



Profil Perubahan Nilai Resistivitas Reservoir Pada Batu Pasir Karena Pengaruh Mineral Glaukonit

Sarju Winardi¹, Sugeng Sapto Surjono^{1,2}, Donatus Hendra Amijaya¹ and Wiwit Suryanto²

¹Teknik Geologi FT UGM, Yogyakarta

Jl. Grafika Bulaksumur No.2 Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55284, Indonesia

²Prodi Geofisika Departemen Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta

Jl. Grafika Bulaksumur No.2 Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55284, Indonesia

ABSTRAK

Artikel Info:

Naskah Diterima:
05 Juni 2024

Diterima setelah
perbaikan:
28 Juni 2024

Disetujui terbit:
05 Juli 2024

Kata Kunci:

LRLC
reservoir
batupasir
glaukonit

Keberadaan minyak dan gas bumi secara umum dicirikan oleh nilai resistivitas reservoir (R_t) yang tinggi. Fakta yang dipublikasikan beberapa peneliti menunjukkan adanya zona hidrokarbon yang nilai resistivitas reservoirnya rendah atau biasa disebut *Low Res Low Contrast (LRLC)*. Penelitian mengenai profil perubahan R_t pada reservoir batupasir karena pengaruh mineral glaukonit masih terbatas. Mineral glaukonit dilaporkan dijumpai pada beberapa reservoir batupasir di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kehadiran mineral glaukonit terhadap perubahan nilai resistivitas reservoir (R_t). Penelitian dilakukan dengan membuat *pseudo core* batupasir yang dikondisikan mengandung mineral glaukonit dari 2-30% dan dihitung nilai R_t -nya pada kondisi saturasi air (S_w) yang berbeda. Sampel *pseudo core* diukur pada kondisi permukaan dengan tingkat porositas 40% dan diinjeksi air formasi bersalinitas 20.000 ppm. Hubungan antara volume mineral konduktif dan nilai R_t diplot pada suatu kurva untuk tiap tingkat saturasi air (S_w). Hasil pengukuran tegangan sampel yang mengandung glaukonit berkisar antara 5,9 volt sampai dengan 18,8 volt. Nilai resistivitasnya berkisar antara 6,05 ohm.m sampai dengan 19,28 ohm.m. Glaukonit terbukti menurunkan nilai R_t dan profil perubahan nilai R_t vs volume glaukonit adalah eksponensial. Pada sampel dengan kandungan glaukonit sebesar 10%, resistivitas reservoir terkoreksi diestimasi sebesar satu setengah kali R_t awal.

ABSTRACT

In The Presence of oil and natural gas os generally characterized by high reservoir resistivity (R_t) values. Facts published by several reserchers show that there are hydrocarbon zones with low reservoir resistivity values or what is usually called Low Res Low Contrast (LRLC). Research on the changing profile of R_t in sandstone reservoir due to the influence of glauconite minerals is still limited. The mineral glauconite has been reported to be found in several sandstone reservoir in Indonesia. This research aims to determine the effect of the presence of glauconite minerals on changes in reservoir resistivity (R_t) values. The research was carried out by making sandstone pseudo cores which are conditioned to contain glauconite mineral from 2-30% and the R_t value wal calculated at different water saturation (S_w) conditions. Then Pseudo core samples were measured at surface conditions with a porosity level of 40% and injected with formation water with a salinity of 20,000 ppm. The relationship between the volume of conductive minerals and R_t value of conductive minerals and the R_t value is plotted on a curve for each level of water saturation (S_w). The volume result of samples containing glauconite

Korespondensi:

E-mail: sarju_winardi@ugm.ac.id (Sarju Winardi)

ranged from 5.9 volts to 18 volts. The resistivity value ranges from 6.05 ohm.m to 19.28 ohm.m. Glauconite is proven to reduce Rt values and the profile of changes in Rt values vs glauconite volume is exponential. In samples with a glauconite content of 10%, the corrected reservoir resistivity is estimated to be one and a half times the initial Rt

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Eksplorasi minyak dan gas bumi sedang mengalami banyak tantangan. Hal tersebut disikapi oleh banyak perusahaan migas dengan berkonsentrasi melakukan studi yang fokus pada lapangan *mature*. Studi yang dilakukan biasanya terkait dengan *overlooked zones* suatu zona minyak atau gas.

Penentuan zona hidrokarbon sangat tergantung kepada parameter petrofisika reservoir, khususnya resistivitas reservoir (Archie 1950). Keberadaan minyak dan gas bumi secara umum akan dicirikan oleh nilai resistivitas reservoir (R_t) yang tinggi (Dewan 1983). Fakta yang dipublikasikan oleh beberapa peneliti menunjukkan bahwa terdapat beberapa zona hidrokarbon yang justru menunjukkan nilai R_t yang rendah (*low resistivity reservoir*).

