

BAB III

KARAKTERISASI RESERVOIR DAN ANALISIS PETROFISIKA

Karakterisasi reservoir merupakan serangkaian upaya terintegrasi yang dilakukan dalam menentukan kualitas reservoir. Dalam melakukan karakterisasi reservoir, analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini dibagi menjadi dua bagian utama yaitu analisis fasies dan lingkungan pengendapan, serta analisis petrofisika untuk evaluasi formasi.

III.1 Analisis Fasies dan Lingkungan Pengendapan

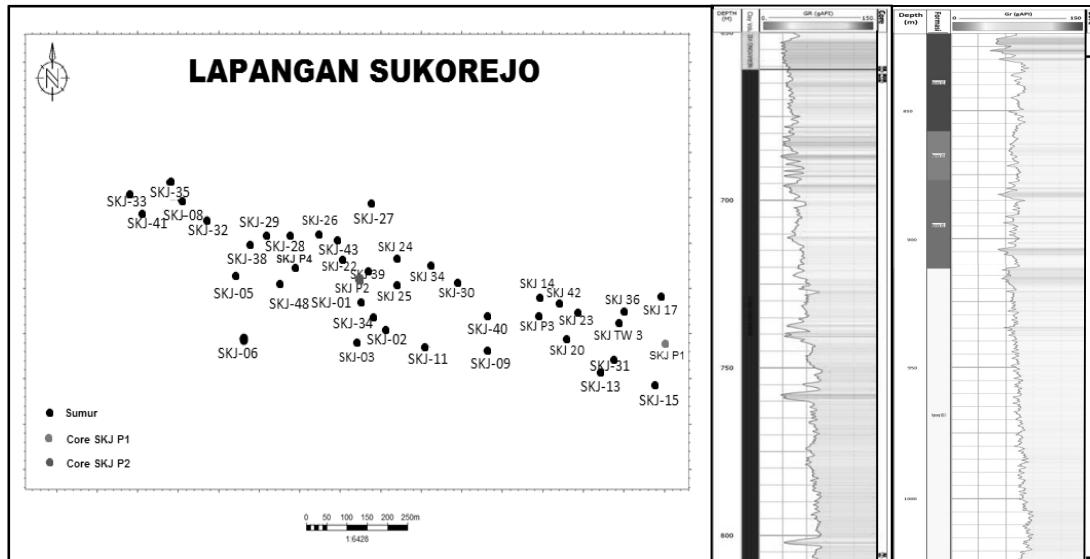
Geometri reservoir sangat diperlukan dalam penentuan solusi kebumian, khususnya dalam studi bawah permukaan untuk mengetahui bentuk dan dimensi dari suatu sistem pengendapan. Geometri reservoir dapat diketahui dengan melakukan analisis fasies dan lingkungan pengendapan. Berdasarkan Martodjodjo dan Djuhaeni (1996) fasies adalah aspek fisika, kimia, dan biologi suatu endapan dalam kesamaan waktu. Analisis fasies dan lingkungan pengendapan dilakukan untuk mendapatkan persebaran fasies reservoir dalam interval waktu geologi yang sama, sehingga geometri dari reservoir dapat diidentifikasi.

Data yang diolah dan dianalisis merupakan hasil integrasi dari data log sumur yang terdiri dari 30 sumur dengan data biostratigrafi pada sumur SKJ-P4, data deskripsi batuan inti, data hasil deskripsi petrografi, SEM dan SCAL dari Sumur SKJ-P1, serta data deskripsi batuan inti Sumur SKJ-P2.

III.1.1 Analisis Litofasies, Elektrofasies, dan Asosiasi Fasies

Analisis menggunakan batuan inti wilayah penelitian sangat penting dilakukan dengan tujuan untuk memberikan informasi litologi di bawah permukaan secara pasti. Analisis batuan inti memegang peranan penting sebagai informasi utama dan langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini. Oleh sebab itu, data batuan inti diintegrasikan dengan data log sumur dalam interpretasi fasies pada sumur yang tidak memiliki data batuan inti.

Data batuan inti yang tersedia pada Lapangan Sukorejo berada pada Sumur SKJ-P1 dan SKJ-P2. Panjang masing-masing dari interval batuan inti pada sumur Sumur SKJ-P1 dan SKJ-P2 ini berturut-turut adalah 21,2 m dan 4,5 m. Data tersebut berada pada kedalaman 660 - 680m dan 804 - 805,2 m untuk sumur SKJ-P1, serta kedalaman 828,5-829,5 m dan 1021-1024,5 m untuk sumur SKJ-P2.



Gambar III.1 Posisi Batuan Inti Sumur SKJ-P1 dan SKJ-P2 pada peta indeks.

Data deskripsi batuan inti yang tersedia meliputi litologi, tekstur, dan struktur sedimen. Selanjutnya dari data tersebut, deskripsi batuan inti difokuskan pada penentuan litofasies, asosiasi fasies, dan lingkungan pengendapan pada target interval daerah penelitian. Kedalaman batuan inti akan dikoreksi dengan data log pada sumur terkait dengan melakukan kesepadan data batuan inti dengan log sumur.

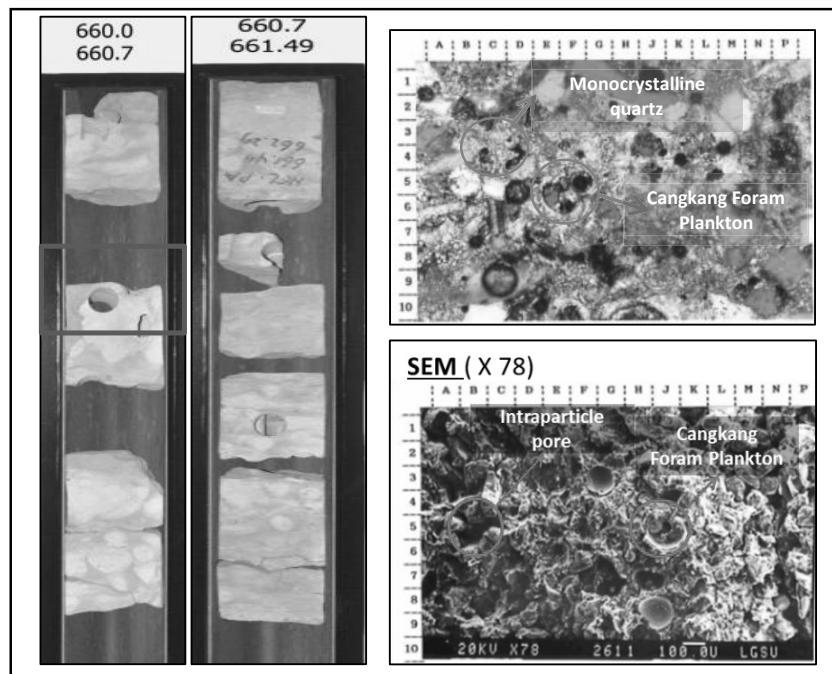
III.1.1.1 Analisis Litofasies

Deskripsi litologi batuan inti meliputi warna batuan, kekerasan, ukuran butir, bentuk butir, sortasi dan komposisi mineral. Tubuh batuan yang dicirikan oleh kombinasi tertentu dari litologi, struktur fisik, dan biologi yang memberikan aspek yang dapat dibedakan dengan tubuh batuan di atas, bawah, maupun secara lateral yang berdekatan disebut fasies (Walker dan James, 1992). Litofasies merupakan terminologi untuk fasies yang secara khusus dibedakan berdasarkan dari ciri fisik litologinya.

Berdasarkan deskripsi batuan inti dan petrografi pada Sumur SKJ-P1 dan batuan inti pada Sumur SKJ-P2, didapatkan tujuh litofasies batupasir dan satu litofasies batulempung. Penamaan litofasies dalam penelitian ini dikelompokkan berdasarkan kesamaan karakteristik tertentu pada masing masing litofasies.

a. Batupasir Gampingan Sangat Halus (Slvf)

Litofasies ini dicirikan oleh Batupasir gampingan, abu-abu, kekerasan sedang, ukuran butir sangat halus, bentuk butir membundar tanggung, sortasi sedang, porositas intergranular (5,7%), intragranular (5,7%), terdiri dari butir mineral kuarsa (15%), mineral feldspar (2,4%), mineral kalsit (2,4%), mineral glaukonit (2%), fragmen batuan (2,6%), mineral mika (1,5%), matrik berupa *carbonate mud* (4,5%) , *argillaceous matrix* (1%), semen *microspar* (13,2%), *sparry kalsit* (7,2%); mineral lempung (1,5%), silika (0,9%). Kehadiran biogenik dan bioklastik terdiri dari foraminifera plaktonik (27,5%), foraminifera bentonik (5,7%), dan bioklastik (1,2%). Ketebalan litofasies pada data batuan inti berkisar 1,49 m dan hanya terdapat pada interval bagian atas dari data batuan inti Sumur SKJ-P1 yang merupakan bagian dari Formasi Tawun lapisan V.

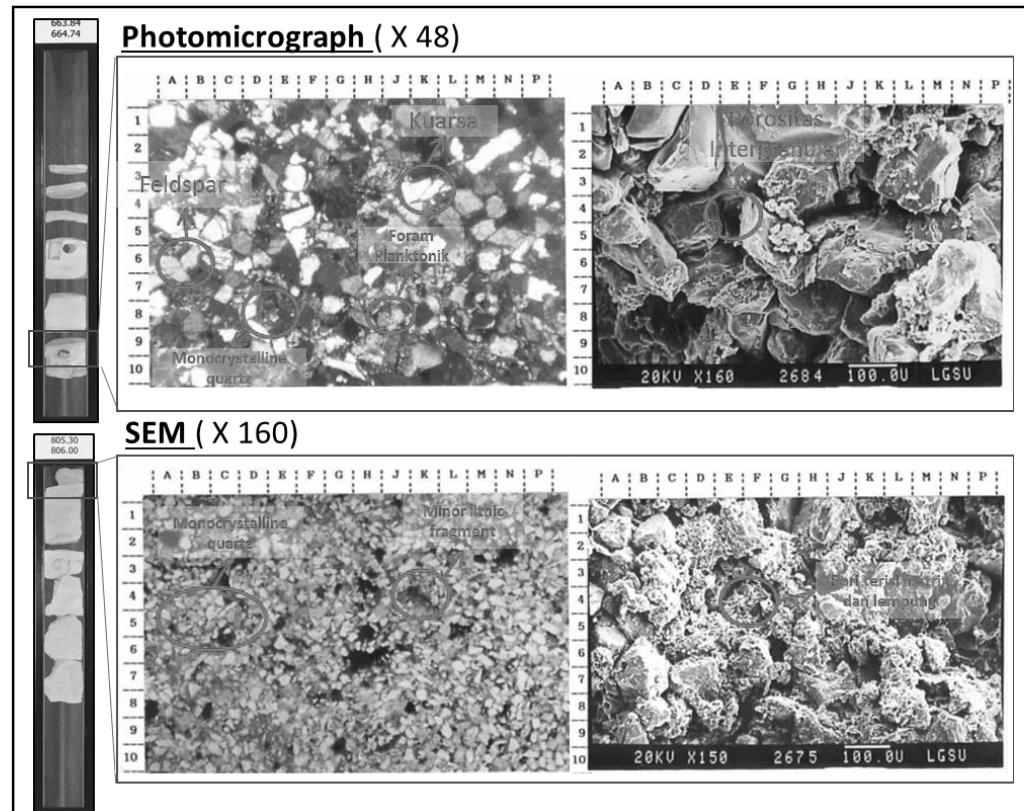


Gambar III.2 Foto batuan inti dan petrografi litofasies Slvf dari Sumur SKJ-P1.

b. Batupasir Subarkose Halus sampai Sangat Halus (Ssf)

Litofasies ini dicirikan oleh batupasir subarkose, bewarna coklat, kekerasan *friable* - sedang, ukuran butir sangat halus-halus, bentuk butir menyudut tanggung – membundar tanggung, sortasi sedang, porositas intergranular (12,6%), terdiri dari butir mineral kuarsa (60%), kalsit (4%), feldspar (2,8%), glaukonit (3%), material organik (0,6%), fragmen batuan (1%), mineral berat (0,3%), matrik berupa *carbonate*

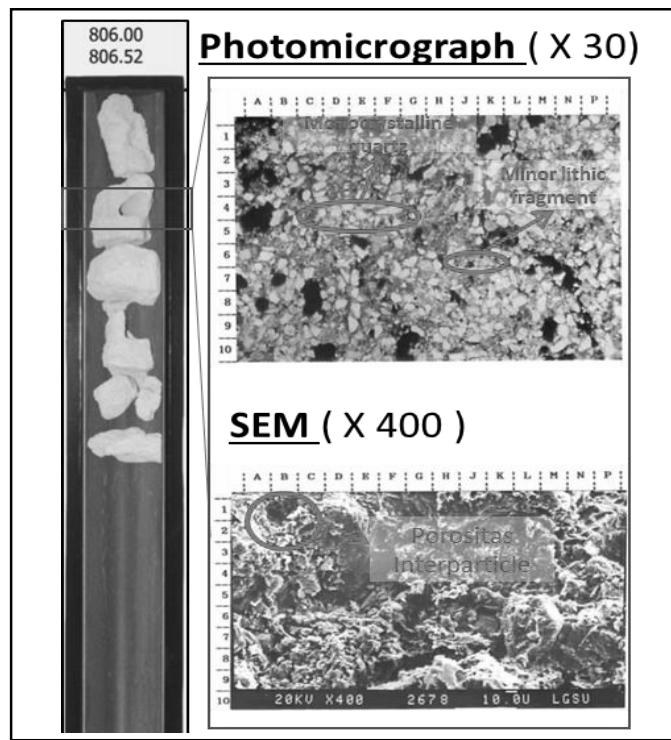
mud (3,6%) dan *argillaceous matrix* (1,7%), semen *sparry calcite* (3,5%). Kehadiran biogenik dan bioklastik terdiri dari alga merah (0,6%), *arenaceous forams* (5,1 %), dan foram besar (1,2%). Ketebalan litofasies pada data batuan inti ini berkisar 3,71 m pada Sumur SKJ-P1 yang merupakan bagian dari Formasi Tawun lapisan VIII.



