

BAB IV

PERHITUNGAN PETROFISIKA

4.1 TEORI DASAR PERHITUNGAN PETROFISIKA

Sifat petrofisika adalah karakteristik sifat fisik batuan yang meliputi porositas, permeabilitas, dan saturasi air di dalamnya. Dalam industri minyak dan gas bumi, sifat fisik batuan diperlukan untuk mengetahui karakteristik reservoir dan potensi hidrokarbon. Salah satu cara untuk mengetahui karakteristik tersebut yaitu dengan *well logging*. Sehingga dapat diketahui kedalaman dan ketebalan zona hidrokarbon yang diharapkan berpotensi secara ekonomis (Batemen, 1985).

Proses logging diawali dengan proses pemboran sumur. Pemboran sumur dilakukan dengan mengkombinasikan putaran dan tekanan pada mata bor. Proses pemboran menggunakan fluida pemboran berupa lumpur. Selama pemboran pompa lumpur memompakan lumpur kedalam lubang bor melalui pipa pemboran menuju mata bor. Lumpur tersebut mendesak keratin bor untuk naik kepermukaan. Keratan bor ini dimanfaatkan untuk membuat log litologi pada data mud log. Setelah itu dilakukan proses *logging* atau *wireline logging* (Harsono, 1997).

Wireline logging adalah suatu metode untuk mengevaluasi formasi. Alat logging membaca kandungan radioaktif, ion H^+ , dan modulus elastisitasnya perkedalaman sumur. Dari data tersebut didapat hasil berupa log-log yang dapat dimanfaatkan untuk perhitungan, analisis petrofisika batuan dan perhitungan beserta analisis lainnya. Pada akhirnya didapat nilai volume serpih, tekanan bawah permukaan, porositas, permeabilitas, dan saturasi air pada tiap-tiap kedalaman.

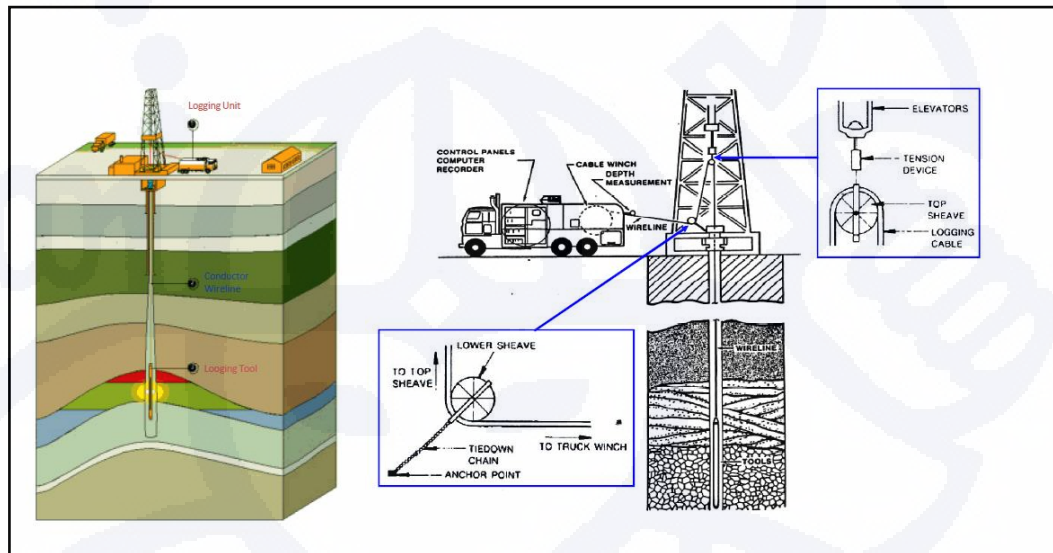
Komponen-komponen alat *wireline log* adalah detector (*sonde*), alat penerima (*receiver*), alat perekam (*recorder*), kabel baja (*wireline*), alat pengukur kedalaman (*depth measurement*), computer, panel-panel control (*control panel*) dan katrol (Gambar 4.1).

Dalam pelaksanaan *logging* ada beberapa data yang diperoleh, diantaranya adalah:

a. Log Sinar Gamma

Log Sinar Gamma berfungsi mengukur kandungan radioaktif alami yang terkandung dalam formasi. Radioaktif dipancarkan oleh unsur-unsur uranium (U), potasium (K), dan thorium (Th). Hasil pengukuran ini dapat dilakukan untuk mengidentifikasi litologi, korelasi beberapa sumur, dan menentukan volume clay dari formasi. Satuan yang dipakai pada log

gamma ray adalah API (American Petroleum Institute). Semakin besar pancaran radioaktif yang ditangkap oleh alat maka semakin tinggi nilai API pada bacaan log sinar gamma.



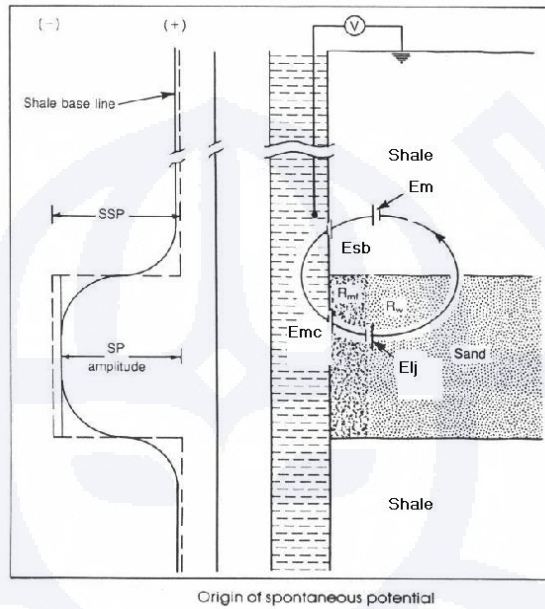
Gambar 4.1 Peralatan pengeboran (Batemen, 1985).

Unsur-unsur yang memancarkan radioaktif banyak terkandung dalam mineral lempung. Sehingga dapat didekati bahwa lapisan yang mengandung radioaktif tinggi sebagai batulempung, sedangkan yang lainnya adalah non-lempung. Dalam industri perminyakan lapisan yang memiliki radioaktif tinggi disebut lapisan non-reservoir, sedangkan yang memiliki radioaktif kecil disebut lapisan reservoir. Namun hal ini tidak berlaku pada lapisan batupasir yang kaya K-Feldspar, Batubara, Halit, Anhidrit, dan beberapa batuan lainnya.

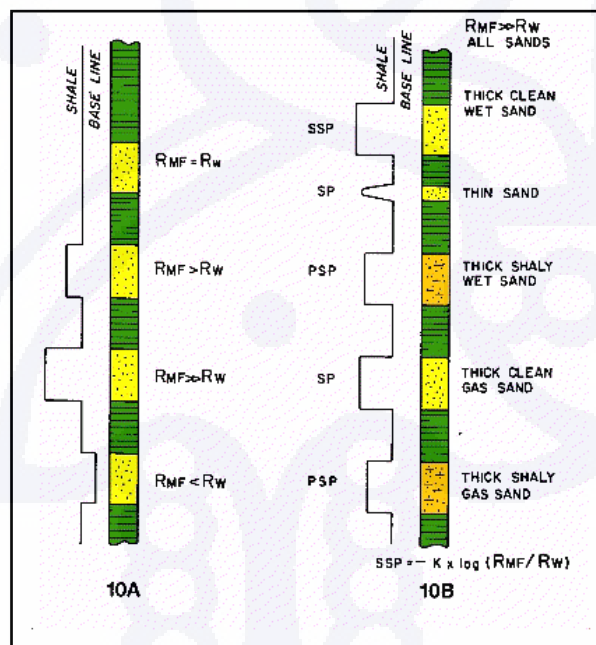
b. *Log Spontaneous Potensial*

Log Spontaneous Potensial (SP) adalah perbedaan potensial listrik antara elektroda yang ada dipermukaan yang tetap dengan elektroda di dalam lubang bor yang bergerak terhadap kedalaman lubang bor. Prinsip kerja log SP ini ialah membaca beda potensial batuan pada tiap lapisan batuan. Satuan dari log SP adalah millivolt (mV). Log ini dapat membedakan zona permeable dengan zona non-permeable. Serta juga dimanfaatkan untuk menentukan volume serpih dan resistivitas air (Harsono, 1997).