Beberapa kasus *low resistivity reservoir* juga dilaporkan terjadi di Indonesia, diantaranya: 1). Reservoir batupasir Miosen Tengah – Miosen Akhir di lapangan Attaka, Cekungan Kutai, dengan R_t sekitar 2 – 4 ohm.m., mampu menghasilkan 19.000 BOPD atau 45% dari total produksi harian di lapangan tersebut (Partono 1992); 2). Batupasir Formasi Balikpapan di lapangan Sangata, Cekungan Kutai, dengan $R_t < 10$ ohm.m, terbukti mengandung

minyak dan mampu menambah cadangan di tempat sebesar (STOOIP) kurang lebih 5 juta meter kubik (Suwardji dkk. 1994); 4). Batupasir Formasi Telisa di lapangan Sabak dan Petapahan, Cekungan Sumatera Tengah, dengan resistivitas sekitar 0,5 – 2 ohm.m, juga terbukti berisi minyak dan bisa menambah cadangan terbukti sekitar 600 BOPD dari 3 sumur produksi. Pada sumur Petapahan#35 bahkan produksinya mencapai 243 BOPD dengan saturasi air hanya 8% (Gumilar dkk. 1996).

Zona reservoir resistivitas rendah telah terbukti bisa menambah jumlah cadangan minyak, namun zona tersebut mendatangkan tingkat kesulitan yang tinggi. Analisis dengan metode konvensional seringkali menunjukkan hasil saturasi air (S_w) yang tidak akurat. Secara umum (Hamada & Al-Awad 2002) menjelaskan bahwa penyebab resistivitas reservoir rendah adalah karena dua hal: 1). Reservoir dengan S_w aktual yang tinggi tapi tidak ada air formasi yang ikut terproduksi dan S_w yang tinggi tersebut dikarenakan oleh mikroporositas; dan 2). Reservoir dengan S_w terhitung lebih tinggi dari S_w sebenarnya karena adanya mineral konduktif seperti lempung, sulfida logam, grafit, pirit dan lain-lain.

Penelitian mengenai penurunan R_t pada reservoir batupasir yang disebabkan oleh kehadiran mineral konduktif masih terbatas pada beberapa jenis

Tabel 1
Beberapa interval reservoir yang mengandung mineral glaukonit

Area	Formasi	Interval	Mineral Konduktif	Penulis
Kurau	Lower Sihapas	Lithofasies-1	siderit, pirit	Murphy dalam Atkinson dkk, 1993
		Lithofasies-2	pirit	
		Lithofasies-4	siderit, glaukonit	
		Lithofasies-5	glaukonit	
Tuban	Ngrayong	Grigis Barat-1 core #1	siderite	Ardhana dkk dalam Atkinson dkk, 1993
		Grigis Barat-1 core #2	glaukonit, siderit,	
		Gondang-1 core#1 & 2	pirit	
		Ngasin-1 core#1	glaukonit	
			glaukonit, pirit	

mineral seperti magnetit (Yanto & Winardi 2015), hematit (Winardi dkk. 2018), dan pirit (Winardi dkk. 2021). Sementara itu, mineral glaukonit (Tabel 1) yang disinyalir merupakan mineral yang konduktif dijumpai pada beberapa reservoir batupasir di Indonesia (Atkinson dkk. 1993), namun belum banyak penelitian terkait hubungannya dengan Rt. Pada reservoir batupasir dengan kandungan glaukonit, sangat mungkin terjadi kesalahan estimasi nilai saturasi air (S_w) karena nilai input Rt yang tidak akurat. Terkait dengan hal tersebut, penting untuk diteliti, tentang bagaimana mengetahui pengaruh kehadiran mineral glaukonit terhadap nilai Rt.

Asal-usul Mineral Glaukonit

Mineral penyusun batupasir umumnya adalah mineral utama, mineral aksesoris, fragmen batuan dan semen kimiawi (Boggs 1992). Asal-usul mineral pada batupasir dapat berupa mineral detritus dan mineral autigenik. Mineral autigenik adalah mineral yang terbentuk dalam lingkungan pengendapan pada saat pengendapan, proses penimbunan atau diagenesa. Mineral autigenik bisa berupa butiran mineral, semen, *grain coating*, *pore filling* atau *replacement*. Contoh mineral autigenik adalah: 1).

Silika, feldspar, mika dan mineral lempung; dan 2). Glaukonit dan chamosit (mineral lempung yang kaya kandungan besi).