Gambar III.3 Foto batuan inti dan petrografi litofasies Ssf dari Sumur SKJ-P1.

c. Batupasir Feldspatic Greywacke Sangat Halus (Sfvf)

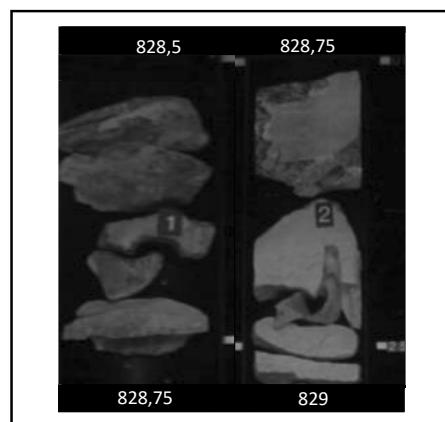
Litofasies ini dicirikan oleh Batupasir feldspatic greywacke, abu-abu, ukuran butir sangat halus, menyudut tanggung – membundar tanggung, sortasi sedang, porositas intergranular (7,5%), dominasi mineral feldspar, kuarsa, dan material karbonat. Terdiri dari butir mineral kuarsa (40,6%), feldspar (28%), *organic matter* (2,8%), fragmen batuan (0,6%), mineral berat (0,3%), matrik *argillaceous* matrik (15,3%), semen *sparry calcite* (1%). Kehadiran Biogenik dan bioklastik terdiri dari foraminifera planktonik(0,6%), foraminifera bentonik (1,5%), bioklastik (1,2%), dan fragmen moluska (0,6%). Ketebalan litofasies pada batuan inti berkisar 0,52 m dan terdapat pada data batuan inti Sumur SKJ-P1 yang merupakan bagian dari Formasi Tawun lapisan VIII.



Gambar III.4 Foto batuan inti dan petrografi litofasies Sfvf dari Sumur SKJ-P1.

d. Batupasir Masif Sangat Halus-Halus (Smf)

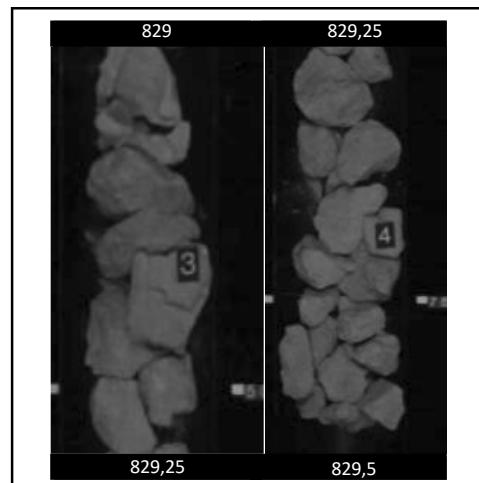
Litofasies ini dicirikan oleh batupasir, bewarna abu-abu, kekerasan keras-sangat keras, ukuran butir sangat halus - halus , bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi sedang , porositas intergranular, terdiri dari butir mineral kuarsa, kalsit, feldspar, litik fragmen, dengan matrik *argillaceous*. Ketebalan litofasies pada data batuan inti berkisar 0,5 m dan terdapat pada batuan inti Sumur SKJ-P2 yang merupakan bagian dari Formasi Tawun VIII.



Gambar III.5 foto batuan inti litofasies Smf dari Sumur SKJ-P2.

e. Batupasir Lepas Masif Sangat Halus - Halus (Sfmf)

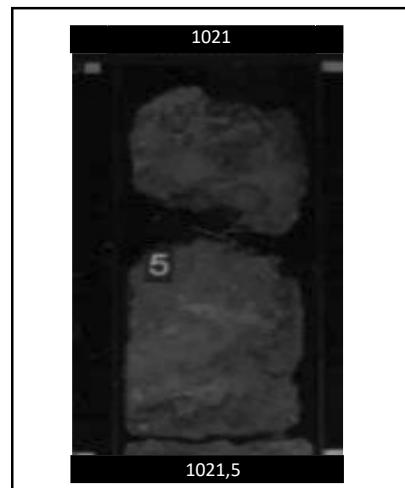
Litofasies ini dicirikan oleh batupasir, berwarna coklat, kekerasan *friable*, ukuran butir sangat halus – halus, bentuk butir menyudut tanggung – membundar tanggung, sortasi buruk-sedang, komposisi butir mineral kuarsa, kalsit, sedikit fossil, dan mineral mika. Ketebalan litofasies pada batuan inti berkisar 0,5 m dan terdapat pada batuan inti Sumur SKJ-P2 yang merupakan bagian dari Formasi Tawun VIII.



Gambar III.6 Foto batuan inti litofasies Sfmf dari Sumur SKJ-P2.

f. Batulempung Masif (Cm)

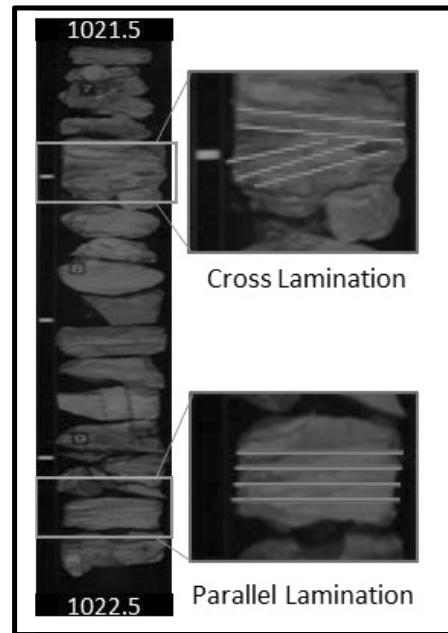
Litofasies ini dicirikan oleh batulempung, berwarna coklat, kekerasan sedang, ukuran butir lempung, komposisi mineral lempung. Ketebalan litofasies pada batuan inti berkisar 0,5 m dan terdapat pada bagian bawah batuan inti Sumur SKJ-P2 yang merupakan bagian dari Formasi Tawun VIII.



Gambar III.7 Foto batuan inti litofasies Cm dari Sumur SKJ-P2.

g. Batupasir *Parallel - Cross Laminasi Sangat Halus* (Spcvf)

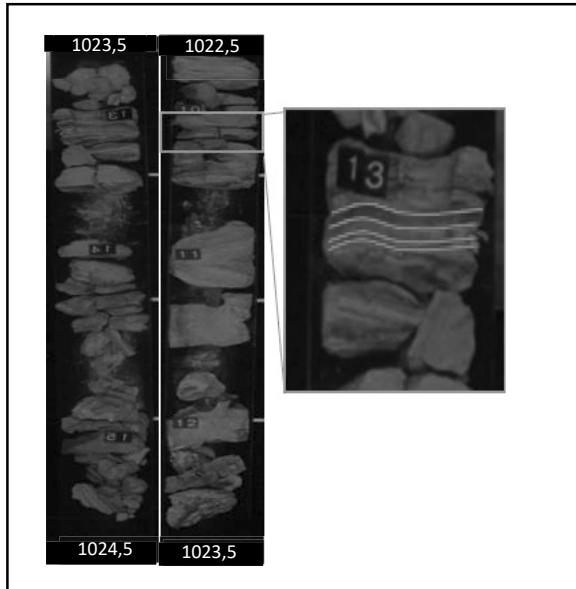
Litofasies ini dicirikan oleh batupasir, berwarna coklat , kekerasan *friable* , ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi sedang, komposisi butir mineral kuarsa, kalsit, dan sedikit mika. Struktur sedimen berupa *parallel* dan *cross* laminasi. Ketebalan litofasies pada data batuan inti berkisar 1,25 m dan terdapat pada batuan inti Sumur SKJ-P2 yang merupakan bagian dari Formasi Tawun VIII.



Gambar III.8 Foto batuan inti litofasies Spcvf dari Sumur SKJ-P2.

h. Batupasir *Wavy Sangat Halus* (Swvf)

Litofasies ini dicirikan oleh batupasir, coklat, *friable* - sedang , ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi buruk, komposisi butir mineral kuarsa, kalsit, aragonit, dan mika. Struktur sedimen berupa laminasi bergelombang perselingan batupasir batuempung. Ketebalan litofasies pada batuan inti berkisar 2 m dan terdapat pada batuan inti Sumur SKJ-P2 yang merupakan bagian dari Formasi Tawun VIII.



Gambar III.9 Foto batuan inti litofasies Swf dari Sumur SKJ-P2.

Tabel III.1 Pemerian detail batuan inti Sumur SKJ-P1.

Kedalaman (m)		Deskripsi	Litofasies	Kode
Top	Bottom			
660	660,7	Batupasir gampingan, abu-abu, kekerasan sedang, ukuran butir sangat halus, bentuk butir membundar tanggung, sortasi baik, berfosil foraminifera planktonik, butir mineral kalsit, silika, mika, dan glaukonit.	Batupasir	Slvf
660,7	661,49	Batupasir gampingan, abu-abu, kekerasan sedang-keras, ukuran butir sangat halus-halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi sedang, butir mineral kalsit, silika, berfosil foraminifera planktonik, mika, mineral glaukonit dan mikrokristalin kuarsa.	Gampingan Sangat Halus	
661,49	662,29	Batupasir subarkose, coklat keabuan, keras, bentuk butir menyudut – membundar tanggung, sortasi baik, komposisi butir kalsit, silika, mika.	Batupasir Subarkose Halus sampai Sangat Halus	Ssf
662,29	663,15	Batupasir, kekerasan sedang, ukuran butir		

		sangat halus sampai halus, sortasi sedang, komposisi butir kalsit, glaukonit, mika, dan argilik.		
663,15	663,84	Batupasir gampingan, abu-abu, ukuran butir halus sampai sangat halus, bentuk butir membundar tanggung, sortasi sedang, komposisi butir kalsit, glaukonit, argilik, mika dan berfosil foraminifera planktonik.	Batupasir Gampingan Sangat Halus sampai Halus	Slvf
663,84	664,74	Batupasir subarkose, coklat, kekerasan <i>friable</i> - sedang, ukuran butir sangat halus-halus, bentuk butir menyudut - membundar tanggung, sortasi sedang, komposisi butir kalsit, argilik, dan glaukonit.	Batupasir Subarkose Halus sampai Sangat Halus	Ssf
805,3	806	Batupasir subarkose, abu-abu, ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut - membundar tanggung, sortasi sedang, dominasi mikrokristalin kuarsa, dan sedikit mineral feldspar, dan litik fragment.	Batupasir	
806	806,52	Batupasir Feldspatic greywacke, abu-abu, ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut - membundar tanggung, sortasi sedang, dominasi butir mineral feldspar, kuarsa, dan material karbonat.	Feldspatic Greywacke Sangat Halus	Sfvf

Tabel III.2 Pemerian detail batuan inti Sumur SKJ-P2.

DEPTH (m)		Deskripsi Lengkap	Litofasies	Kode
Top	Bottom			
828,5	828,75	Batupasir, abu-abu, kekerasan keras - sangat keras, ukuran butir sangat halus - halus , bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi sedang , komposisi butir mineral kalsit dan sedikit	Batupasir Masif Sangat Halus- Halus	Smf

		fossil		
828,75	829	Batupasir, abu-abu, kekerasan sangat keras sangat halus – halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi sedang, komposisi butir mineral kalsit.	Sfmf	Batupasir Lepas Masif Sangat Halus – Halus
829	829,25	Batupasir, coklat, kekerasan <i>friable</i> , ukuran butir sangat halus – halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi buruk-sedang, komposisi butir mineral kalsit, sedikit fossil, dan mika.		
829,25	829,5	Batupasir, coklat, kekerasan <i>friable</i> , ukuran butir sangat halus – halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi buruk-sedang, komposisi butir mineral kalsit, sedikit fossil, dan mika.		
1021	1021,3	Batulempung, abu kecoklatan, kekerasan sedang, komposisi mineral lempung.	Batulempung Masif	Cm
1021,3	1021,6	Batupasir, abu kecoklatan, kekerasan <i>friable</i> , ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi sedang, komposisi butir mineral kalsit dan sedikit mika	Spcvf	Batupasir <i>Parallel - Cross</i> Laminasi Sangat Halus
1021,6	1022	Batupasir, abu kecoklatan, kekerasan <i>friable</i> , ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi sedang, komposisi butir mineral kalsit dan sedikit mika		
1022	1022,3	Batupasir, abu kecoklatan, kekerasan <i>friable</i> , ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi sedang, komposisi kalsit, sedikit mika		
1022,3	1022,6	Batupasir, abu kecoklatan, kekerasan <i>friable</i> – sedang, ukuran butir sangat halus, bentuk		