Log SP berupa sirkuit sederhana yang terdiri dari dua buah elektroda dan sebuah galvanometer. Sebuah elektroda diturunkan kedalam lubang sumur, dan elektroda yang lain ditanamkan di permukaan. Sementara itu potensiometer mengatur potensial dari kedua elektroda tersebut. bentuk deflaksi positif atau negatif tergantung pada perbedaan salinitas dari fluida lumpur pengebotan dengan salinitas fluida didalam formasi. Sehingga, lumpur yang sebaiknya digunakan adalah lumpur yang konduktif. (Ellis & Singer, 2008).



Gambar 4.2 Prinsip kerja log SP (Ellis & Singer, 2008).



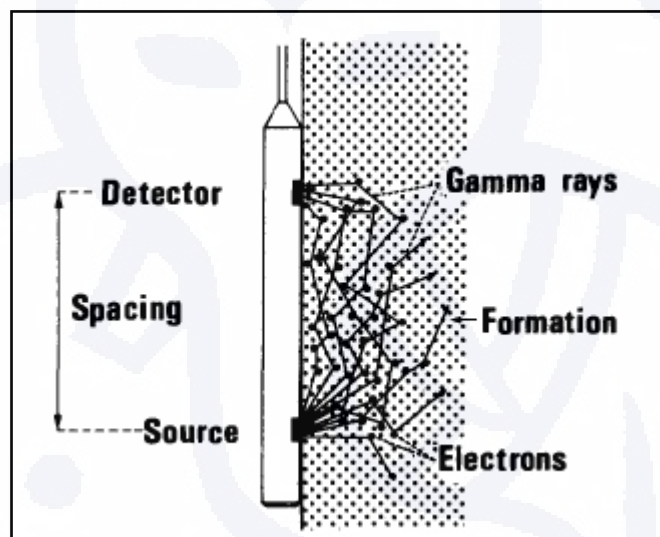
Gambar 4.3 Deflaksi log SP (Asquith, 2004).

Semakin besar salinitas suatu fluida maka semakin kecil resistivitasnya. Log SP mengalami deflaksi apabila ada perbedaan nilai resistivitas dan ada jalan untuk fluida

mengalami pertukaran ion atau batuan tersebut harus poros dan permeable. Log SP deflek ke kiri apabila resistivitas mud filtrat lebih besar dari resistivitas air formasi dan sebaliknya.

c. Log densitas

Log densitas berguna untuk mengukur elektron density pada suatu formasi dan digunakan untuk menentukan menghitung porositas, litologi, dan mendeteksi zona hidrokarbon melalui penggabungan dengan log neutron (Asquith, 2004).

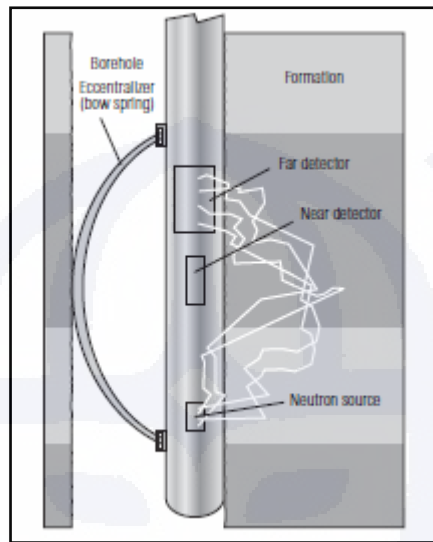


Gambar 4.4 Prinsip dan skematik kerja tool density (Serra, 1988).

Pada gambar diatas (Gambar 4.4) menunjukkan prinsip kerja log densitas. Pada awalnya sinar gamma ditembakkan ke formasi. Sinar gamma tersebut menabrak atom yang ada di formasi. Atom yang ditabrak tersebut menghilangkan energi foton sinar gamma. Energi yang masih tersisa dihamburkan lagi ke *detector* sehingga dapat dibaca sebagai *bulk density* batuan tersebut dan *bulk density* berkaitan dengan porositas formasi serta matrik dari litologi.

d. Log Neutron

Log neutron adalah jenis log porositas yang mengukur konsentrasi ion hydrogen di dalam formasi batuan. Log neutron yang paling populer adalah *compensated neutron log* (CNL). Pada *clean formation*, neutron porositas membaca air yang terkandung didalam porositas. Jika tidak terdapat hidrokarbon maka pembacaan porositas oleh neutron porositas mendekati benar. Tetapi jika ada hidrokarbon dibaca lebih kecil dari seharusnya. Sedangkan jika batuan tersebut kotor oleh serpih maka bacaan porositas lebih besar dari seharusnya.



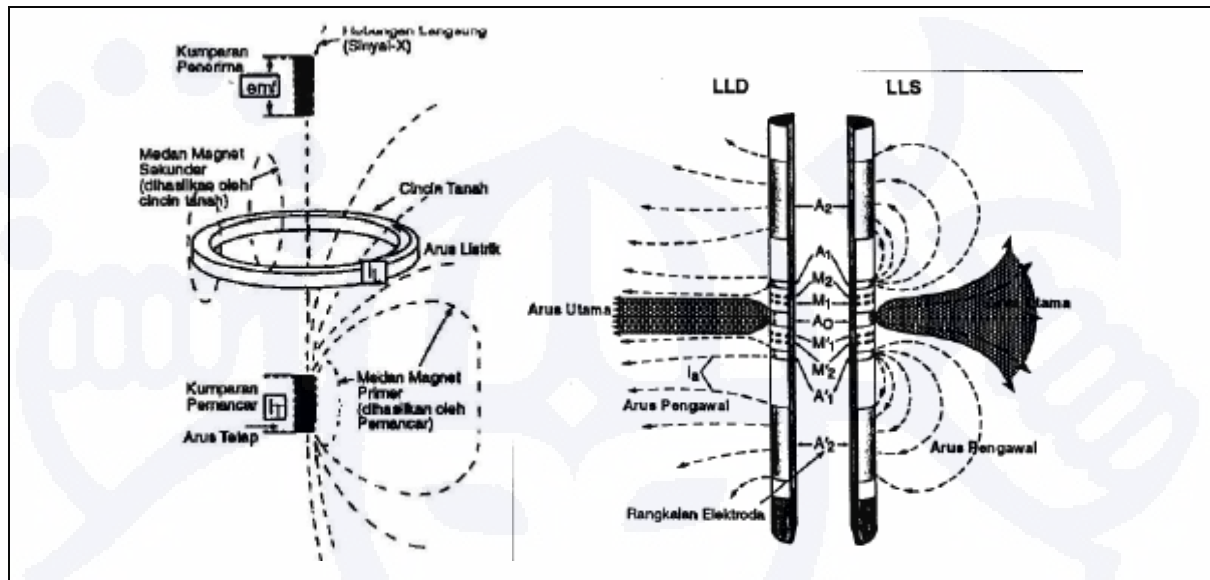
Gambar 4.5 Proses kerja log neutron (Ellis & Singer, 2008)

Neutron yang diredam oleh ion hydrogen dibaca sebagai porositas. Nilai neutron porositan lebih kecil dari yang seharusnya akibat adanya gas. Hal ini disebut juga dengan gas effect (Asquith, 2004).

e. Log Resistivitas

Log resistivitas atau log tahanan jenis adalah log yang mengukur tahanan jenis batuan. Log resistivitas berfungsi untuk menentukan zona jenuh air atau zona jenuh hidrokarbon. Matrik batuan bersifat konduktif, sehingga arus dialirkan melalui fluida yang resistif. Selain matrik batuan hidrokarbon juga bersifat konduktif, sehingga jika dihubungkan dengan porositas efektif maka dapat diperoleh kejenuhan air didalam batuan (Asquith 2004).