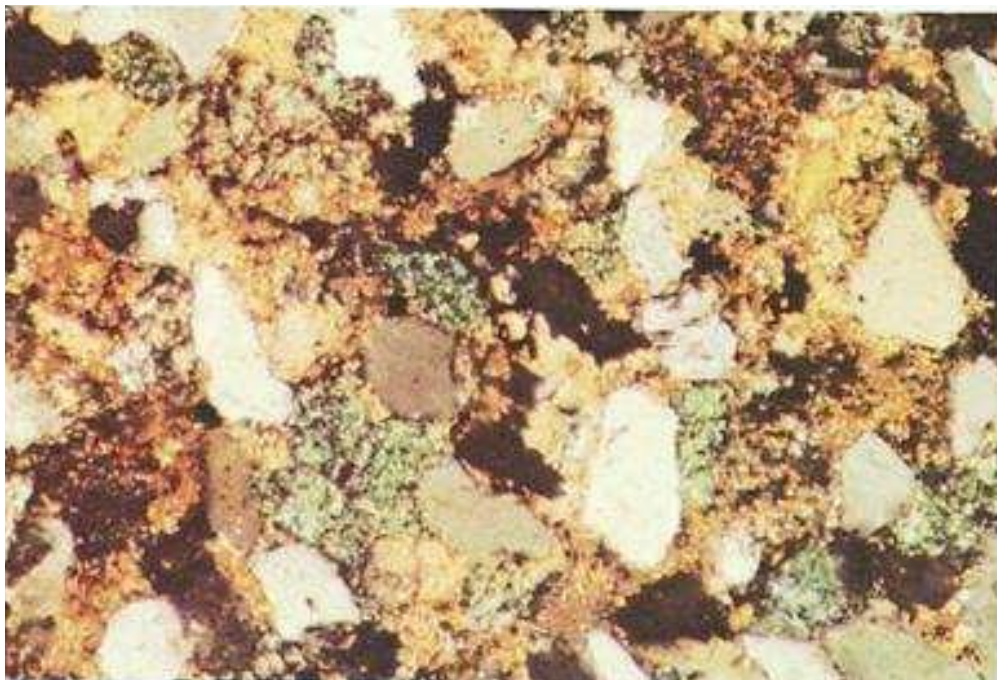
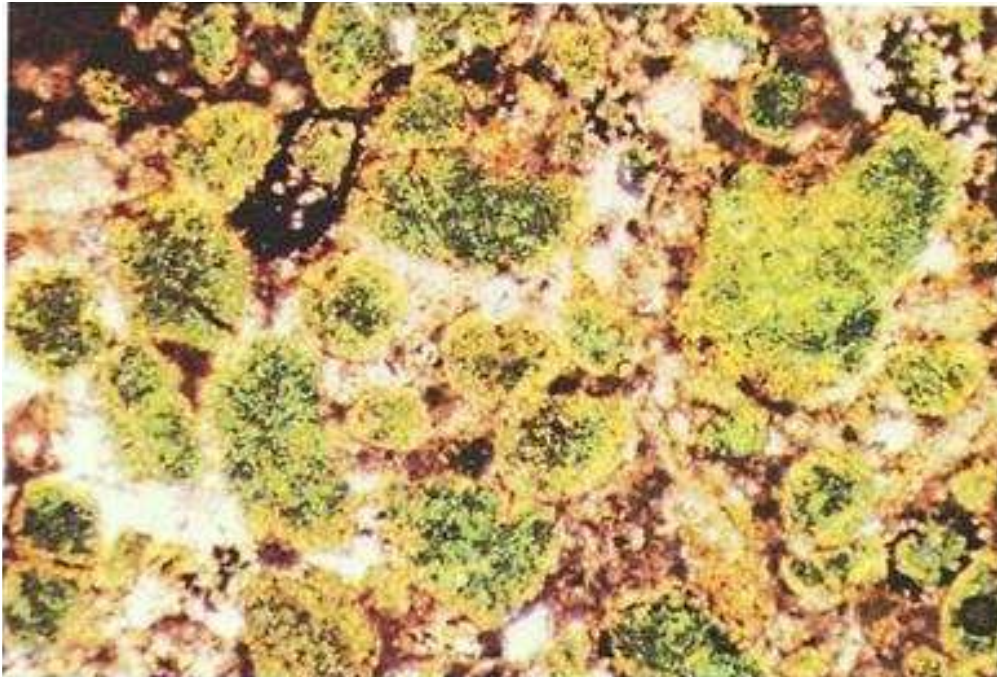
Glaukonit (Gambar 1) merupakan mineral yang terbentuk pada lingkungan laut yaitu pada paparan kontinen dengan suhu rendah serta tidak terlalu oksik ataupun reduktif (Selley 1988). Glaukonit juga dijumpai melimpah pada *offshore mud*. Kedalaman air laut tempat terbentuknya glaukonit bervariasi dari 50 meter sampai dengan 1000 meter dan jarang dijumpai melimpah sebagai mineral detrital. Mineral glaukonit termasuk kelompok mineral lempung (jenis ilit) kaya besi dan umumnya terbentuk autigenik secara kimiawi. Menurut Selley (1988) genesa glaukonit berbeda dengan mineral lempung jenis lainnya, yaitu glaukonit tidak terbentuk oleh pelapukan di darat ataupun hidrotermal.

Glaukonit yang terbentuk sebagai butiran *amorf* berwarna hijau terkadang bisa lebih besar dibanding jika terbentuk dalam ukuran pasir halus. Butiran glaukonit bisa terbentuk sebagai mineral pengganti berupa *faecal pellet* atau mengisi rongga dalam foraminifera. Glaukonit juga dijumpai mengisi cangkang yang berukuran lebih besar dan terkadang sebagai detrital dalam batupasir (Gambar 2).