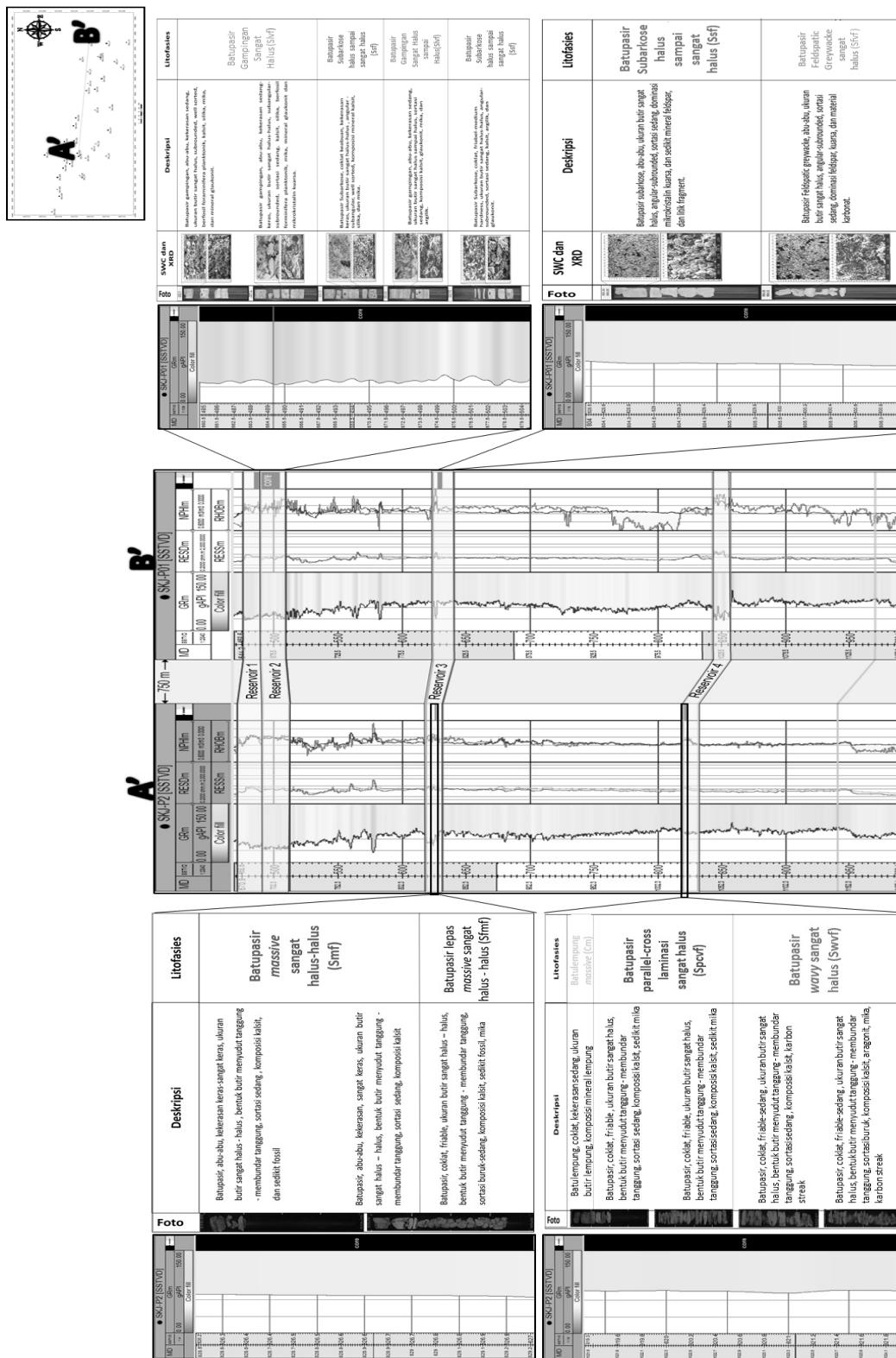
		butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi buruk, komposisi butir mineral kuarsa dan kalsit.		
1022,6	1023	Batupasir, coklat, kekerasan <i>friable</i> - sedang, ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi sedang, komposisi butir mineral kuarsa dan kalsit.		
1023	1023,3	Batupasir, coklat, kekerasan <i>friable</i> - sedang, ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi sedang, komposisi butir kuarsa dan kalsit.		
1023,3	1023,6	Batupasir coklat sedang sangat halus menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi buruk, komposisi butir mineral kuarsa, kalsit, dan aragonite.		
1023,6	1024	Batupasir, coklat, kekerasan <i>friable</i> - sedang, ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi buruk, komposisi kalsit, dan aragonit.	Batupasir <i>Wavy</i> Sangat Halus	Swvf
1024	1024,2 5	Batupasir, coklat, kekerasan <i>friable</i> - sedang, ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi buruk, komposisi kuarsa, kalsit, dan mika.		
1024,25	1024,5	Batupasir, coklat, kekerasan <i>friable</i> - sedang, ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut tanggung - membundar tanggung, sortasi buruk, komposisi butir kuarsa, kalsit, dan mika.		

III.1.1.2 Analisis Elektrofasies dan Kesepadan Batuan Inti terhadap Log

Analisis elektrofasies dilakukan untuk mendapatkan informasi geologi berupa fasies dengan menghubungkan analisis pada data log sumur yang memiliki data batuan inti dengan data log sumur yang tidak memiliki data batuan inti.

III.1.1.2.1 Analisis dan Kesepadan Batuan Inti Terhadap Pola Log

Interpretasi batuan inti tidak dapat berdiri sendiri dan perlu diintegrasikan dengan data log sumur. Sebelum diintegrasikan dengan data log sumur yang tidak memiliki data batuan inti, maka perlu dilakukan kesepadan batuan inti terhadap sumur yang memiliki batuan inti. Hal ini bertujuan agar diketahui karakter log masing-masing interval yang menunjukkan suatu asosiasi fasies tertentu yang terdapat pada Sumur SKJ-P1 dan Sumur SKJ-P2. Analisis elektrofasies berdasarkan model respon pola log sinar gamma terhadap beberapa variasi ukuran butir yang mencirikan asosiasi endapan sedimen pada lingkungan pengendapan tertentu (Kendall dkk, 2003). Kesepadan batuan inti terhadap data log sumur dilakukan untuk masing-masing interval reservoir pada Sumur SKJ-P1 dan Sumur SKJ-P2.



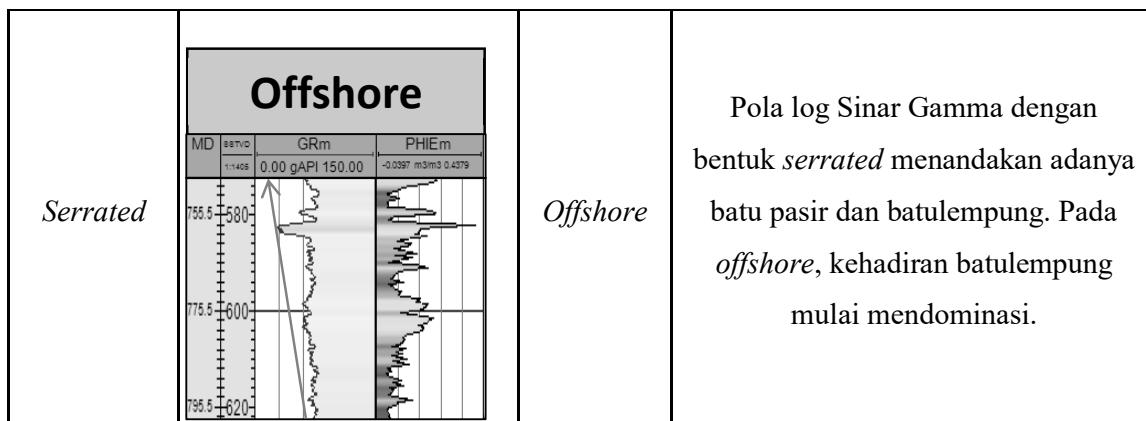
Gambar III.10 Kesepadanan batuan inti dan log sumur.

III.1.1.2.2 Analisis Elektrofasies

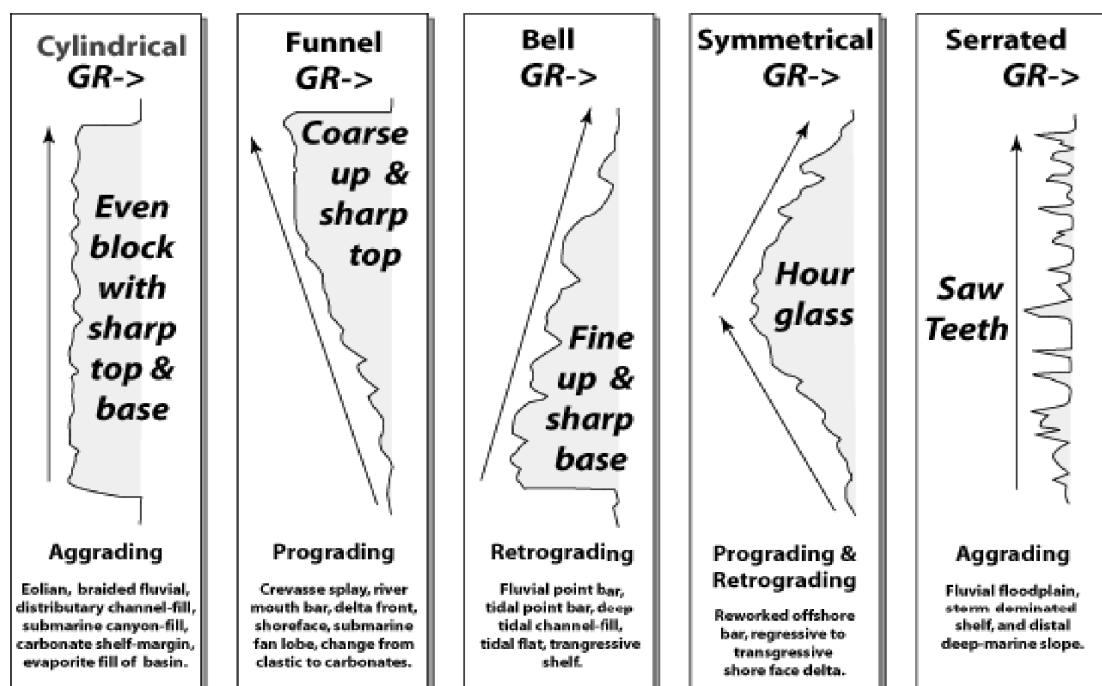
Elektrofasies memuat hasil interpretasi fasies yang kemudian dihubungkan atau dikaitkan dengan data log agar diperoleh pengelompokan batuan berdasarkan pola log yang dibentuk dengan fasies pengendapannya. Pembuatan elektrofasies ini pertama kali dimulai dengan interpretasi fasies yang kemudian disepadankan dengan respon log sinar gamma sumur tersebut. Setelah mengetahui suksesi secara vertikal, log sinar gamma kemudian dihubungkan dengan sumur lain yang memiliki data batuan inti. Interpretasi elektrofasies ini juga didasarkan pada model respon pola log sinar gamma terhadap beberapa variasi ukuran butir yang mencirikan lingkungan pengendapan tertentu dan asosiasi endapan sedimen dari sub lingkungan tertentu oleh Kendall,dkk.,(2003)(Gambar III.11). Penentuan elektrofasies berdasarkan pola log sinar gamma yang dikaitkan dengan asosiasi fasies tertentu dapat dilihat pada Tabel III.3 hasil analisis elektrofasies pada lapangan sukorejo di bawah ini.

Tabel III.3 Analisis elektrofasies Lapangan Sukorejo pada contoh Sumur SKJ-P1.

Pola Log	Bentuk Wireline Log	Asosiasi Fasies	Keterangan
<i>Funnel Shape - Cylindrical</i>	<p>Upper Shoreface</p>	<i>Upper Shoreface</i>	Pola log Sinar Gamma dengan bentuk corong (<i>funnel</i>) yang mendekati bentuk <i>cylindrical</i> dengan didominasi ukuran butir pasir menandakan fasies <i>upper shoreface</i> .
<i>Funnel Shape</i>	<p>Lower Shoreface</p>	<i>Lower Shoreface</i>	Pola log Sinar Gamma dengan bentuk corong (<i>funnel</i>) dan kehadiran bentuk <i>serrated</i> menandakan ukuran butir pasir mengasar keatas dengan kehadiran lempung.



General Gamma Ray Response to Variations in Grain Size



Gambar III.11 Respon log sinar gamma terhadap perubahan besar butir (Kendall dkk.,2003).

Kendall dkk. (2003) membagi respons log sinar gamma dalam lima bentuk, yaitu *cylindrical shape*, *funnel shape*, *bell shape*, *symmetrical shape*, dan *serrated shape*. Masing-masing bentuk tersebut dapat dijumpai pada beberapa lingkungan yang berbeda. Pola log *cylindrical shape* dicirikan dengan bentuk silinder yang mengindikasikan energi pengendapan yang konstan dan menerus tanpa ada gangguan (arus bersifat homogen).

- Pola log *cylindrical shape* dicirikan dengan bentuk silinder yang mengindikasikan energi pengendapan yang konstan dan menerus tanpa ada gangguan (arus bersifat homogen). Pola ini umumnya memiliki kontak atas dan kontak bawah yang tajam.

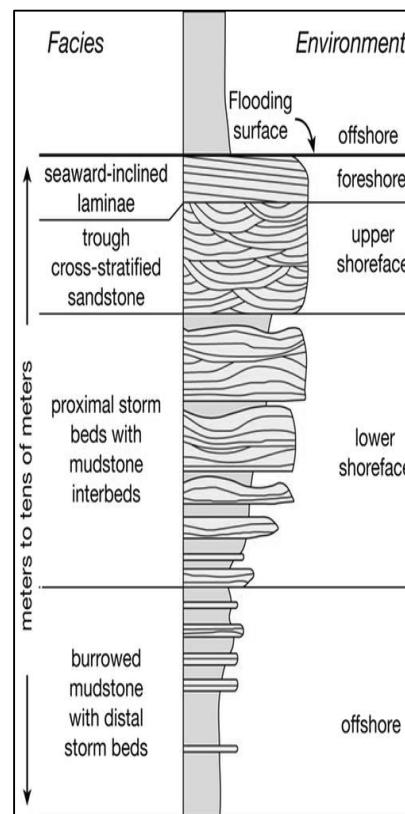
Pola *cylindrical shape* dapat diasosiasikan dengan endapan *eolian*, *braided fluvial*, *distributary channel-fill*, *carbonate shelf margin*, dan *evaporate fill of basin*.

- b. Pola *log funnel shape* menunjukkan pola stratigrafi batuan yang mengasar ke atas (*coarsening upward*) sebagai akibat dari peningkatan energi pengendapan. Pola ini umumnya memiliki kontak atas yang tajam. Pola *funnel shape* dapat diasosiasikan dengan endapan *crevasse splay*, *river mouth bar*, *delta front*, *shoreface*, *submarine fan lobe*, dan *change from clastic to carbonates*.
- c. Pola *log bell shape* menunjukkan pola stratigrafi batuan yang menghalus ke atas (*fining upward*) sebagai akibat dari penurunan energi pengendapan. Pola ini umumnya memiliki kontak bawah yang tajam. Pola *bell shape* dapat diasosiasikan dengan endapan *fluvial point bar*, *tidal point bar*, *deep-tidal channel-fill*, *tidal flat*, dan *transgressive shelf*.
- d. Pola *log symmetrical shape* menunjukkan pola stratigrafi mengasar ke atas (*coarsening upward*) diikuti oleh pola stratigrafis menghalus ke atas (*fining upward*) yang mengindikasikan adanya ketidakselarasan. Pola ini merupakan kombinasi dari pola *funnel shape* dan *bell shape* pada suatu sistem genesis yang sama. Pola *symmetrical shape* dapat diasosiasikan dengan endapan *reworked offshore bar* dan *regressive to transgressive shoreface delta*.
- e. Pola *log serrated shape* tidak menunjukkan pola stratigrafi tertentu dan mengindikasikan adanya penendapan yang selalu berubah dalam waktu singkat. Pola ini dapat diasosiasikan dengan endapan *fluvial floodplain*, *storm-dominated shelf*, dan *distal deep-marine slope*.