Ada dua jenis resistivitas log, yaitu induction log dan electrode log (Gambar 4.6). *Induction log* digunakan untuk pemboran yang menggunakan *freshwater muds*, dikarenakan lebih akurat untuk menentukan *true resistivity*. Sedangkan *electrode log* digunakan untuk pengeboran yang menggunakan *saltwater muds*. Log ini membaca zona terinfeksi yaitu R_{xo} dan zona yang tidak terinfeksi yaitu R_t (Asquith, 2004).



Gambar 4.6 Prinsip kerja induction log (kiri) dan electrode log (kanan) (Harsono, 1997).

4.1.1 Sifat Petrofisika

Sifat petrofisika menggambarkan karakteristik fisik suatu batuan yang meliputi lempung (*clay*), porositas, dan saturasi. Sifat fisik batuan ini berkaitan erat dengan karakteristik batuan sehingga dapat diketahui fluida terutama potensi hidrokarbon yang terkandung didalamnya.

1. Clay

Clay (lempung) merupakan batuan yang menghalangi lewatnya fluida. Lempung bersifat *impermeable* karena halusnya ukuran butir sehingga porositasnya juga sangat kecil untuk jalur lewatnya fluida. Namun pada mineral lempung terdapat ikatan air yang dapat dimanfaatkan sebagai penciri kehadiran lempung dalam padatan batuan. Selain itu dalam lempung banyak sekali terdapat radioaktif yang dapat dipancarkannya. Sehingga hal ini juga dapat dijadikan sebagai penciri.

2. Porositas

Porositas merupakan besar rongga yang terdapat pada tubuh batuan. Dalam petrofisika analisis dikenal dua jenis porositas yaitu porositas total dan porositas efektif. Porositas efektif adalah porositas yang saling menyambung satu sama lain sehingga dapat dialiri oleh fluida. Sedangkan porositas total merupakan total pori yang ada pada batuan termasuk pori yang tidak saling menyambung satu samalain dan juga *clay bound water* yang terdapat di dalam batu lempung.

3. Saturasi Air

Saturasi air adalah kejenuhan air didalam pori-pori batuan. Dengan mengetahui saturasi air maka dapat diketahui saturasi minyak yang terkandung didalamnya. Untuk perhitungan saturasi air dapat dilakukan dengan persamaan Archie, Schlumberger, Symandoux, Indonesia, dan masih banyak lagi persamaan lainnya.

Saturasi air dipengaruhi oleh sementasi dan factor liku-liku (*tortuosity*) yang nilainya antara 1-3, tergantung jenis sedimen, jenis semen, susunan butir, kemampatan (Harsono, 1997).

4.2 PERHITUNGAN

Perhitungan petrofisika hanya dilakukan pada lapisan yang di modelkan saja. Perhitungan petrofisika yang dilakukan meliputi volume serpih, porositas, permeabilitas dan saturasi air. Sumur GB-79 yang merupakan sumur yang berada di luar dekat Lapangan Pepo dijadikan sebagai sumur kunci karena memiliki data yang lengkap untuk melakukan *quality control* dan lainnya. Sedangkan untuk sumur lainnya dapat dilihat di lampiran.

4.2.1 Volume serpih

Dalam perhitungan volume serpih, Zona yang dihitung properties reservoinya dibagi menjadi beberapa zona berdasarkan perbedaan formasi dan pola log gamma ray. Persamaan yang dipakai dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

$$IGR=VSH = \frac{GR \log - GR \min}{GR \max - GR \min}$$

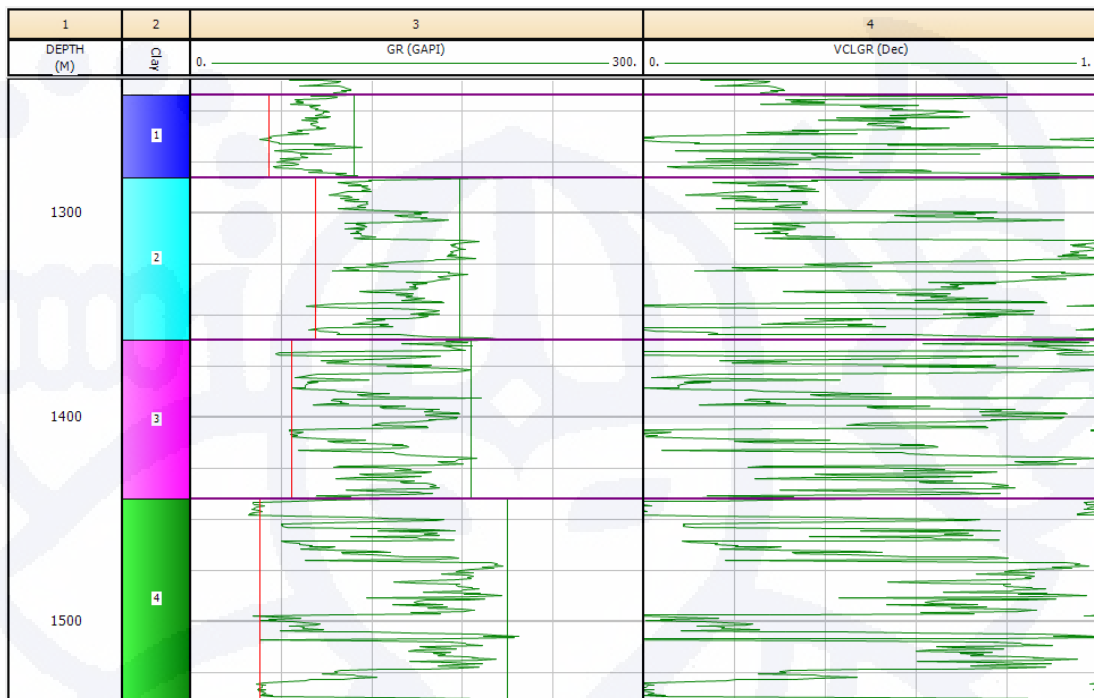
Keterangan:

IGR = indeks gamma ray

GR log = GR hasil pembacaan log Gamma Ray

GR max = GR maksimum

GR min = GR minimum



Gambar 4.7 Penentuan nilai maksimum dan minimum sinar gamma GB-79

Berdasarkan litologi dan pola log sinar gamma zona penelitian pada sumur GB-79 dibagi menjadi empat zona. Empat zona tersebut memiliki nilai maksimum dan minimum log sinar gamma yang berbeda untuk masing-masing zona.