Gambar 1
Kenampakan glaukonit pada batulempung (Bishop dkk. 2005)

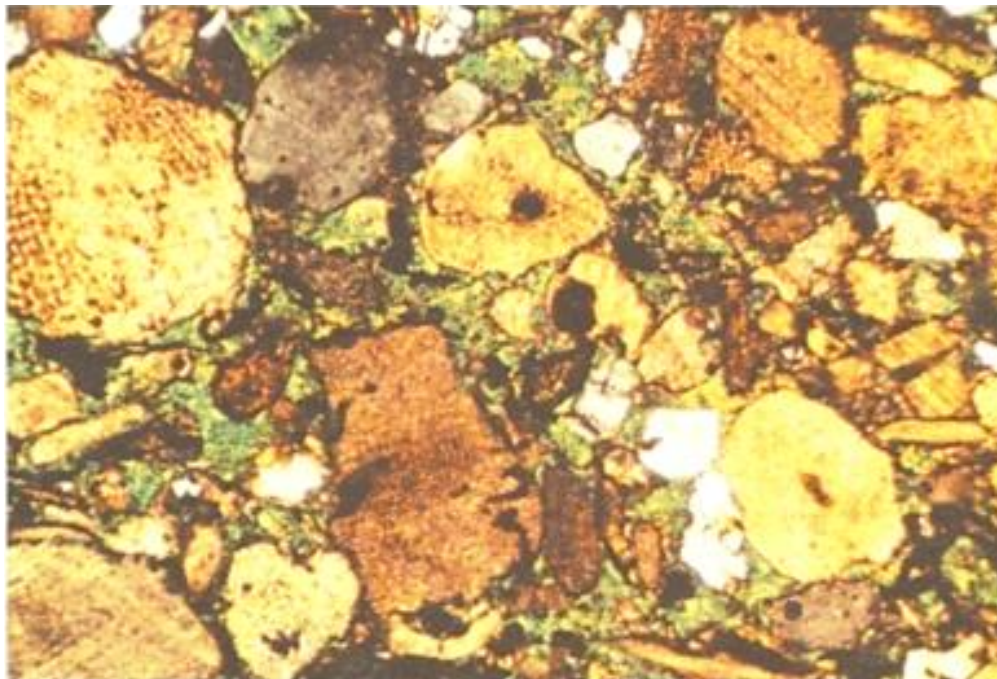
Gambar 2
Mineral glaukonit sebagai detrital pada batupasir (Scholle 1979).



Pada batupasir, glaukonit bisa juga dijumpai dalam bentuk pelet, oolit atau semen (Gambar 3). Batupasir yang sering mengandung glaukonit utamanya diklasifikasikan dalam kelompok *quartz arenite - greywacke*. Glaukonit bisa juga dijumpai dalam *marine mudrock*, dalam *clean well-sorted crossbedded sand shoal* ataupun secara minor dalam endapan turbidit.

Sampel mineral glaukonit yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan pada singkapan batupasir glaukonit yang merupakan bagian dari Formasi Ledok.

Singkapan ini berada di daerah Dologan, Kecamatan Japah, Kabupaten Blora, Jawa Tengah (koordinat S 06° 55" 965' dan E 111° 16" 079'). Batupasir glaukonit setebal 20-50 cm dijumpai



Gambar 3
Mineral glaukonit sebagai semen pada batupasir (Scholle 1979)

diantara perlapisan batugamping pasiran (Gambar 4). Batupasir glaukonit tersebut berwarna lapuk coklat abu-abu, namun saat dilakukan penggalian warna segarnya nampak hijau abu-abu.

BAHAN DAN METODE

Secara umum penelitian ini termasuk eksperimental pada skala laboratorium. Data didapatkan dengan melakukan serangkaian pengukuran pada sampel batupasir yang berupa *pseudocore*. Data diukur pada sampel dengan kandungan mineral glaukonit yang bervariasi. Sampel batupasir berbentuk *pseudocore* tersebut mempunyai geometri panjang (L_{total}) 0,20 m dan diameter (D) 0,038 m (Gambar 5). Bahan yang diperlukan untuk membuat sampel tersebut antara lain pasir kuarsa (ukuran butir seragam, antara 35-50 mesh), semen dan mineral glaukonit. Volume mineral glaukonite dibuat bervariasi dengan kenaikan volume 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 15%, 20%, 25% sehingga terdapat sembilan varian MK. Kemudian sampel diinjeksi air formasi dengan salinitas 20.000 ppm dengan saturasi yang bervariasi mulai dari Sw 100%, 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30% dan 20%, sehingga terdapat sembilan varian Sw. Setelah itu diukur nilai tegangan (V, dalam volt) dan kuat arus (I, dalam amper) dari sampel dan nilai resistansi (R, dalam ohm) dihitung berdasarkan V serta I. Nilai Rt

akan didapatkan dari perhitungan yang menggunakan input resistansi (R, ohm), luas penampang sampel (A, dalam m^2) dan panjang total sampel (L_{total} , dalam m).