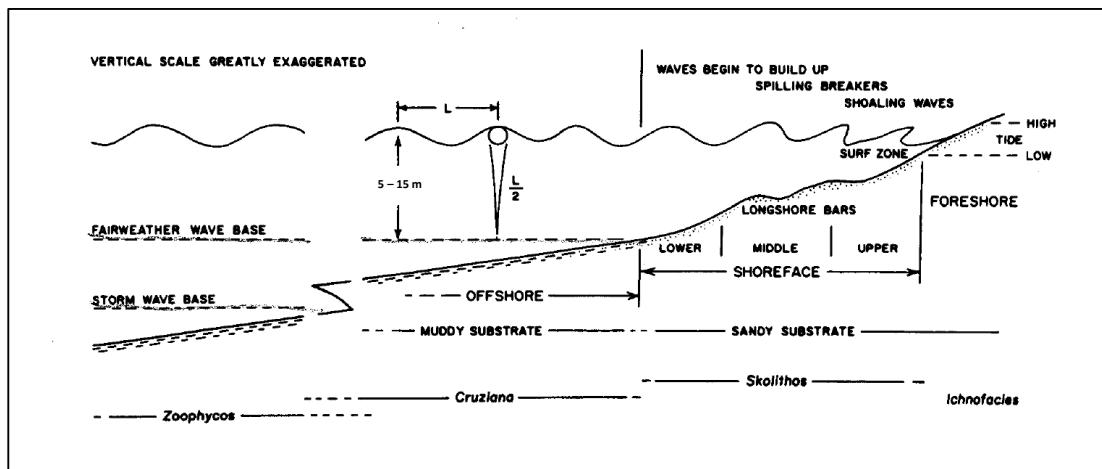
III.1.1.3 Analisis Asosiasi Fasies

Sekumpulan fasies yang memiliki hubungan genesa antara satu dengan lainnya dan memiliki kesamaan lingkungan pengendapan dapat dikelompokkan menjadi asosiasi fasies (Walker dan James, 1992). Analisis asosiasi fasies diperlukan untuk mengetahui pola pengendapan sehingga dapat ditentukan pola perulangan yang menunjukkan waktu pengendapan untuk analisis stratigrafi sikuen. Dengan melihat suksesi litofasies dan analisis elektrofasies, Formasi Tawun Lapangan Sukorejo dapat dikelompokkan menjadi tiga asosiasi fasies. Interpretasi asosiasi fasies ini menggunakan model Walker dan James

(1992) (Gambar III.11 dan Gambar III.12). Model asosiasi fasies tersebut dianggap mewakili dan merepresentasikan asosiasi fasies pada Formasi Tawun Lapangan Sukorejo.



Gambar III.12 Asosiasi fasies lingkungan laut dangkal (Walker dan James, 1992).



Gambar III.13 Profil sistem laut dangkal (Walker dan James, 1992).

Asosiasi fasies yang didapatkan dari hasil analisis litofasies dan elektrofasies adalah *upper shoreface*, *lower shoreface* dan *offshore*. Penjelasan untuk penentuan masing – masing asosiasi fasies pada Formasi Tawun Lapangan Sukorejo adalah sebagai berikut.

a. Upper Shoreface

Asosiasi fasies ini diinterpretasi dari data batuan inti Sumur SKJ-P1 dan Sumur SKJ-P2 pada interval reservoir Formasi Tawun. Asosiasi *upper shoreface* dicirikan dengan batupasir, berwarna coklat, kekerasan *friable* – sedang, ukuran butir sangat halus – halus, bentuk butir menyudut – membundar tanggung, sortasi sedang, komposisi kuarsa, kalsit, dan glaukonit. Struktur sedimen berupa *parallel* laminasi dan *cross* laminasi. Suksesi vertikal menunjukkan seri perulangan ukuran butir yang mengasar ke atas (*coarsening upward*) dengan ketebalan 7 - 10 m. Litofasies penyusun dari asosiasi fasies ini adalah Batupasir Subarkose Halus sampai Sangat Halus (Ssf), Batupasir *Parallel* - *Cross* Laminasi Sangat Halus (Spcvf), dan Batupasir Gampingan Sangat Halus sampai Halus (Slvf). Asosiasi fasies ini dibedakan dengan *lower shoreface* karena memiliki bentuk *funnel shape* dan *cylindrical* pada analisis elektrofasies tanpa kehadiran bentuk *serrated*.

b. Lower Shoreface

Asosiasi fasies ini diinterpretasi dari data batuan inti Sumur SKJ-P1 dan Sumur SKJ-P2 pada interval reservoir Formasi Tawun. Asosiasi *lower shoreface* dicirikan dengan batupasir, coklat, kekerasan *friable* – sedang, ukuran butir sangat halus, bentuk butir menyudut tanggung – membundar tanggung, sortasi buruk, komposisi butir kuarsa, kalsit, aragonit, dan mika. Struktur sedimen berupa gelembur gelombang. Suksesi vertikal menunjukkan seri perulangan ukuran butir mengasar ke atas (*coarsening upward*) dengan ketebalan 7-9 m. Litofasies penyusun dari asosiasi fasies ini adalah Batupasir *Wavy* Sangat Halus (Swvf) dan Batupasir Feldspatic Greywacke Sangat Halus (Sfvf). Asosiasi fasies ini dibedakan dengan *upper shoreface* karena memiliki bentuk *funnel shape* pada analisis elektrofasies dengan kehadiran bentuk *serrated* yang dapat dibedakan pada data log sumur.

c. Offshore

Asosiasi fasies ini diinterpretasi dari data batuan inti Sumur SKJ-P1 dan Sumur SKJ-P2 pada interval reservoir Formasi Tawun. Asosiasi *offshore* dicirikan dengan batu lempung, berwarna coklat, kekerasan sedang, ukuran butir lempung, komposisi mineral lempung dan batupasir, berwarna coklat, kekerasan *friable*, ukuran butir

sangat halus – halus, bentuk butir membundar tanggung, sortasi sedang, komposisi mineral kalsit, sedikit fosil, dan mineral mika. Suksesi vertikal menunjukkan seri perulangan ukuran butir mengasar ke atas (*coarsening upward*) dengan perselingan batupasir, batulempung dengan ketebalan 10 - 12 m. Litofasies penyusun dari asosiasi fasies ini adalah Batupasir Masif Sangat Halus - Halus (Smf), Batupasir Lepas Masif Sangat Halus – Halus (Sfmf), dan Batulempung Masif (Cm). Asosiasi fasies ini dibedakan dengan asosiasi fasies lain karena memiliki bentuk *serrated* dan terdapat kehadiran batulempung yang dominan tanpa ditemukan struktur sedimen yang menyertai.

III.2 Analisis Biostratigrafi

Pada Lapangan Sukorejo, analisis biostratigrafi berasal dari data sumur SKJ-P4. Analisis Biostratigrafi digunakan untuk mendapatkan umur, dan lingkungan pengendapan berdasarkan zona dari urutan kandungan fosil setiap lapisan menurut kedalamannya. Penentuan zonasi standard digunakan Zonasi Blow (1969). Hal ini diperlukan untuk menganalisis kondisi geologi dan juga kondisi pengendapan pada reservoir penelitian sehingga dapat dilakukan metode yang tepat dalam penentuan asosiasi fasies dan model pengendapan.

Berdasarkan hasil analisis biostratigrafi dari data laporan biostratigrafi foraminifera planktonik pada salah satu sampel data *cutting* pada kedalaman 724 – 726 m sumur SKJ-P4 diperoleh Formasi Tawun berada pada umur N11 - N12 atau Miosen Tengah yang dapat dilihat pada Tabel III.4.

Tabel III.4 Penentuan umur Formasi Tawun pada data biostratigrafi Sumur SKJ-P4.

Kala	Pleistosen				Pliosen				Miosen												OLIGOSEN		
	Atas				Tengah					Bawah													
	N23	N22	N21	N20	N19	N18	N17	N16	N15	N14	N13	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
Foraminifera Plankton, Blow (1969)																							
Gq. Altispira																							
Orbulina suturalis																							
Ga. Venezuela																							
Ga. Dehiscens																							
Ga. Praebulloidies																							
Gs. Trilobus																							
Gs. Sacculiferus																							
Gs. subquadratus																							
Sphs seminulina																							
Gt. Peripheroronda																							
Gt. Siakensis																							
Gt. Praemenardii																							
Gt. Mayeri																							
Gt. peripheroacuta																							
Gt. Obesa																							
Gt. praefohi																							
Gs. altiapertura																							

Penentuan zona batimetri dan lingkungan pengendapan ditentukan berdasarkan keberadaan fosil-fosil foraminifera bentonik yang menjadi fosil penunjuk berdasarkan data biostratigrafi dari Sumur SKJ-P4 pada kedalaman 778 m. Dihasilkan bahwa Formasi Tawun diendapkan pada lingkungan laut dangkal atau neritik tepi sampai neritik tengah batimetri 0 – 100 m yang dipengaruhi oleh pasang surut.

Tabel III.5 Penentuan lingkungan pengendapan Formasi Tawun Sumur SKJ-P4 (Bandy, 1967).

Lingkungan Batimetri	NERITIK				BATIAL				ABISAL							
	0	30	100	200	500	1000	2000	5000	0	30	100	200	500	1000	2000	5000
Foraminifera Bentos Bandy (1967)																
<i>Uvigerina</i> sp																
<i>Cibicides</i> sp																
<i>Cancris oblonga</i>																
<i>Quinqueloculina</i> sp																
<i>Ammobaculites dilatatus</i>																
<i>Amphistegina</i> sp																
<i>Textularia</i> sp																
<i>Textulariella</i> sp																
<i>Eponides antillarum</i>																
<i>Robulus</i> sp																
<i>Nodosaria</i> sp																
<i>Cassidulina subglobosa</i>																

III.3 Analisis Lingkungan Pengendapan

Interpretasi suatu lingkungan pengendapan digunakan beberapa parameter penting yang saling diintegrasikan. Parameter penting ini berupa fosil, litologi, dan struktur sedimen yang didapatkan dari data batuan inti (Selley, 1985). Hasil pendefinisian parameter ini kemudian akan membentuk fasies pengendapan yang akan mengarahkan interpretasi terhadap suatu lingkungan pengendapan tertentu.

Litologi yang ditemukan pada batuan inti secara garis besar menunjukkan litologi batupasir dan batulempung. Litologi ini dapat berkembang di berbagai lingkungan pengendapan seperti sungai, transisi dan laut dalam namun tidak berkembang dominan pada lingkungan *reef*. Kajian selanjutnya dibatasi pada mineral penciri seperti kuarsa dan glaukonit. Ditemukannya kuarsa dengan pemilahan serta kebundaran baik menandakan lingkungan pengendapan berada pada lokasi yang sudah jauh dari batuan sumber. Adanya glaukonit yang ditemukan pada hampir sebagian besar bagian batuan inti kemudian membatasi lingkungan pengendapan pada daerah yang masih dipengaruhi proses laut (Tucker, 2003).

Berdasarkan hasil analisis dari data biostratigrafi foraminifera bentonik pada sumur SKJ-P4 diperoleh Formasi Tawun terendapkan pada lingkungan neritik tepi sampai neritik tengah. Selain itu, ditemukan juga beberapa struktur sedimen khas seperti: *cross laminasi* sebagai penciri adanya arus yang cukup kuat dan struktur laminasi bergelombang yang merupakan penciri sedimentasi yang dipengaruhi arus pasang surut.

Berdasarkan data *wirelinelog*, dapat terlihat bahwa secara umum Lapangan Sukorejo memiliki litologi yang mengasar ke atas (*coarsening upward*) dengan bentukan progradasi serta perselingan naik turun muka air laut ditandai dengan beberapa batas *flooding surface* dan *maximum flooding surface*.

Berdasarkan analisis dari data litologi, *wireline log*, biostratigrafi serta data pendukung lainnya maka lingkungan pengendapan Lapangan Sukorejo berada pada lingkungan laut dangkal pada zona Neritik Tepi sampai Neritik Tengah (0 – 100 m).

III.4 Analisis Stratigrafi Sikuen

Stratigrafi sikuen adalah studi mengenai hubungan batuan dengan kerangka waktu stratigrafi yang berulang dan sama secara genetis serta dibatasi oleh permukaan erosi, non-

deposisi, atau keselarasan padanannya (van Wagoner dkk., 1990). Sikuen adalah suatu stratum dasar dalam stratigrafi sikuen yang terdiri atas kumpulan stratum kecil (parasikuen) yang berhubungan secara genetis dan relatif selaras serta dibatasi oleh ketidakselarasan (*unconformity*) atau keselarasan padanannya (*correlative conformity*). Parasikuen adalah stratum atau unit stratigrafi yang saling terkait secara genetis atau merupakan genesis dari suatu lingkungan pengendapan tertentu yang memiliki hubungan selaras serta dibatasi oleh *flooding surface* (FS) dan/atau permukaan korelasinya (van Wagoner dkk., 1990).

Konsep stratigrafi sikuen tersebut dapat digunakan untuk melakukan korelasi bawah permukaan berdasarkan kesamaan waktu (kronostratigrafi). Korelasi stratigrafi sikuen digunakan untuk mengetahui hubungan stratigrafi berdasarkan kesamaan ruang dan waktu. Korelasi sikuen stratigrafi dilakukan dengan mengidentifikasi bidang stratigrafi berupa beberapa bidang set parasikuen yang ada pada interval penelitian.