Clay Volume Parameters (Clay Volume) : GB-79

Zone Depths - Options Gr

Zone #	Gr Use	Gr Clean	Gr Clay	Gr Method
1	✓	52	108	Linear
2	✓	83	178	Linear
3	✓	67	186	Linear
4	✓	46	210	Linear

☐ Null all result curves before running calculations

Show Additional Zone Info

SM Run New zone Delete zone Plot Print Close Help

Gambar 4.8 Nilai dan metode yang dipakai dalam perhitungan petrofisika

4.2.2 Porositas

Dalam menghitung porositas dan saturasi air zona penelitian dibagi menjadi beberapa zona berdasarkan kasamaan matrik penyusun batuan. Perhitungan porositas menggunakan log densitas dan log neutron. Dalam perhitungan diperlukan densitas

matrik dan densitas lempung basah. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

$$PhieDN = \sqrt{\frac{PhieD^2 + PhieN^2}{2}}$$

$$Phit = Phie + Vsh * PhitSh$$

(Crain, 1976)

$$PhieD = PhitD - (Vsh * PhitSh)$$

$$PhieN = PhitN - (Vsh * PhitSh)$$

$$PhitSh = \frac{RhoDsh - RhoSh}{RhoDsh - RhoW}$$

PhieD = Porositas efektif Densitas

PhieN = Porositas efektif Neutron

PhieDN = Porositas efektif Densitas/Neutron

PhitSH = Porositas Total Lempung

PHIT = Porositas Total

PHIE = Porositas Efektif

4.2.2.1 Densitas Matriks dan Lempung Kering

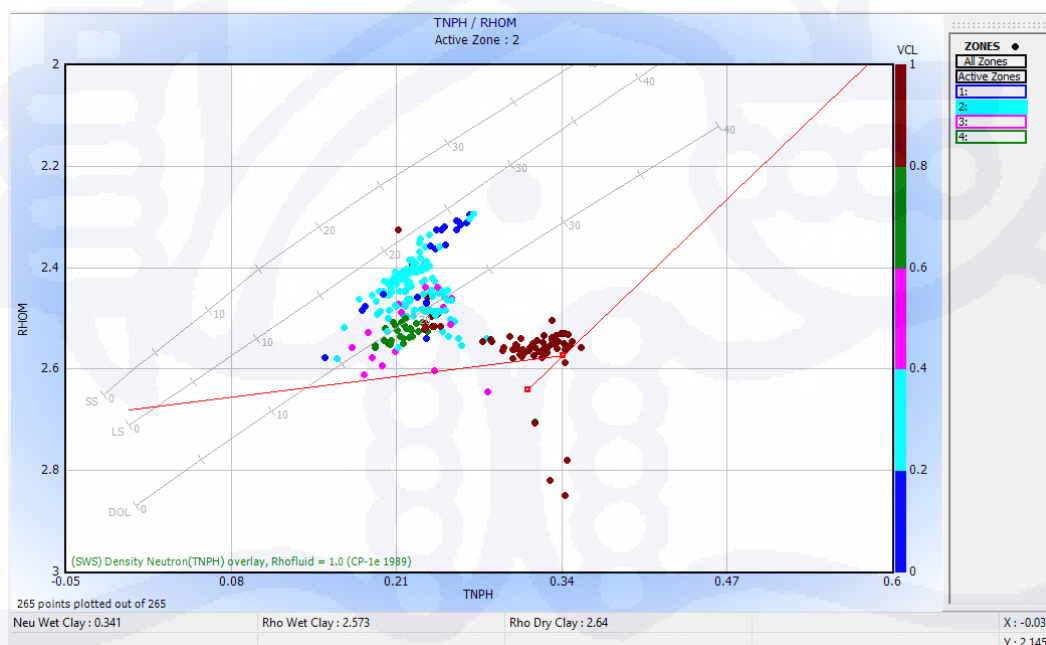
Dalam Penentuan densitas matriks dan lempung kering digunakan data XRD. Terlihat bahwa pada interval penelitian dapat dibagi 3 zona yaitu: FS11-MFS1, MFS1-FS04, dan FS04-FS01 atau zona 2, 3, dan 4. Nilai yang diambil untuk densitas matrik adalah pada sampel yang matriksnya paling banyak dibanding mineral lempung. sedangkan untuk densitas lempung kering pada sampel yang paling banyak lempungnya. Serta nilai perhitungan di ambil dari rata-rata densitas tiap jenis matriks yang ada. Sehingga pada zona 2 memiliki densitas matriks 2,68 gr/cm³ dan lempung kering 2,64 gr/cm³. Pada zona 3 densitas matriks 2.76 gr/cm³ dan lempung kering 2.69 gr/cm³. sedangkan pada zona 4 densitas matriks 2.67 gr/cm³ dan lempung kering 2.6 gr/cm³ (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Data XRD untuk menentukan densitas matrik dan *dry clay*

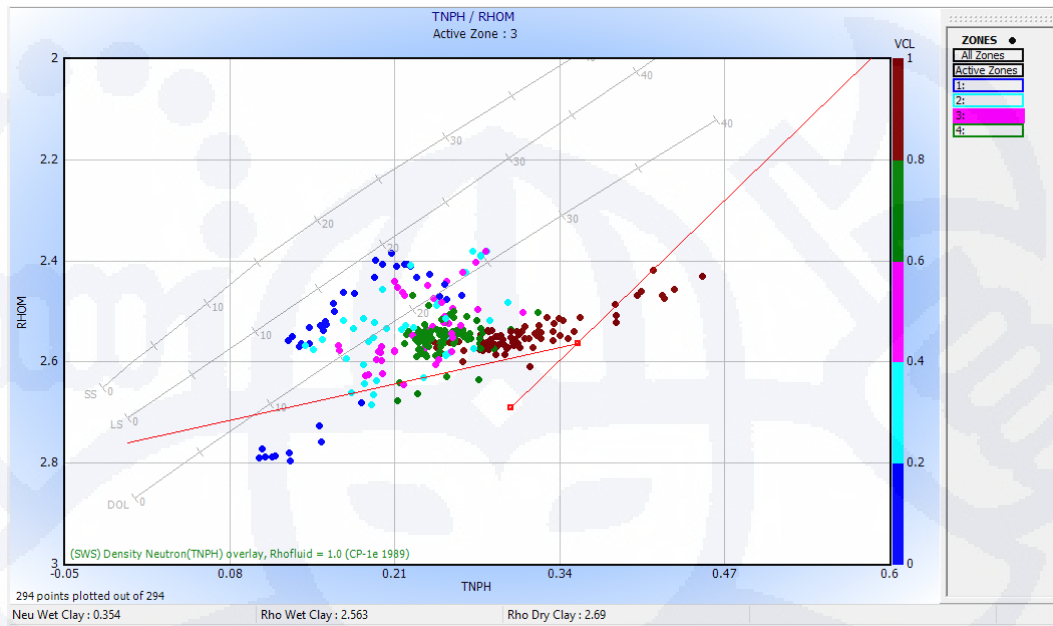
NO.	DEPTH (feet)	CLAY MINERALS				CARBONATE MINERALS			OTHER MINERALS				TOTAL					
		SMECTITE (%)	ILLITE (%)	KAOOLINITE (%)	CHLORITE (%)	CALCITE (%)	DOLOMITE (%)	SIDERITE (%)	QUARTZ (%)	KO FELDSPAR (%)	PLAGIOCLASE (%)	PYRITE (%)	CLAY (%)	CARBONATE (%)	OTHER (%)			
1	1263.5	0	0	1	0	81	4	0	14	0	0	0	1	85	14	2.71126263	2.6	
2	1284.0	0	1	4	0	35	6	0	54	0	0	0	5	41	54	2.68657895	2.638	
3	1309.0	0	2	1	0	1	3	0	Zona 2			0	1	3	4	93	2.68108247	2.726666666
4	1325.9	0	5	6	0	2	2	6	87	0	1	1	11	0	89	2.73030303	2.68636363	
5	1357.0	0	2	2	0	14	3	8	Zona 3			0	1	4	25	71	2.76104167	2.695
6	1383.3	0	2	2	0	0	0	2	94	0	0	0	4	2	94	2.66770833	2.695	
7	1392.0	0	0	4	0	0	1	2	Zona 4			0	0	4	3	93	2.66979167	2.6
8	1406.9	0	1	2	0	0	0	2	95	0	0	0	3	2	95	2.66752577	2.66333333	
9	1441.5	0	0	1	0	0	0	0	99	0	0	0	1	0	99	2.65	2.6	
10	1452.6	0	0	1	0	0	0	0	99	0	0	0	1	0	99	2.65	2.6	
11	1497.1	0	0	2	0	0	0	0	98	0	0	0	2	0	98	2.65	2.6	
12	1502.0	0	2	4	0	0	0	0	92	0	0	2	6	0	94	2.7	2.66333333	
13	1526.0	0	2	3	0	0	0	2	93	0	0	0	5	2	93	2.66789474	2.676	
14	1532.1	0	0	2	0	0	0	0	98	0	0	0	2	0	98	2.65	2.6	

