am. J. Sci., 248,655-668.
- Soewarno. 1991. Aplikasi Metode Statistik untuk Data Hidrologi. Bandung : Nova.
- Sosrodarsono, S., dan K. Takeda. 2003. Hidrologi untuk Pengairan. Jakarta. Pradnya Paramita.
- Strahler A.N. 1952. Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topology. Geological Society of America Bulletin 63.
- Sukiyah, Emi. 2009. Model bentang alam vulkanik Kuarter Di Cekungan Bandung Bagian Selatan, Bandung: Disertasi, Program Pascasarjana Universitas Padjadjaran. Tidak dipublikasikan. 277h.
- Sukiyah. E. Dan Mulyono. 2007. Morfometri Daerah Aliran Sungai Pada Bentang Alam Vulkanik

- Kwarter Terdeformasi. Bulletin of Scientific Contribution Vol.5, No.3. Bandung
- Sulaksana, N., Sukiyah, E., Syafrudin, A., dan Haryanto, E.T. 2013. Karakteristik Geomorfologi DAS Cimanuk Bagian Hulu dan Implikasinya Terhadap Intensitas Erosi Serta Pendangkalan Waduk Jatigede. Bionatura-Jurnal Ilmu Hayati dan Fisik, Volume 15, No.2.pp. 100-106.
- Suripin. 2004. Sistem Drainage Perkotaan Yang Berkelanjutan. Yogyakarta. Andi Offset.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. The Geology of Indonesia, volume I.A. The Hague Martinus Nijhoff, Netherland.
- Van Zuidam, R.A. 1985. Aerial Photo-Interpretation in Terrain analysis and Geomorphologic Mapping. Smits Publishers The Hague Netherland. 422h.
- Verstappen, H. Th. 1983. Apllied Geomorphology: Surveys for Environment Development. New York: Elsevir Sccience Pub. Co. Inc. 437p..