III.4.1 Penentuan Komponen Stratigrafi Sikuen Interval Penelitian

Stratigrafi sikuen memiliki komponen-komponen penting yang dibagi berdasarkan hubungan stratigrafi, umur, batimetri, dan fasiesnya yang terdiri dari *sequence boundary* (SB), *flooding surface* (FS), dan *maximum flooding surface* (MFS) yang membagi sikuen menjadi beberapa *system tract*.

a. *Sequence Boundary* (SB)

Sequence boundary adalah suatu bidang ketidakselarasan (bidang erosi) atau keselarasan yang korelatif dengan ketidakselarasan tersebut yang terbentuk karena terjadinya penurunan muka air laut relatif (Posamentier dan Allen, 1999). Bidang stratigrafi ini memiliki bidang tunggal dengan penyebaran yang luas, memisahkan batas batuan di atas dan di bawah dalam unit stratigrafi yang berbeda (van Wagoner dkk., 1990). Penentuan SB dapat dikalibrasikan dari data batuan dan data log. Jika data batuan tidak tersedia, maka karakter log *blocky* dan *channel* regional dapat dipakai untuk menentukan posisi SB (Posamentier dan Allen, 1999).

Batas sikuen dapat dibedakan menjadi dua tipe (van Wagoner dkk., 1990). Tipe I ditandai dengan penurunan akomodasi atau turunnya muka air laut di bawah garis pantai. Penurunan ini memicu lingkungan pengendapan bergeser secara tiba-tiba ke daerah fluvial sehingga sedimen selanjutnya yang terendapkan membentuk bidang

ketidakselarasan. Bidang ketidakselarasan ini umumnya berwujud sebagai *incised valley* atau *onlap* dari endapan pantai pada batas sikuen. Fasies yang terekam pada contoh batuan juga berubah menjadi mendangkal secara tiba-tiba, terlihat bidang erosi, dan terpotongnya endapan *marine shale* dengan fasies *channel* dari lingkungan darat. Penentuan SB tipe ini lebih baik jika dilakukan dengan integrasi antara data log dan data batuan.

Batas sikuen tipe II terjadi ketika muka air laut tidak turun di bawah garis pantai. Hal ini ditandai oleh perpindahan garis *onlap* dari pantai ke posisi lebih rendah, sedikit erosi permukaan, dan tereksposnya zona paparan (tanpa *incised valley*), serta perubahan pola parasikuen dari progradasional menjadi retrogradasional (terkadang agradasional) di atas batas sikuen. Penentuan marker SB Lapangan Sukorejo dapat dilihat pada Gambar III.16.

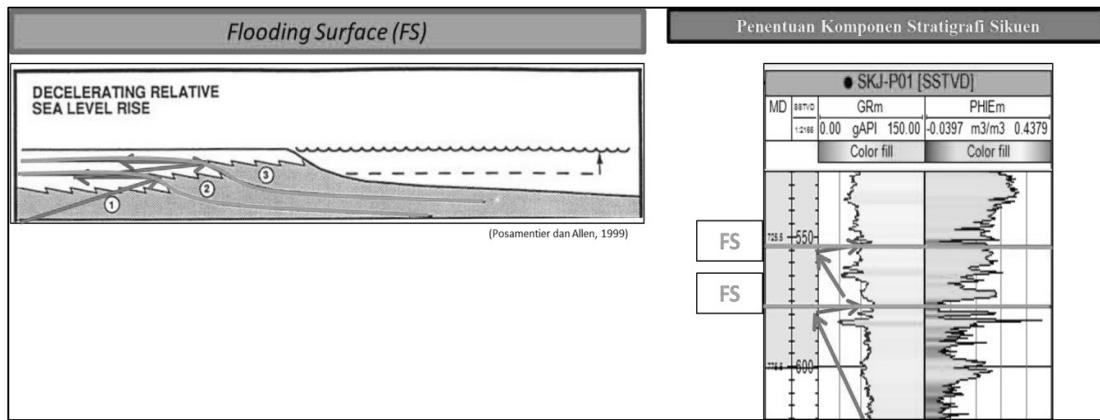
b. *Maximum Flooding Surface* (MFS)

Maximum Flooding Surface (MFS) adalah bidang yang terbentuk ketika terjadi transgresi maksimum atau saat laju pengendapan sangat kecil (van Wagoner dkk., 1990). Permukaan bidang ini ditandai dengan adanya *condensed section*. Muka air laut yang pada awalnya minimum bergerak naik sehingga laju akomodasi lebih besar daripada laju pengendapan sedimen. Kenaikan muka air laut ini mencapai titik maksimum hingga akhirnya bergerak turun kembali ke level yang lebih rendah. Titik maksimum kenaikan muka air laut disebut dengan *maximum flooding surface*. MFS menjadi batas atas dari *transgressive system tract* dan menjadi batas bawah dari *highstand system tract* (Posamentier dan Allen, 1999). MFS dapat diidentifikasi dengan defleksi log sinar gamma dan densitas paling maksimum dengan perubahan pola transgresif menjadi regresif. Penentuan marker MFS Lapangan Sukorejo dapat dilihat pada Gambar III.15.

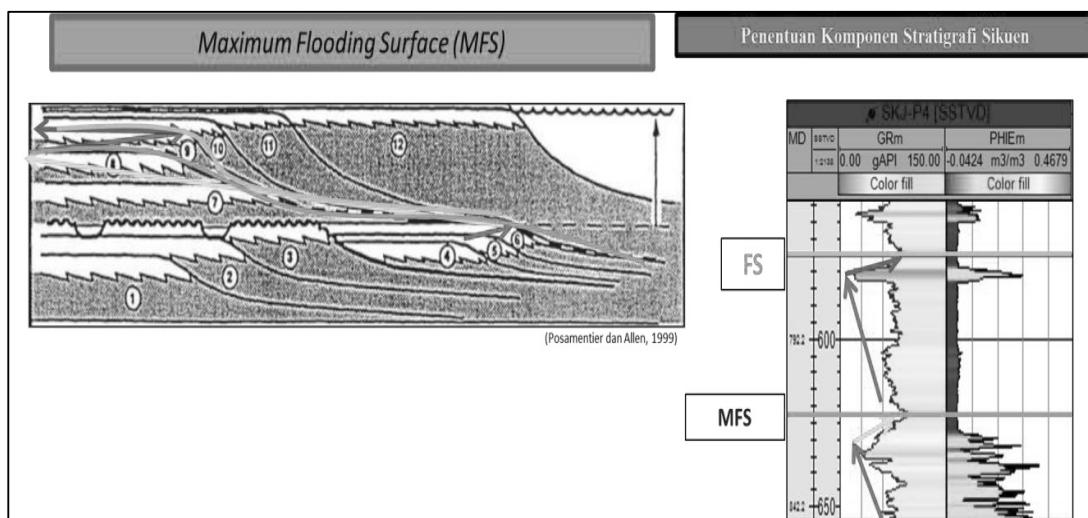
c. *Flooding Surface* (FS)

Flooding Surface (FS) memisahkan endapan yang lebih tua dengan yang lebih muda dibatasi oleh perubahan muka laut secara drastis dimana spasi akomodasi lebih besar dari suplai sedimen (van Wagoner, 1990). Marker *flooding surface* yang berada di antara marker MFS dan marker SB dibagi menjadi beberapa *flooding surface* yang menunjukkan beberapa set parasikuen dari lingkungan pengendapan transisi. Hal ini

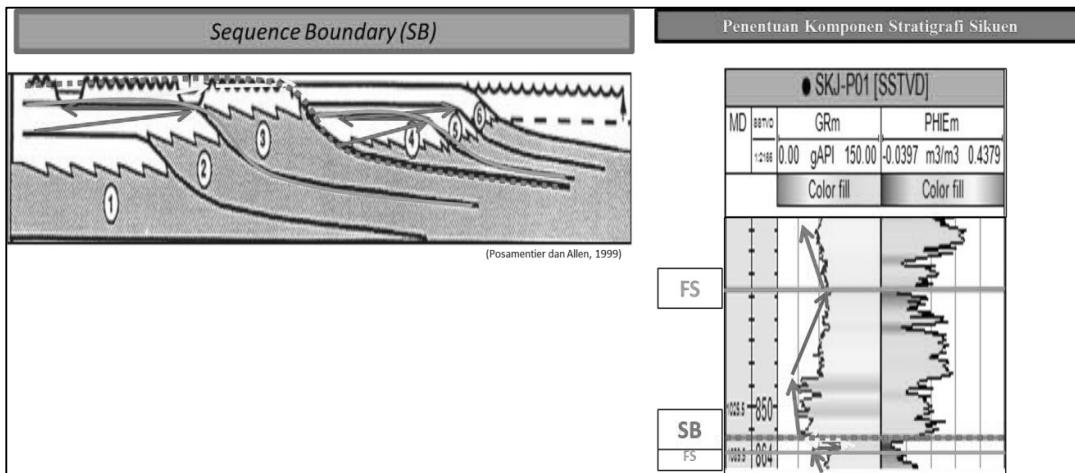
ditandai dengan berubahnya lingkungan *offshore* ke arah lebih dangkal. Penentuan marker FS Lapangan Sukorejo dapat dilihat pada Gambar III.14.



Gambar III.14 Penentuan marker FS Lapangan Sukorejo.



Gambar III.15 Penentuan marker MFS Lapangan Sukorejo.



Gambar III.16 Penentuan marker SB Lapangan Sukorejo.

III.4.2 Penentuan *System Tract*, Pola Penumpukan, dan Korelasi Stratigrafi Sikuen

Menurut Posamentier dan Allen (1999), *system tract* adalah unit-unit stratigrafi yang diendapkan pada fase tertentu dari muka air laut. Suatu *system tract* dapat diidentifikasi dengan suatu pola penumpukan (*stacking pattern*) parasikuen atau set parasikuen. Urutan parasikuen yang berhubungan secara genetis dan membentuk pola penumpukan tertentu yang dibatasi oleh *flooding surface* utama dan permukaan yang sebanding disebut sebagai set parasikuen (van Wagoner dkk., 1990). Pola penumpukan parasikuen dalam set-nya terbagi menjadi tiga, yaitu progradasi, agradasi, dan retrogradasi. Pola tersebut dibagi berdasarkan perbandingan kecepatan sedimentasi dengan ruang akomodasinya.

a. Progradasi

Pada pola penumpukan progradasi setiap parasikuen atau set parasikuen akan diendapkan di daerah yang lebih dangkal daripada parasikuen di bawahnya. Hal ini terjadi karena kecepatan sedimentasi melebihi kecepatan penambahan ruang akomodasi (van Wagoner dkk., 1990). Satu set parasikuen progradasional akan menunjukkan pola yang mendangkal ke atas (*shallowing upward*).

b. Agradasi

Pada pola penumpukan agradasi setiap parasikuen atau set parasikuen diendapkan pada posisi yang hampir sama dengan parasikuen di atas dan di

bawahnya. Pada satu set parasikuen agradasional akan dijumpai fasies yang relatif sama secara vertikal karena terjadi keseimbangan antara kecepatan sedimentasi dan kecepatan penambahan ruang akomodasi (van Wagoner dkk., 1990).

c. Retrogradasi

Pada pola penumpukan retrogradasi setiap parasikuen atau set parasikuen diendapkan di daerah yang lebih dalam daripada parasikuen di bawahnya. Hal ini terjadi karena kecepatan penambahan ruang akomodasi melebihi kecepatan sedimentasi (van Wagoner dkk., 1990). Satu set parasikuen retrogradasional akan menunjukkan pola yang mendalam ke atas (*deepening upward*).

Berdasarkan pola penumpukan set parasikuen, *system tract* terbagi menjadi tiga, yaitu *lowstand system tract*, *transgressive system tract*, dan *highstand system tract*.

a. *Lowstand System Tract* (LST)

Lowstand System Tract (LST) merupakan unit stratigrafi yang diendapkan selama periode penurunan muka air laut relatif yang diikuti oleh kondisi *stillstand* dan kenaikan muka air laut relatif yang lambat (Posamentier dan Allen, 1999). LST dibatasi oleh *sequence boundary* (SB) di bagian bawah dan *transgressive surface* (TS) di bagian atas serta membentuk pola penumpukan agradasional. LST tidak selalu ditemukan dalam satu set sikuen dan batas *ravinement surface* dapat saja berhimpitan dengan SB.

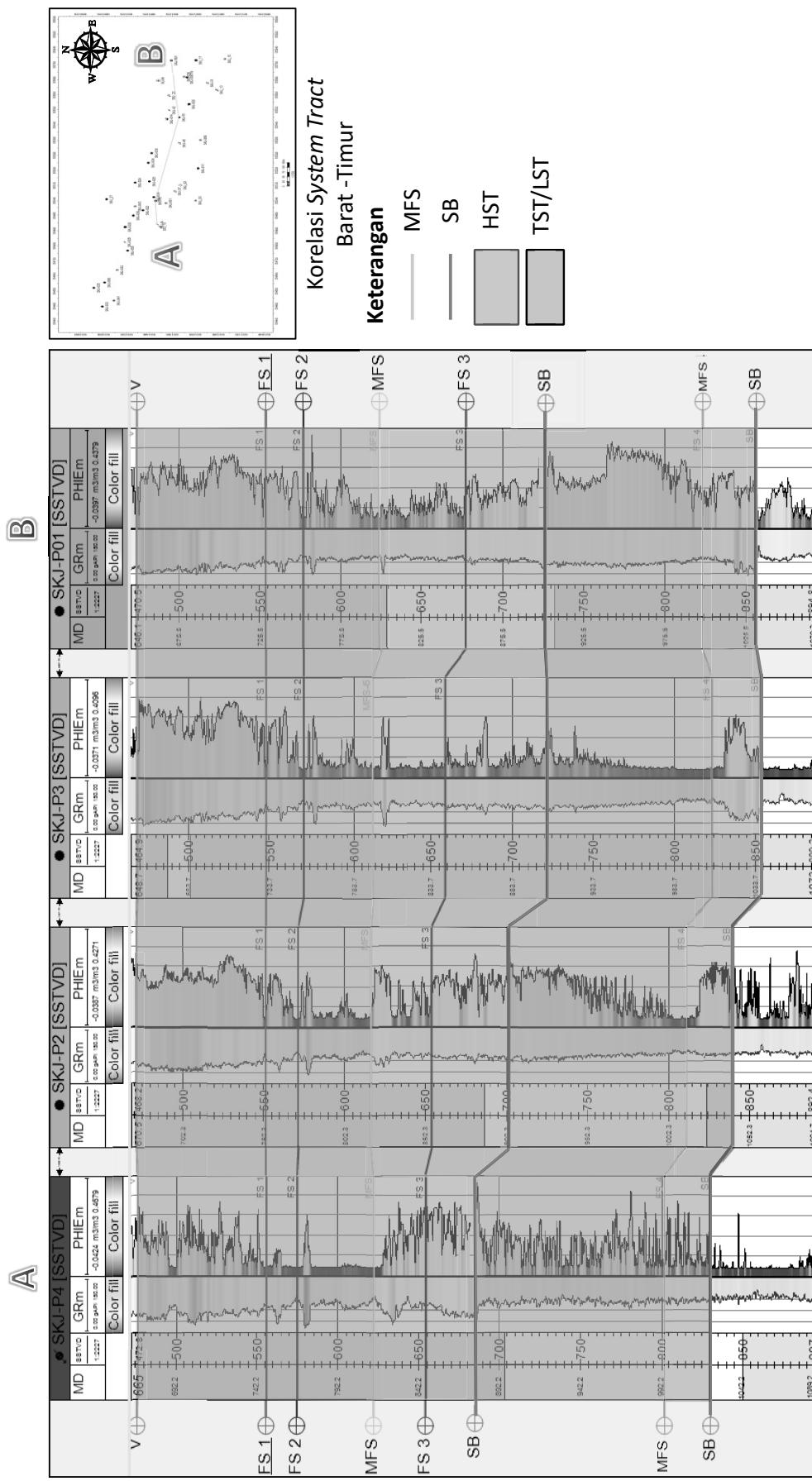
b. *Transgressive System Tract* (TST)