4.2.2.2 Densitas lempung basah

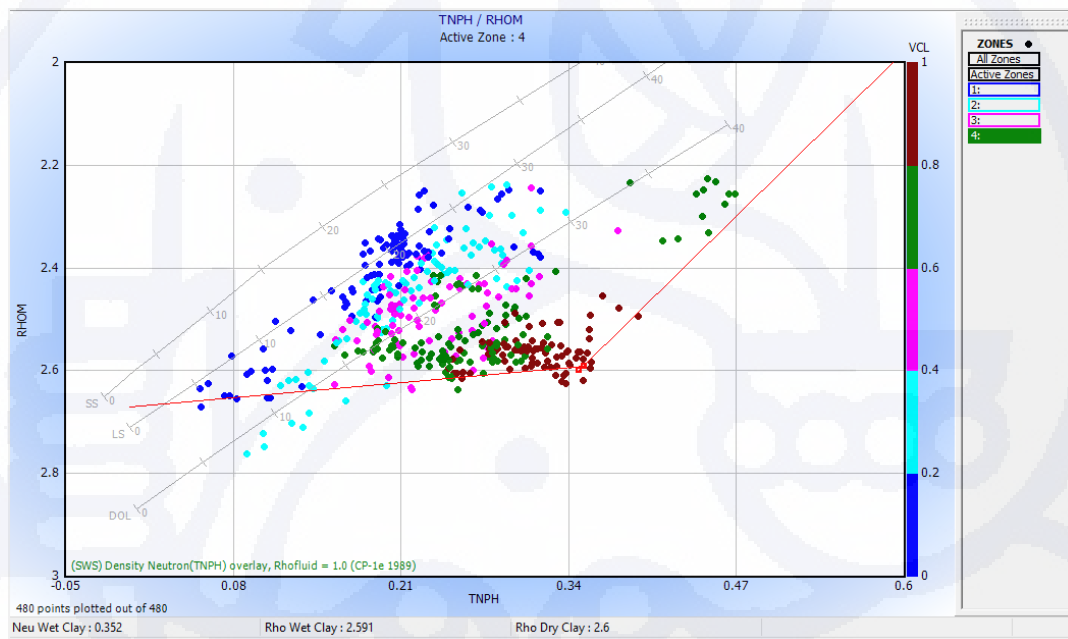
Dalam penentuan densitas lempung digunakan metoda segitiga Volan. Dalam segitiga Volan ditentukan titik lempung kering yang mengandung 100% lempung dan 100% matriks. Titik lempung basah adalah titik paling kanan bawah dari sebaran data.



Gambar 4.9 Lempung basah zona 2 sumur GB-79



Gambar 4.10 Lempung basah zona 3 sumur GB-79

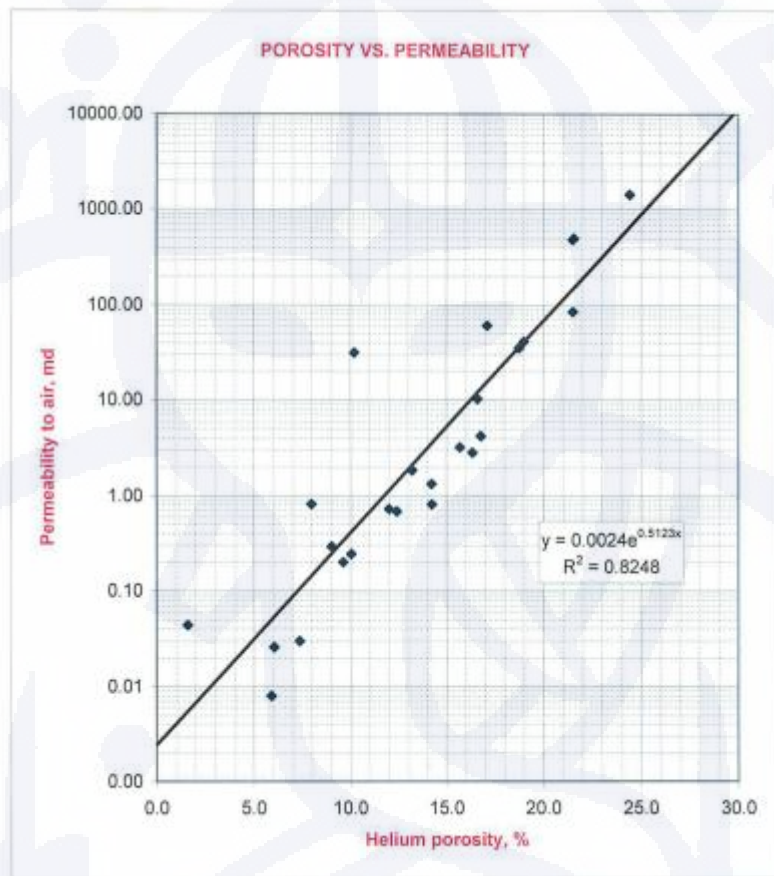


Gambar 4.11 Lempung basah zona 4 sumur GB-79

Maka diperoleh nilai lempung basah pada zona 2 sebesar 2.57 gr/cm^3 , zona 3 sebesar 2.56 gr/cm^3 , dan zona 4 sebesar 2.59 gr/cm^3 .

4.2.3 Permeabilitas

Perhitungan permeabilitas menggunakan plot silang antara permeabilitas dengan porositas dari hasil uji laboratorium. Sehingga diperoleh hubungan antara keduanya.



Gambar 4.12 Plot porositas total dengan permeabilitas (Geoservices, 2010).

4.2.4 Saturasi Air

Persamaan yang dipakai dalam menghitung saturasi air pada daerah penelitian digunakan persamaan indonesia. Hal ini dikarenakan zona penelitan merupakan *shaly sand*, merupakan lingkungan deltaik, dan air formasi pada zona penelitian cenderung *fresh water*. Persamaan indonesia dirancang pada daerah yang memiliki salinitas rendah dan nilai resistivitas tinggi.