Metode perhitungan resistivitas dari resistansi yang dipengaruhi geometri sampel adalah modifikasi dari kombinasi Ohm Law and Wenner Method (Winardi dkk. 2019) yang dapat ditulis ulang sebagai berikut:

ρ : resistivitas (ohm.m)

V: voltase (volt)

I: arus (ampere)

A: luas penampang sampel (m^2)

L: jarak antara metal probes (m, 1/3 panjang sampel)

G: konstanta geometri (0.6)

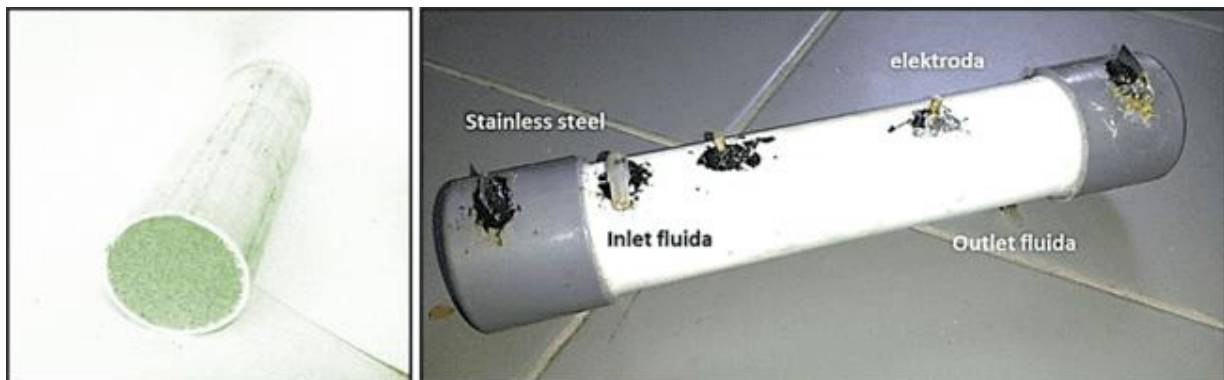
$$\rho = (V/I) * (A/L) * (G) \quad (1)$$

Analisis data dalam penelitian ini (gambar 6) meliputi analisa kandungan mineral dan pola nilai Rt vs Sw. Jenis analisa untuk mengetahui kandungan mineral dan prosentasenya dengan tanpa harus merusak sampel adalah analisa XRD (*X-Ray Diffraction*). Sampel yang disinari *X-Ray* akan menghasilkan spektrum difraksi dan ditampilkan dalam bentuk grafik intensitas. Grafik ini kemudian dapat dianalisis jarak antara bidang kisi kristalnya



Gambar 4

Singkapan batupasir glaukonit di daerah Dologan yang menunjukkan warna segar hijau abu-abu, tersusun oleh butiran pasir berukuran sedang – halus. Ketebalan batupasir glaukonit sekitar 20 – 50 cm dan berada diantara batugamping pasiran setebal 10 cm