Transgressive System Tract (TST) merupakan unit stratigrafi yang diendapkan selama fase transgresif, yang disebabkan oleh semakin meningkatnya muka air laut relatif dan penambahan akomodasi yang melebihi tingkat suplai sedimen (Posamentier dan Allen, 1999). TST dibatasi oleh *transgressive surface* (TS) pada bagian bawah dan *maximum flooding surface* (MFS) pada bagian atas serta membentuk pola penumpukan retrogradasional.

c. *Highstand System Tract* (HST)

Highstand System Tract (HST) merupakan unit stratigrafi yang diendapkan selama fase regresif, yang terbentuk pada saat tingkat akumulasi sedimen melebihi tingkat kenaikan muka air laut relatif dan penambahan akomodasi dalam cekungan (Posamentier dan Allen, 1999). HST dibatasi oleh *maximum flooding surface* (MFS) pada bagian bawah dan *sequence boundary* (SB) pada bagian bawah serta membentuk pola penumpukan progradasional.

Dengan mengacu uraian teori mengenai stratigrafi sikuen di atas dibuat korelasi stratigrafi sikuen pada semua sumur berdasarkan pola penumpukan parasikuen. Hasil korelasi stratigrafi sikuen dapat dilihat pada Gambar III.17.



Gambar III.17 Penampang *System Tract* Sumur Barat – Timur Lapangan Sukorejo

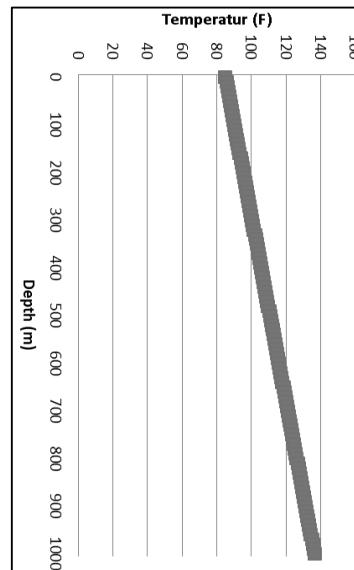
III.5 Analisis Petrofisika

Seiring dengan perkembangan ilmu dan teknologi, petrofisika menjadi metode fundamental dalam karakterisasi reservoir di industri migas. Log sumur telah menjadi instrumen esensial bagi geosaintis dalam memeroleh pengetahuan tentang kondisi bawah permukaan melalui pengamatan sifat fisis batuan. Metode petrofisika sangat berguna untuk karakterisasi, deteksi zona hidrokarbon, dan kalkulasi cadangan hidrokarbon. Dalam penelitian ini, analisis petrofisika dilakukan dengan perangkat lunak *Interactive Petrophysics 3.6*.

Analisis petrofisika harus dilakukan secara bertahap dan berurutan. Analisis tersebut terdiri dari tahapan prekalkulasi, koreksi lingkungan pengeboran, determinasi parameter petrofisika, penentuan batas pancung, hingga penentuan interval produksi dalam *pay summary*.

III.5.1 Pre-kalkulasi

Tahap pre-kalkulasi adalah tahapan memasukan data – data las dan *log header* kedalam perangkat lunak *Interactive Petrophysics 3.6*. Data – data interval yang di masukkan diantaranya adalah *top log interval temperature*, *top log interval (md)*, *bottom log interval temperature*, *bottom log interval (md)*, *drilling fluid density*, *resistivity of mud density*, *mud sample temperature*, *resistivity of filtrate sample*, *mud filtrate sample temperature*, *resistivity of mudcake sample*, *mudcake sample temperature*, dan *drilling bit size*. Setelah itu, perlu dilakukan perhitungan nilai gradien temperatur berdasarkan data dari *log header*. Data gradient temperature sangat penting untuk diketahui karena akan mempengaruhi hasil dari pembacaan untuk setiap log sumur. Berikut Hasil Perhitungan gradien temperatur pada Lapangan Sukorejo.



Gambar III.18 Gradient temperatur pada Sumur SKJ-P1 Lapangan Sukorejo.

III.5.2 Perhitungan Volume Serpih (Vsh)

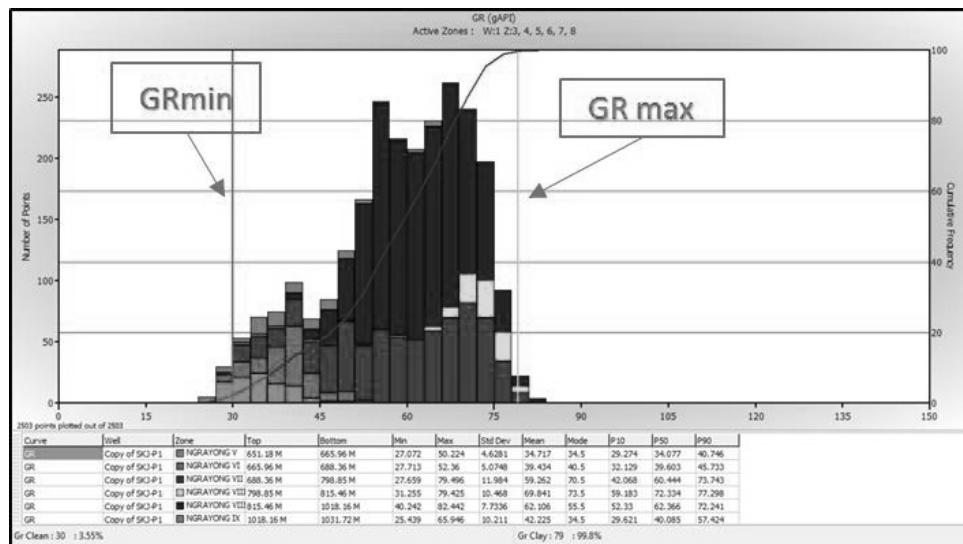
Volume serpih adalah banyaknya kandungan mineral lempung yang mengisi pori batuan. Tujuan dari penghitungan volume serpih adalah untuk membedakan antara zona reservoir dan zona non-reservoir. Penentuan Volume Serpih (Vsh) dalam suatu formasi dapat dilakukan dengan menggunakan indikator tunggal, yaitu log sinar gamma. Penentuan dengan log sinar gamma (GR) lebih sering digunakan karena log ini mengukur tingkat radioaktifitas formasi, yang sebanding dengan kandungan unsur-unsur radioaktif dalam mineral lempung atau serpih seperti potassium (K), Thorium (Th), dan Uranium (U). Oleh karena itu, pada penelitian ini parameter log sinar gamma digunakan untuk memprediksi besaran Volume Serpih (Vsh) dengan Persamaan Asquith dan Krygowski (2004).

$$V_{sh} = I_{GR} = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \dots \text{Persamaan III.1}$$

Keterangan :

- Vsh : volume serpih (v/v)
- GRlog : nilai sinar gamma pembacaan pada log (GAPI)
- GRmax : nilai sinar gamma maksimum (GAPI)
- GRmin : nilai sinar gamma minimum (GAPI)

Pada persamaan volume serpih tersebut, diperlukan penentuan nilai maksimum dan minimum dari log sinar gamma. Penentuan nilai tersebut dilakukan dengan cara pembuatan histogram log sinar gamma pada interval Formasi Tawun. Kemudian ditentukan nilai log GR minimum dan maksimum yang dapat dilihat pada grafik frekuensi histogram dan data *wirelinelog* (Gambar III.19).



Gambar III.19 Grafik frekuensi histogram pada interval Formasi Tawun Lapangan Sukorejo.

III.5.3 Perhitungan Porositas

Porositas adalah perbandingan antara volume rongga dan volume total batuan. Porositas menggambarkan kemampuan reservoir untuk menyimpan fluida. Semakin tinggi porositas maka daya simpan reservoir menjadi lebih besar sehingga kualitas reservoir semakin tinggi juga. Pada penelitian ini digunakan determinasi porositas menggunakan persamaan Bateman dan Konen karena Formasi Tawun memiliki nilai lempung yang tinggi dan termasuk interval *shaly sand*. Parameter yang digunakan yaitu data porositas densitas (RHOB) dan porositas neutron (NPHI) dengan rumus penentuan porositas efektif (Bateman dan Konen, 1977):

$$\phi_e = \frac{((\phi_D x \phi_{Nsh}) - (\phi_N x \phi_{Dsh}))}{(\phi_{Nsh} - \phi_{Dsh})} \quad \dots \text{Persamaan III.2}$$

Keterangan:

ϕ_e : porositas efektif (v/v)

ϕ_{Nsh} : porositas neutron *shale* (v/v)

ϕ_D : porositas densitas (v/v)

ϕ_{Dsh} : porositas densitas *shale* (v/v)

ϕ_N : porositas neutron (v/v)

Penghitungan porositas diawali dengan pembuatan plot silang antara log NPHI dan RHOB (Gambar III.20). Dari plot silang tersebut ditentukan nilai densitas matriks, densitas serpih basah, dan densitas serpih kering. Densitas matriks diperoleh dengan mencari titik pada suatu tren umum dengan nilai NPHI nol. Densitas serpih basah diperoleh dengan mencari titik dengan penyimpangan nilai NPHI tertinggi/terluar. Densitas serpih kering diperoleh dari hasil data analisis XRD pada Formasi Tawun (Tabel III.6). Setelah tiga densitas tersebut diperoleh ditentukan porositas total serpih dengan persamaan sebagai berikut.

$$\phi_{TSH} = \frac{\rho_{DSH} - \rho_{SH}}{\rho_{DSH} - \rho_W} \quad \dots \text{Persamaan III.3}$$

Keterangan:

ϕ_{TSH} : porositas total serpih (v/v)

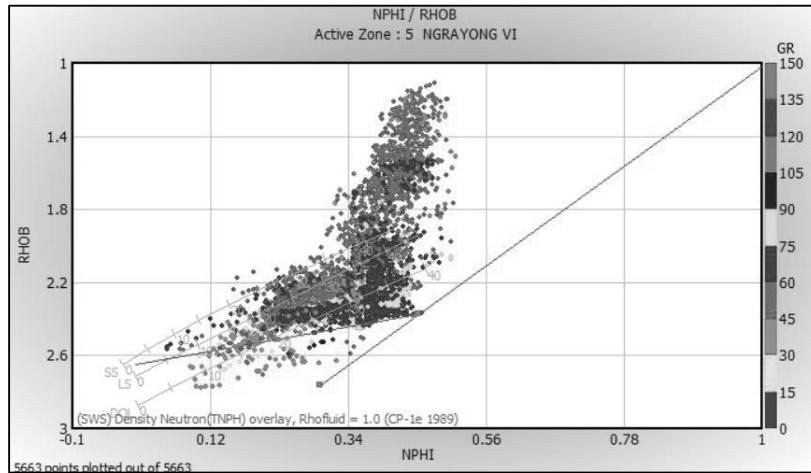
ρ_{SH} : densitas serpih basah (g/cc)

ρ_{DSH} : densitas serpih kering (g/cc)

ρ_W : densitas air (g/cc)

Tabel III.6 Analisis XRD untuk mendapatkan nilai *dry clay* di Lapangan Sukorejo (Pertamina, 1999).

No. Kedalaman (m)		MINERAL LEMPUNG						MINERAL KARBONAT				MINERAL LAINNYA				TOTAL (%)			
		GLAU-																	
		SMEK- TIT	ILIT LINIT	KAO- RIT	KLO- RIT	KONIT SIT	KAL- MIT	DOLO- RIT	SIDE- RIT	KUARSA FELS	K- KLAS	PLAGIO- PIRIT	LEMPUNG KARBONAT	KARBONAT Lainnya					
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
1	600-620	-	2	6	3	-	Tr	-	Tr	82	3	4	Tr	11	-	89			
2	622-653	-	3	6	3	-	Tr	-	Tr	83	3	3	Tr	12	-	89			

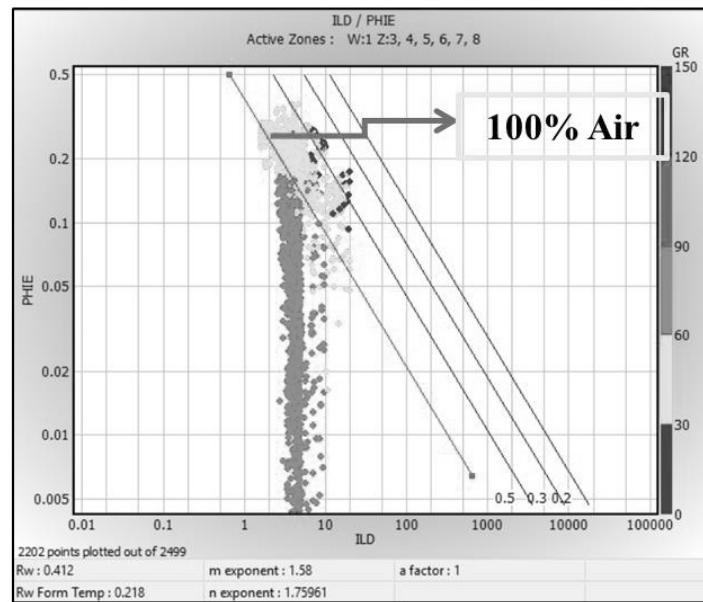


Gambar III.20 *Crossplot* antara NPHI dan RHOB interval lapisan V Sumur SKJ-P1 Lapangan Sukorejo.