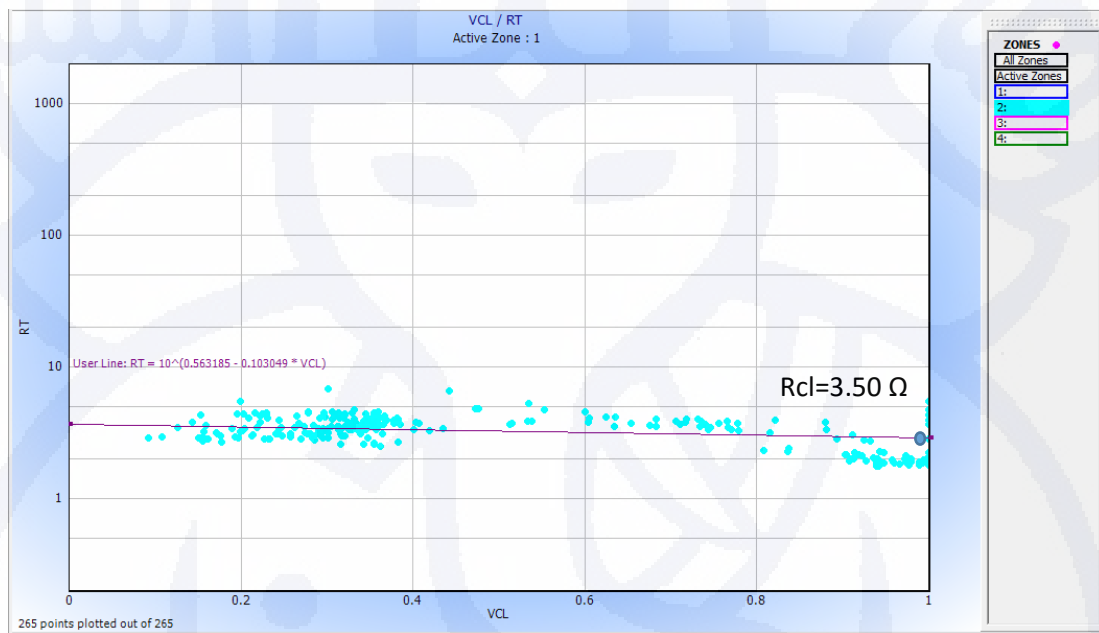
$$S_w^{\frac{n}{2}} = \frac{1}{\sqrt{Rt} \left(\sqrt{\frac{\Phi^m}{axRw}} - \frac{Vcl(1-\frac{Vcl}{2})}{\sqrt{Rcl}} \right)}$$

- SW = Saturasi Air
- RT = Resistivitas Total
- Φ = Porositas
- Rw = Resistivitas Air
- Rcl = Resistivitas Lempung
- Vcl = Volume Lempung
- a = *Turtoisity Factor*
- m = Faktor Sedimentasi
- n = eksponen Saturasi

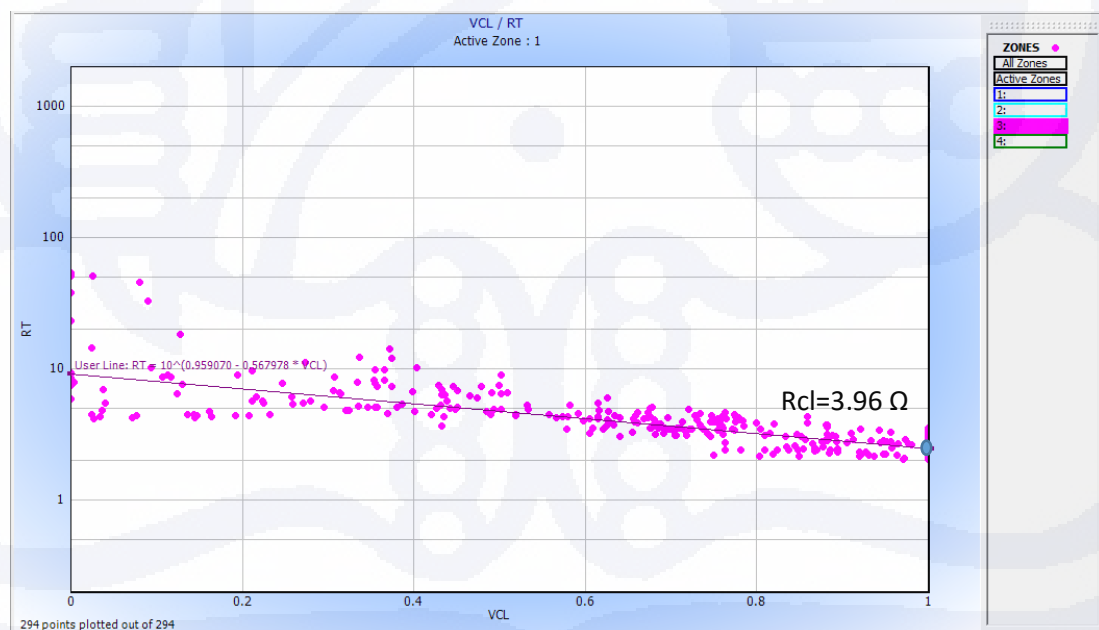
Dalam perhitungan diperlukan nilai a, m, dan n. nilai ini di peroleh dari hasil perhitungan yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Nilai a=1, m=1.76, n=1.78. selain a, m, dan n juga dibutuhkan nilai R_w dan nilai resistivitas lempung basah.

4.2.4.1 Resistivitas Lempung Basah

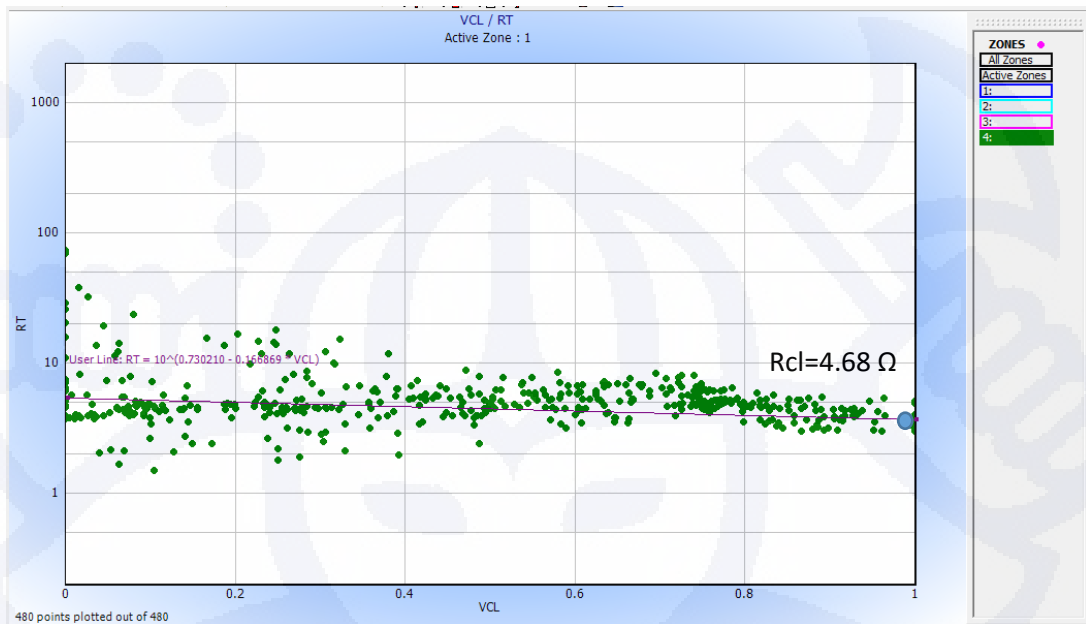
Penentuan resistivitas lempung basah menggunakan plot resistivitas dengan volume lempung. titik yang diambil nilai resistivitasnya adalah titik 100% lempung.