Gambar 5

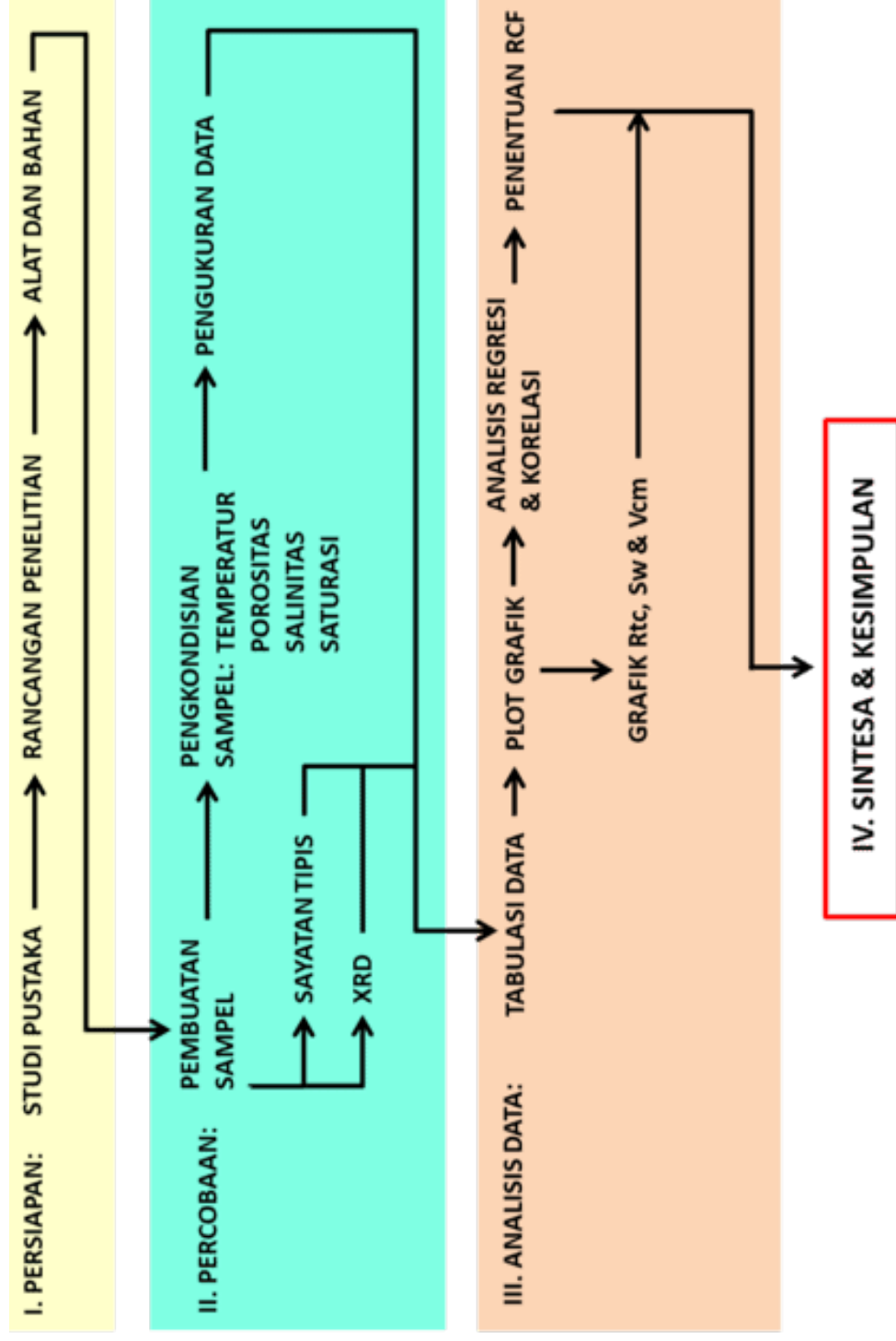
Contoh pseudocore yang digunakan dalam penelitian. Panjang pseudocore 0,2 m dan diameternya 0,038 m.

dan dibandingkan dengan hukum Bragg. Berdasarkan data yang dihasilkan dapat diketahui karakteristik puncak tiap jenis mineral, persentase volume mineral dan tingkat kristalinitas mineral yang ada pada sampel yang dianalisis. Data hasil pengukuran yang berupa nilai resistivitas dari sampel-sampel akan dianalisa dengan metode *cross-plot* antara parameter R_t , S_w dan volume mineral glaukonit yang dibuat dengan mempertimbangkan pengaruh / sensitivitas porositas, salinitas dan temperatur. Sensivitas porositas, salinitas dan temperatur diukur pada beberapa sampel referensi dan kondisi lainnya dimodelkan secara matematis.

HASIL DAN DISKUSI

Karakteristik Batupasir Mengandung Glaukonit

Pada sayatan tipis, glaukonit nampak khas berwarna kehijauan, baik sebagai matriks atau agregat yang lebih kasar dan tersebar secara merata diantara butiran kuarsa (Gambar 7). Dengan demikian keberadaan glaukonit dalam sampel *pseudocore* berupa “*dispersed*” dan “*structured*” secara bersamaan dalam satu batuan. Berdasarkan analisis XRD, sampel batuan yang berasal dari



Gambar 6
Diagram alir penelitian (Winardi 2019)

daerah Dolongan, Jajah, Blora terindikasikan mengandung glaukonit dan beberapa jenis mineral lain seperti kaolinit, smektit dan plagioklas (Gambar 8). Pemisahan mineral glaukonit dengan mineral yang lain sangat sulit dilakukan karena ukurannya yang sangat halus dan kemiripan karakternya. Namun demikian secara komposisi, glaukonit masih dominan sebagai penyusun sampel tersebut dengan persentase lebih dari 78% (Tabel 2).

Pengaruh Mineral Glaukonit Terhadap Nilai Rt.

Prosentase mineral glaukonit yang digunakan (dari XRD) berkisar 78,9% sehingga volume kenaikan glaukonit untuk tiap sampel disesuaikan dan tidak tepat naik tiap 2%. Hasil pengukuran tegangan untuk semua sampel yang mengandung glaukonit berkisar antara 5,9 volt sampai dengan 18,8 volt (Tabel 3). Perhitungan nilai resistansi (dalam ohm) untuk sampel-sampel tersebut adalah 590 ohm sampai dengan 1880 ohm (Tabel 4). Nilai resistivitas (ohm.m) untuk semua sampel *pseudocore* yang mengandung glaukonit menghasilkan angka 6,05 ohm.m sampai dengan 19,28 ohm.m (Tabel 5). Plot grafis antara volume glaukonit terhadap nilai Rt (Gambar 9) menunjukkan bahwa data hanya sampai 19% dan kenaikan volume glaukonitnya tidak tepat tiap 2%. Ekstrapolasi berdasarkan persamaan garis pada kurva tersebut perlu dilakukan untuk mendapatkan kurva yang menerus (Tabel 6 dan Tabel 7). Berdasarkan hasil ekstrapolasi tersebut bisa dibuat grafik yang menerus tiap kenaikan 2% volume glaukonit (Gambar 10). Pola hubungan antara volume glaukonit dengan nilai Rt pada sampel yang mengandung glaukonit menunjukkan