Pada Gambar III.20 berupa *crossplot* antara neutron porosity (NPHI) dan bulk density (RHOB) pada lapisan V pada Sumur SKJ-P1 di Lapangan Sukorejo dapat terlihat bahwa hasil *crossplot* menyatakan nilai densitas matriks sebesar 2,65, *neutron wet shale* sebesar 0,452, dan *density wet shale* sebesar 2,3742. Densitas matriks bernilai 2,65 menyatakan matriks berupa batu pasir sedangkan *density wet shale* dan *neutron wet shale* menandakan lempung yang memiliki kandungan air didalamnya.

III.5.4 Perhitungan Resistivitas Air Formasi

Resistivitas air formasi (R_w) adalah nilai resistivitas dari formasi yang berisi air. Nilai R_w merupakan resistivitas air terhadap formasi yang didapat dari nilai temperatur formasi dan *true resistivity*. Nilai R_{mf} dihitung dengan menggunakan data resistivitas lumpur filtrasi yang terukur di permukaan, dan diubah sesuai dengan temperatur dan salinitas ekuivalen formasi. Data R_w yang dipakai adalah dari hasil plot Pickett antara *resistivity vs porosity* pada lapisan V Sumur SKJ-P1(Gambar III.21). Hasil R_w tersebut dikonfirmasi dengan data pada SCAL (Special Core Analysis) bernilai 0,412 (Gambar III.22).



Gambar III.21 Analisis RW dengan plot Pickett dari data log resistivity vs porosity interval lapisan V Sumur SKJ-P1.

FORMATION FACTOR DATA		
Resistivity of Saturating Brine, Ohm-Meters: 0.412 @ 77 degree F		
Sample Number	Porosity, Per Cent	Formation Factor
1	33.22	5.5446
12	23.05	10.5948
5	30.24	7.2089

Gambar III.22 Data RW pada SCAL (Pertamina, 1999).

III.5.5 Perhitungan Saturasi Air

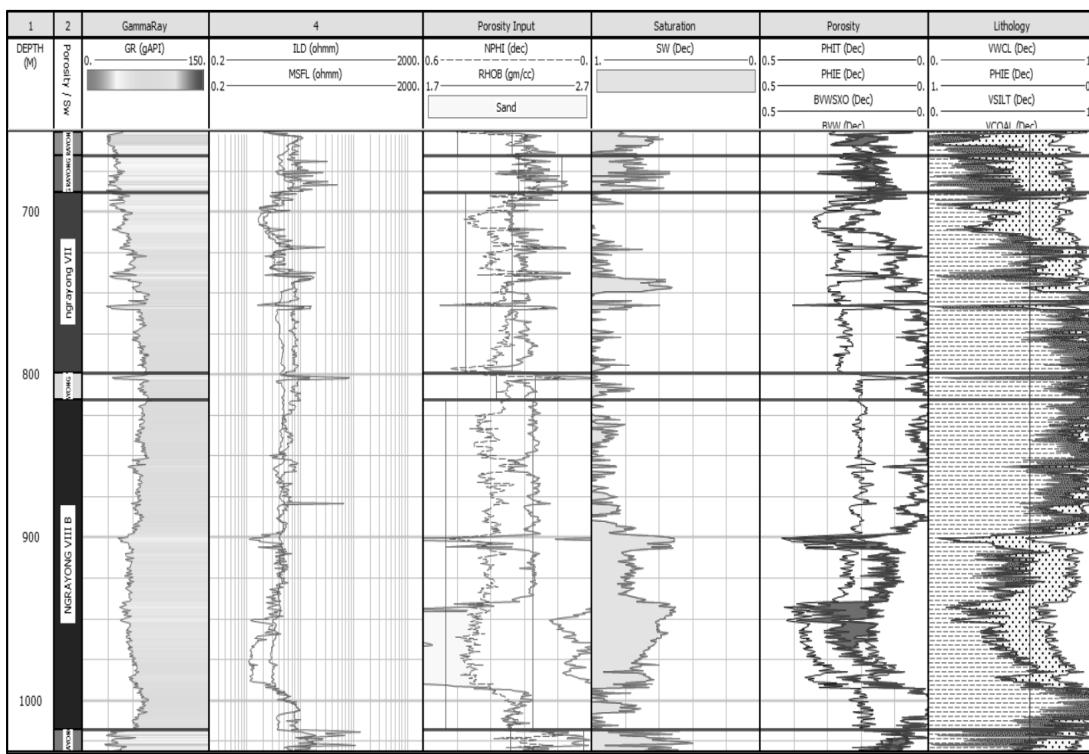
Saturasi air adalah perbandingan antara volume pori yang terisi air dengan volume pori total. Saturasi air menggambarkan kadar air yang terkandung dalam pori batuan. Untuk memeroleh kadar hidrokarbon yang terkandung dalam pori batuan maka saturasi air dikurangkan dari satu ($1-S_w$). Nilai ($1-S_w$) dikenal dengan S_o atau saturasi minyak. Pada penelitian ini, persamaan saturasi air yang digunakan adalah Persamaan Indonesia. Rumus Indonesia digunakan karena interval penelitian berada pada zona *shally sand* yang cocok dengan karakteristik reservoir di Indonesia. Berikut Rumus Persamaan Indonesia.

$$Sw = Rt^{(-1/n)} * \{Vsh^{(10Vsh/2)} / \sqrt{Rsh} + \phi^{(m/2)} / \sqrt{(a * R_w)}\}^{(-2/n)} \dots \text{Persamaan III.4}$$

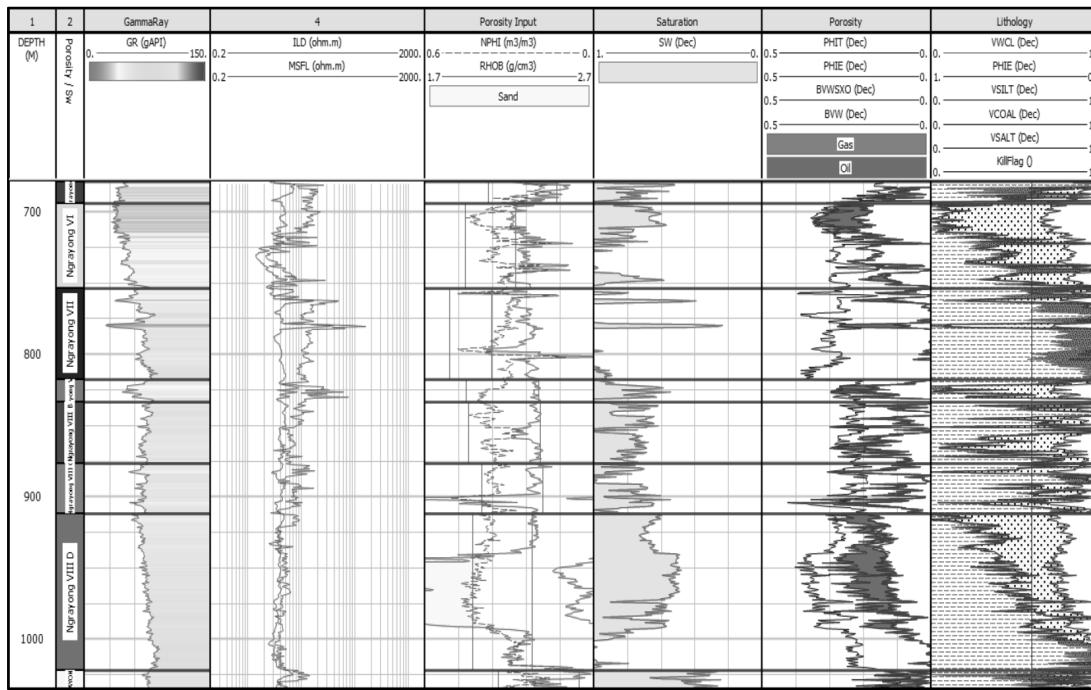
Keterangan:

- Sw = Saturasi Air (%)
 a = Faktor formasi (*Turtuosity*)
 m = Faktor Sementasi
 n = Eksponen Saturasi
 Vsh = Volume Serpih (%)
 Rsh = Resistivitas Lempung (ohm.m)
 ϕ = Porositas Efektif
 R_w = Resistivitas Air Formasi (ohm.m)

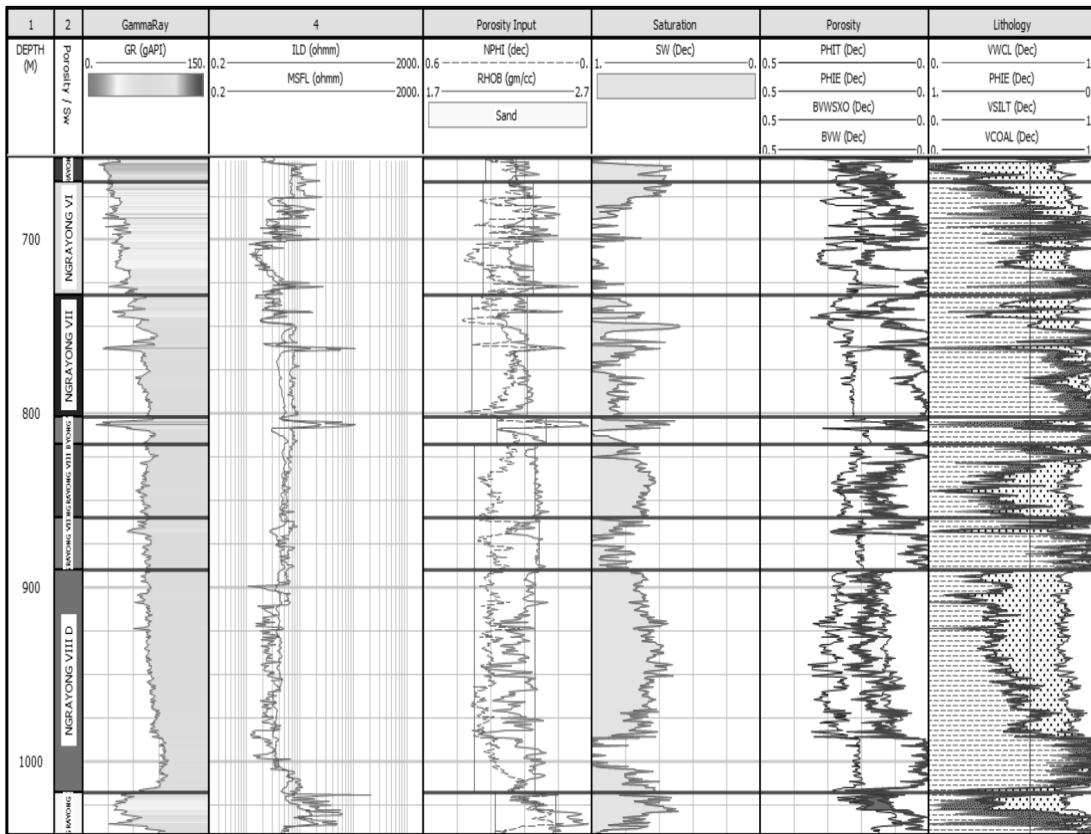
Penentuan nilai a, m,n didapatkan dari data SCAL dengan nilai a=1, m= 1,58 dan n= 1,75961. Dari analisis tersebut didapatkan hasil untuk masing-masing sumur sebagai berikut.



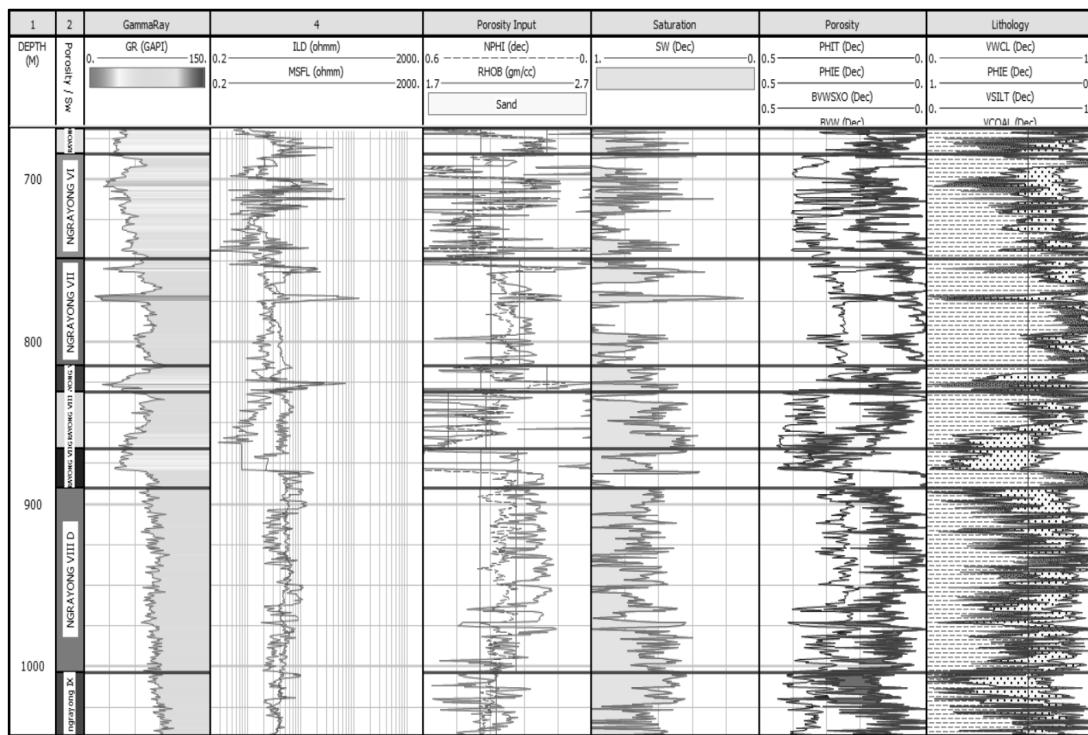
Gambar III.23 Hasil analisis petrofisika Lapangan Sukorejo pada Sumur SKJ-P1.