Gambar 4.13 Resistivitas lempung zona 2 sumur GB-79



Gambar 4.14 Resistivitas lempung zona 3 sumur GB-79

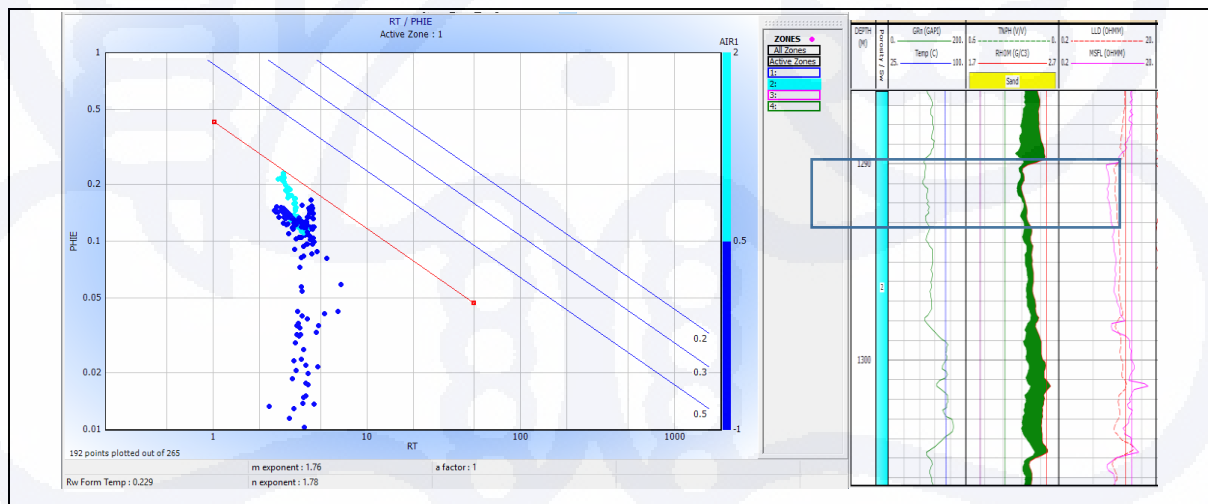


Gambar 4.15 Resistivitas lempung zona 4 sumur GB-79

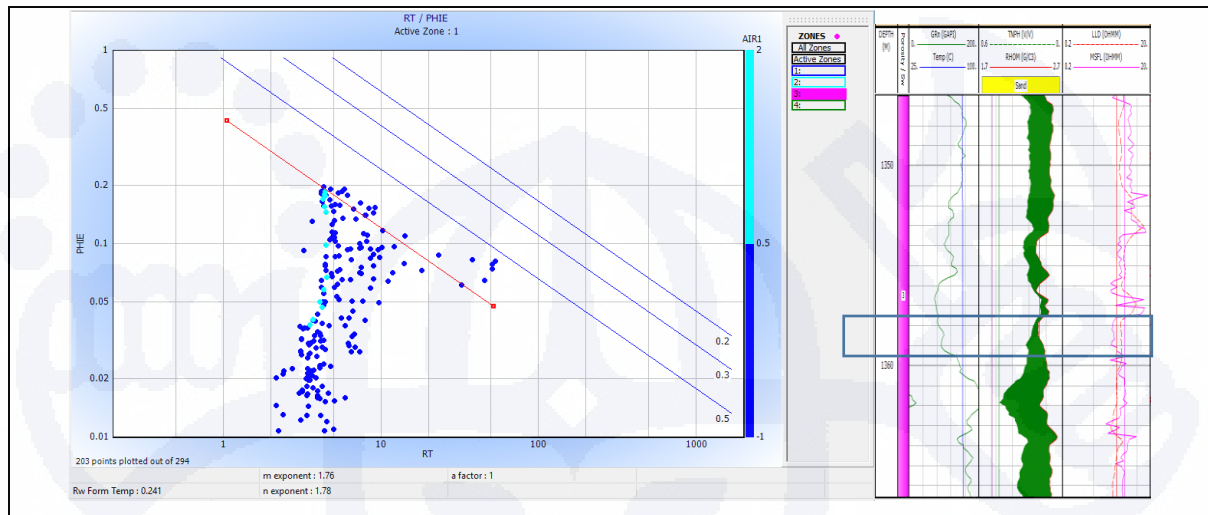
Bedasarkan hasil *crossplot* antara log VCL dengan RT diperoleh resistivitas pada lapisan 2=3.50 Ω, 3=3.96 Ω dan 4=4.68 Ω.

4.2.4.2 Resistivitas Air

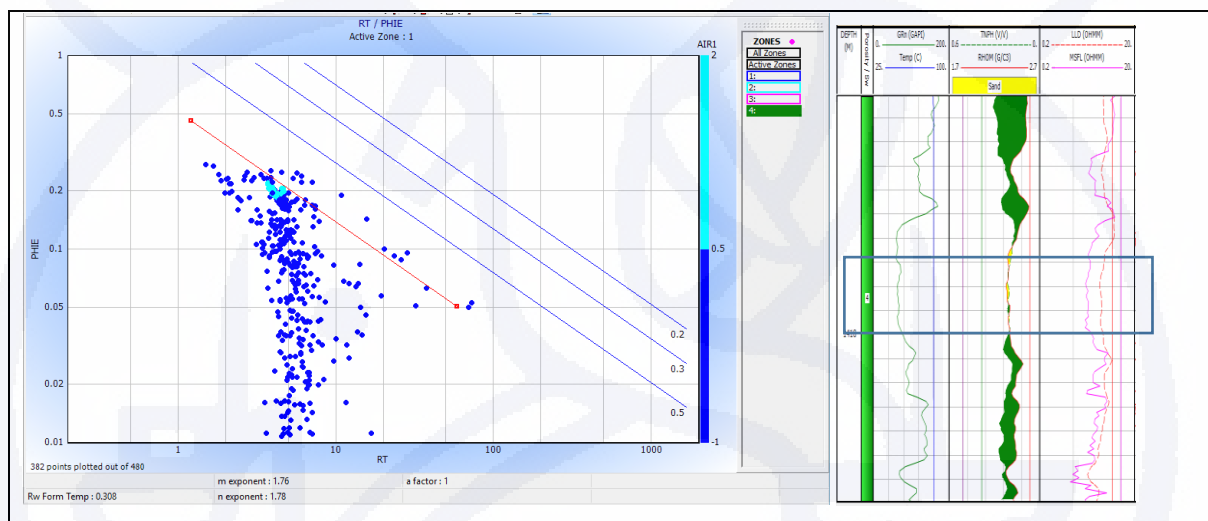
Untuk menentukan resistivitas air digunakan metoda *pickett plot*. Penentuan zona 100% air dilihat dari log resistivitas, neutron, densitas, dan sinar gamma serta didukung oleh data produksi.