bahwa ada pengaruh kehadiran glaukonit terhadap penurunan nilai Rt secara eksponensial. Tabel 8 adalah persentase penurunan nilai Rt untuk sampel yang mengandung glaukonit.

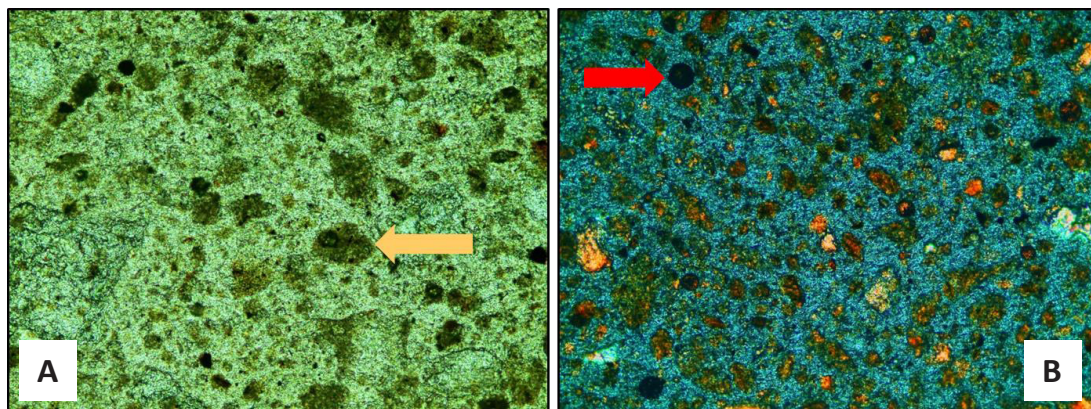
Faktor Koreksi Resistivitas (Rcf)

Konsep faktor koreksi resistivitas (R_{cf} , *resistivity correction factor*) adalah:

$$R_{cf} = \frac{R_{t_0}}{R_{t_a}} \quad (2)$$

Dimana R_{t_0} adalah resistivitas original (dengan asumsi tanpa glaukonit) dan R_{t_a} adalah *apparent resistivity* (R_t yang dibaca dari log, dengan asumsi telah dipengaruhi glaukonit). Dengan demikian untuk masing-masing kurva pola penurunan R_t dapat dibuat R_{cf} . Misal untuk sampel yang mengandung glaukonit pada Gambar 10, dapat dibuat perhitungan R_{cf} (Tabel 9). Hubungan antara volume mineral konduktif dan R_{cf} dapat dibuat suatu grafik (Gambar 11). Berdasarkan nilai R_{cf} tersebut dapat diketahui bahwa volume glaukonit 10% dapat membuat R_{t_0} menjadi 1,5 kali dari R_{t_a} -nya.