Gambar III.24 Hasil analisis petrofisika Lapangan Sukorejo pada Sumur SKJ-P2.

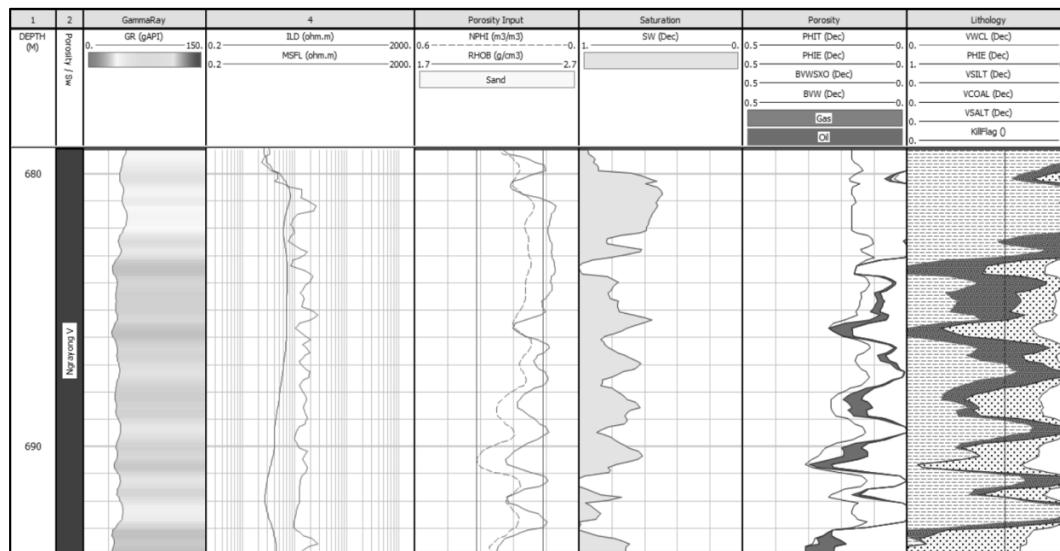


Gambar III.25 Hasil analisis petrofisika Lapangan Sukorejo pada Sumur SKJ-P3.

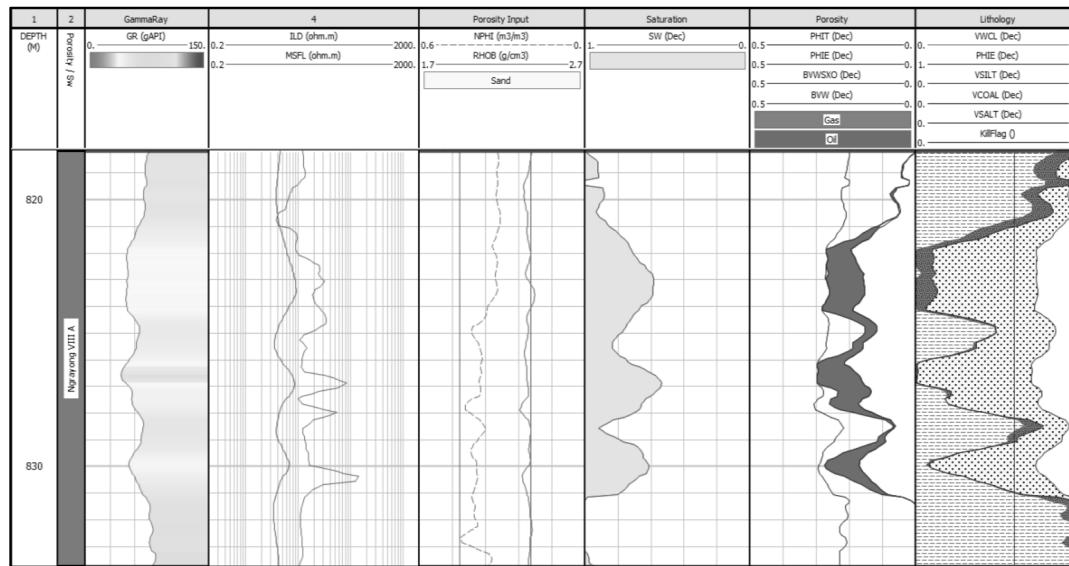


Gambar III.26 Hasil analisis petrofisika Lapangan Sukorejo pada Sumur SKJ-P4.

Hasil analisis petrofisika di atas menunjukkan terdapat beberapa lapisan yang memiliki potensi mengandung hidrokarbon. Khusus penelitian pada tugas akhir ini, akan mengambil dua lapisan utama yang telah diproduksi sampai saat ini, yaitu lapisan V dan VIII. Berikut hasil analisis petrofisika dari masing-masing lapisan V dan VIII pada Sumur SKJ-P2.



Gambar III.27 Hasil analisis petrofisika Sumur SKJ-P1 pada zona produksi minyak lapisan V.



Gambar III.28 Hasil analisis petrofisika Sumur SKJ-P1 pada zona produksi minyak lapisan VIII.

Pada hasil analisis petrofisika lapisan V dan lapisan VIII Formasi Tawun di Lapangan Sukorejo memperlihatkan bahwa pada interval produksi kedalaman 681 - 687 m (Lapisan V) dan 821 - 831 m (Lapisan VIII) menunjukkan potensi hidrokarbon berupa minyak. Hal tersebut menyatakan bahwa hasil analisis petrofisika selaras dengan hasil produksi minyak pada Formasi Tawun di Lapangan Sukorejo.

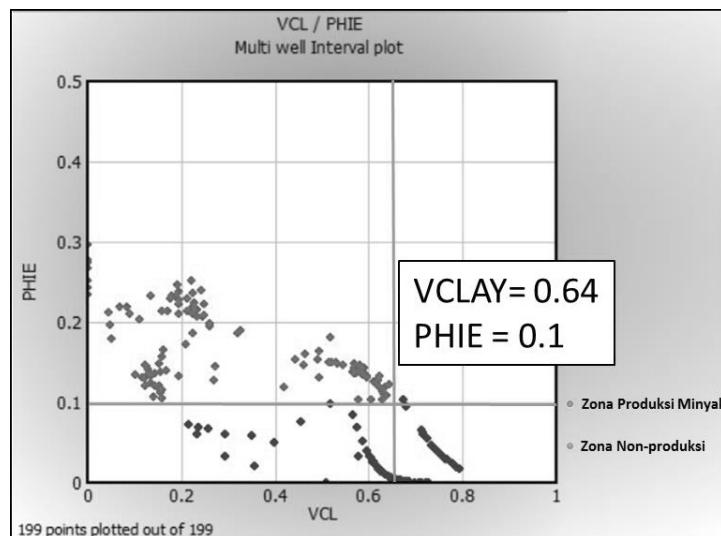
III.5.6 Perhitungan *Cut off*

Batas pancung atau *cut-off* secara harfiah berarti suatu nilai batas. Dalam konteks reservoir, batas pancung merupakan terminologi untuk batas bawah atau batas atas dari nilai parameter petrofisika seperti volume serpih, porositas, permeabilitas, dan saturasi air. Nilai batas pancung ini digunakan untuk mengeleminasi volume batuan yang tidak berkontribusi secara signifikan dalam evaluasi OOIP (*Original Oil In-Place*) maupun cadangan reservoir. *Cut off* yang dicari berupa tiga aspek utama yaitu *Vshale*, *Phie* (Porositas Efektif), dan *Sw* (Saturasi Air).

III.5.6.1 Penentuan Harga Batas Pancung Volume Serpih

Penentuan batas pancung dari volume serpih digunakan untuk menentukan lapisan interval kotor dari reservoir (*Gross Thickness*). Dengan membuat *crossplot* antara *Vsh* dan porositas efektif yang telah dideterminasi lalu menggunakan referensi data produksi antara

reservoir yang mengalir dan tidak mengalir, didapatkan batas pancung untuk tiap interval pada masing-masing formasi. Pada *cross plot* antara Phie dan Vcl, nilai batas pancung V_{shale} sebesar 0,64 (Gambar III.29). Hal tersebut menyatakan bahwa Formasi Tawun di Lapangan Sukorejo yang memiliki nilai volume serpih lebih dari 0,64 dapat dianggap sebagai zona reservoir.



Gambar III.29 *Cut-off* V_{shale} dan Phie antara zona produksi dan non-produksi.

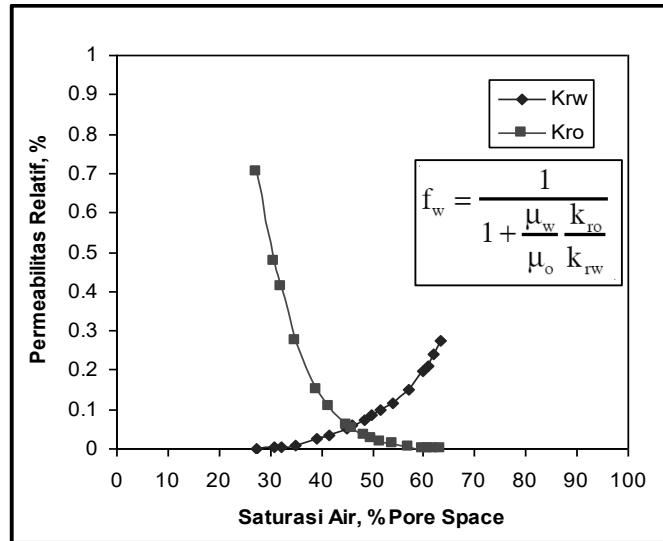
III.5.6.2 Penentuan Harga Batas Pancung Porositas Efektif

Penentuan batas pancung dari porositas efektif digunakan untuk mempersempit zona tebal kotor interval reservoir menjadi tebal interval bersih (*net effective sand* atau *net reservoir thickness*). Dengan membuat *crossplot* antara V_{sh} dan porositas efektif yang telah di determinasi, kemudian menggunakan referensi data produksi antara reservoir yang mengalir dan tidak mengalir, didapatkan batas pancung untuk tiap interval pada masing-masing formasi. Hasilnya dapat dilihat pada gambar *cut-off* V_{shale} dan phie antara zona produksi dan non-produksi, nilai phie sebesar 0,1. Hal tersebut menyatakan bahwa zona reservoir Formasi Tawun di Lapangan Sukorejo yang memiliki nilai posositas efektif lebih dari 0,1 dapat dianggap sebagai zona *net reservoir*.

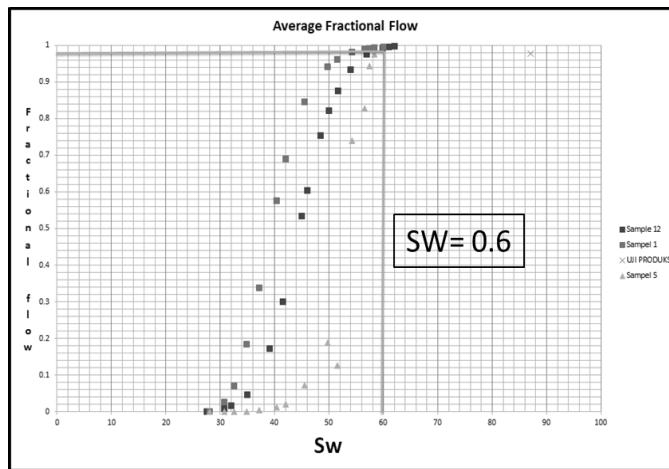
III.5.6.3 Penentuan Harga Batas Pancung Saturasi Air Efektif

Penentuan batas pancung untuk saturasi air efektif adalah untuk menentukan interval produksi reservoir (*net pay thickness*). Dari referensi data produksi, kita mendapatkan nilai permeabilitas relatif minyak dan permeabilitas relatif dari air yang dapat

dilihat pada grafik *crossplot* antara permeabilitas relatif dan saturasi air (Gambar III.27) . Hasil tersebut digunakan untuk menghitung *fractional flow* yang akan di *crossplot* dengan nilai Sw . Berpacu dengan grafik *crossplot* antara fractional flow dengan Sw yang menunjukkan nilai konstan dan linear dengan *watercut* 98% dapat digunakan untuk menentukan batas puncung saturasi air sebesar 0,6.



Gambar III.30 Grafik *Crossplot* antara permeabilitas relatif dan saturasi air.



Gambar III.31 Grafik *Crossplot* antara *fractional flow* dengan Sw .

III.6 Hasil Analisis Petrofisika

Hasil analisis petrosika pada Formasi Tawun Lapangan Sukorejo meliputi nilai *net to gross*, volume serpih, porositas dan saturasi air (Tabel III.7). Hasil analisis data

petrofisika yang ditampilkan berupa lapisan yang telah terbukti menghasilkan hidrokarbon. Lapisan tersebut berada pada lapisan V dan lapisan VIII Formasi Tawun yang merupakan fokus pada penelitian tugas akhir ini.

Tabel III.7 Hasil petrofisika untuk masing-masing sumur Lapisan V dan VIII.

Sumur	Formasi	Zona	Top	Bottom	Gross	Net	N/G	Av Phi	Av Sw	Av Vcl
skj-p1	Tawun	V	651.26	665.74	14.48	12.8	0.884	0.238	0.493	0.092
	Tawun	VIII	798.98	821.71	22.73	1.07	0.047	0.114	0.691	0.564
skj-p2	Tawun	V	679.09	693.92	14.83	2.8	0.189	0.222	0.554	0.142
	Tawun	VIII	818.19	833.72	15.53	6.9	0.444	0.172	0.482	0.377
skj-p3	Tawun	V	653.2	666.71	13.51	9.95	0.736	0.221	0.452	0.140
	Tawun	VIII	801.93	817.88	15.95	3.81	0.239	0.151	0.496	0.397
skj-p4	Tawun	V	668.97	684.34	15.37	5.49	0.357	0.167	0.500	0.333
	Tawun	VIII	815	831	16	5.94	0.371	0.202	0.490	0.323