Gambar 4.16 Pickett plot zona 2 GB-79



Gambar 4.17 Pickett plot zona 3 GB-79

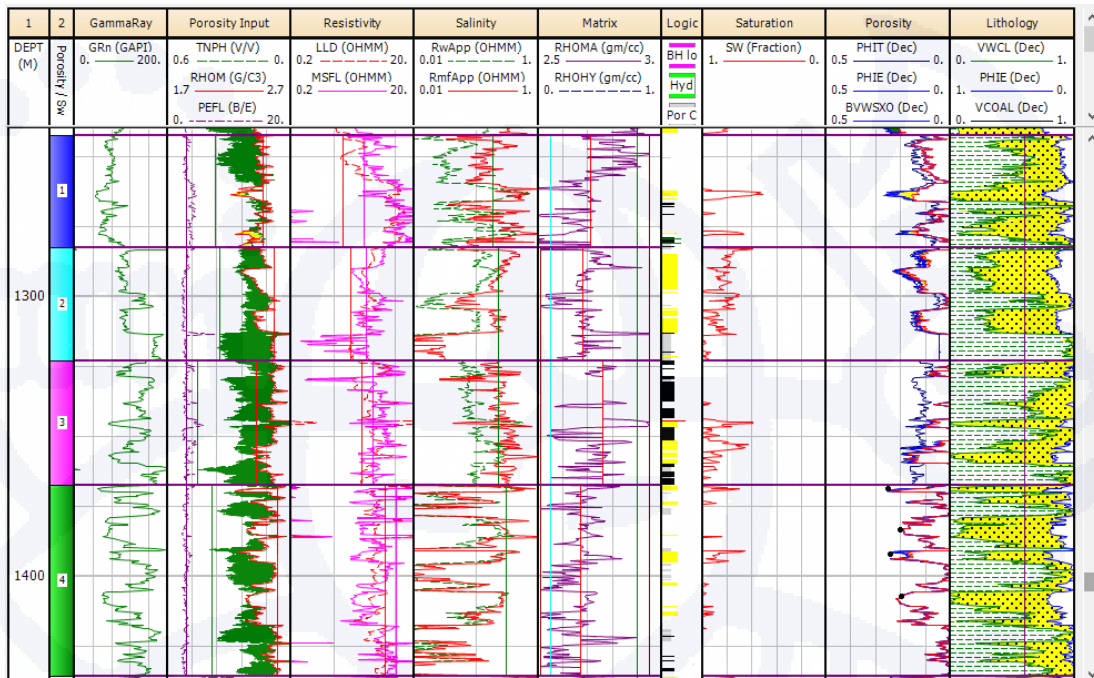


Gambar 4.18 Pickett plot zona 4 GB-79

Berdasarkan metoda pickett plot diperoleh resistivitas air pada lapisan 2=0.29 Ω , 3=0.41 Ω , dan 4= 0.308 Ω pada temperatur formasi.

Berdasarkan (Gambar 4.19) terlihat bahwa porositas perhitungan mirip dengan porositas hasil uji laboratorium. Hal ini dilakukan sebagai kontrol kualitas pada perhitungan petrofisika yang dilakukan.

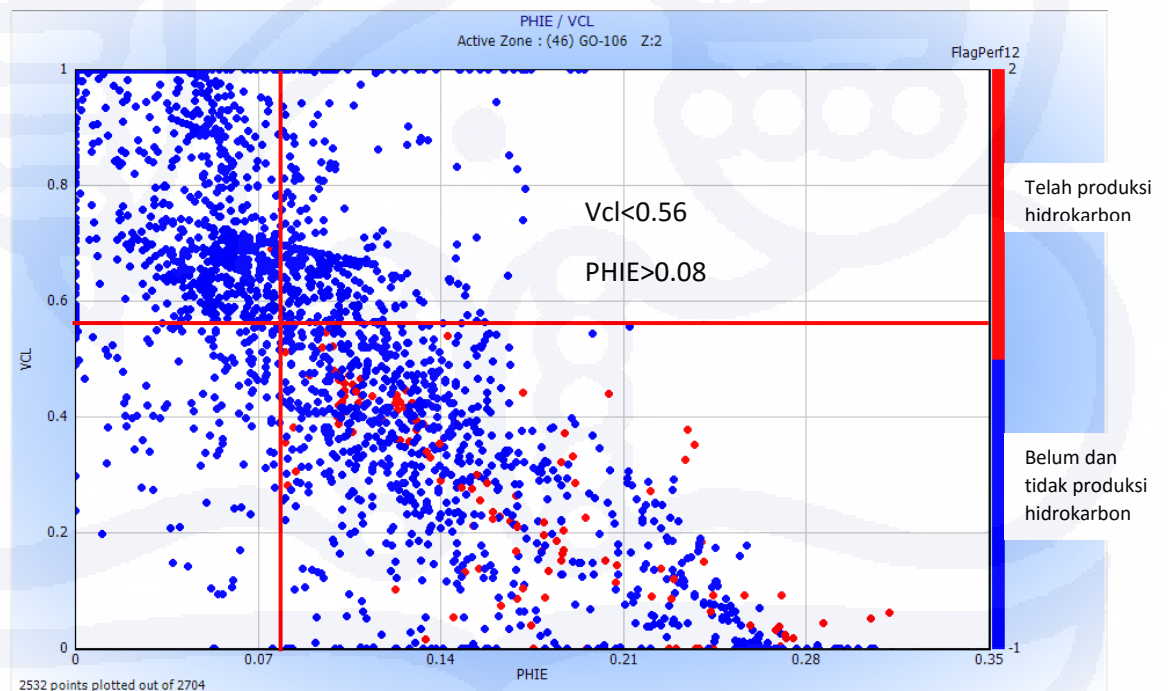
Hasil perhitungan sumur lainnya dapat dilihat pada lampiran.



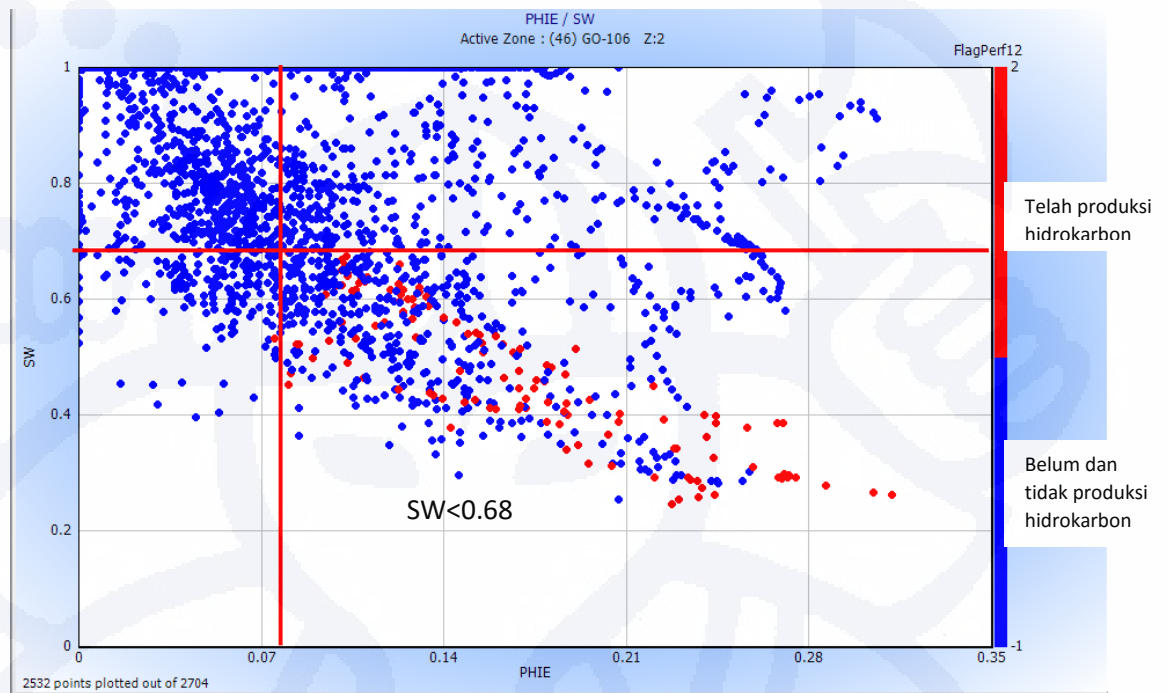
Gambar 4.19 Hasil perhitungan petrofisika

4.2.5 Penentuan Nilai Ambang Volume Serpih, Porositas, dan Saturasi Air

Salah satu yang diperlukan dalam perhitungan volumetrik adalah peta NTG. Peta NTG dibuat berdasarkan nilai batas ambang yang diperoleh dari data petrofisika.



Gambar 4.20 Penentuan batas ambang volume serpih dan porositas efektif.



Gambar 4.21 Penentuan batas ambang saturasi air dan porositas efektif.

Nilai ambang didapat dari plot data yang telah terbukti memproduksi hidrokarbon.. Berdasarkan plot tersebut nilai ambang yang di peroleh adalah 0.5 untuk volume serpih, 0.078 untuk porositas efektif, dan 0.68 untuk saturasi air.