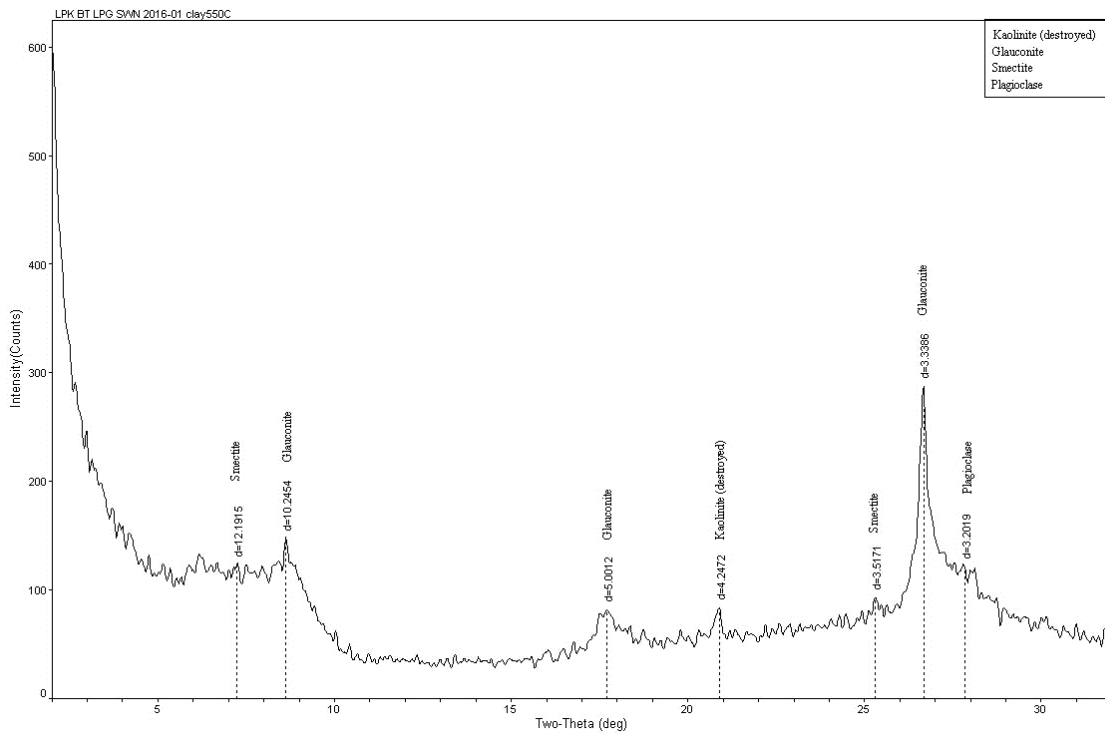
Nilai resistivitas masing-masing mineral utamanya dikontrol oleh kandungan besi yang elektron terluarnya mudah terlepas membentuk *ferric*/ Fe^{3+} atau *ferrous*/ Fe^{2+} (Telford et al. 1990). Glaukonit merupakan mineral yang tersusun oleh beberapa unsur yaitu kalium (K) 5,49 % , natrium (Na) 0,27 % , magnesium (Mg) 2,28 % , aluminium (Al) 1,90 % , besi (Fe) 19,62 % , silikon (Si) 25 % , hidrogen (H) 0,47% dan oksigen (O) 44,97%.



Gambar 7

Foto sayatan tipis dengan perbesaran 10x dari sampel pseudocore yang berupa batupasir glaukonit. Foto bagian kiri (A) adalah sayatan tipis tanpa blue dye dan foto bagian kanan (B) adalah sayatan yang diberi blue dye. Glaukonit (panah coklat) dijumpai diantara kuarsa dan terdapat impurities mineral bijih (panah merah) dalam jumlah yang minor.

Profil Perubahan Nilai Resistivitas Reservoir Pada Batu Pasir Karena Pengaruh Mineral Glaukonit (Sarju Winardi dkk.)



Gambar 8

Hasil analisis XRD pada sampel batupasir glaukonit dari Jajah, Blora. Selain mineral glaukonit yang melimpah, dijumpai juga mineral lain yaitu kaolinit.

Tabel 2
Komposisi serbuk sampel mineral glaukonit dari Jajah, Blora

Peak Search Report (7 Peaks, Max P/N = 5.6)									
Sample name : GLC_SWN_2016_01									
PEAK: 29-pts/Parabolic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=0.1%, BG=3/1.0, Peak-Top=Summit									
2-Theta	d(Å)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(Å)	Minerals
7,245	12,1915	109	13	6,8	116	3	0,143	696	Smectite
8,623	10,2454	96	50	26,3	1455	37,4	0,466	156	Glauconite
17,72	5,0012	48	33	17,4	1136	29,2	0,585	124	Glauconite
20,898	4,2472	51	32	16,8	677	17,4	0,36	208	Kaolinite (destroyed)
25,302	3,5171	75	17	8,9	215	5,5	0,202	412	Smectite
26,679	3,3386	97	190	100	3894	100	0,348	218	Glauconite
27,84	3,2019	109	11	5,8	22	0,6	0,1	>1000	Plagioclase

Kelimpahan :

Smectite	8,67 %
Glauconite	78,90 %
Kaolinite (destroyed)	9,25 %
Plagioclase	3,18 %

Tabel 3
Hasil pengukuran tegangan (volt) pada sampel yang mengandung glaukonit

	Sw	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20
Kandungan Glaukonit (%)	0,00	10,60	19,30	25,10	27,00	27,90	28,80	29,60	30,00	30,40
	1,58	8,60	9,20	14,40	18,50	18,90	18,60	18,70	18,70	18,80
	3,16	9,50	12,40	13,20	13,40	13,70	13,90	14,20	14,40	14,60
	4,73	8,90	10,20	11,40	12,90	13,70	13,80	14,00	14,20	14,30
	6,31	8,30	9,10	10,70	11,60	11,70	11,80	11,80	11,90	12,00
	7,89	6,30	7,00	9,40	10,90	11,00	11,10	11,20	11,40	11,40
	11,84	6,30	6,40	8,40	9,70	10,80	11,00	11,10	11,00	11,10
	15,78	6,50	7,10	9,00	9,40	9,90	10,00	10,20	10,30	14,30
	19,73	5,90	7,20	8,80	9,00	9,90	10,00	10,20	10,30	10,30

Tabel 4
Hasil perhitungan resistansi (R dalam ohm) untuk sampel yang mengandung glaukonit.

	Sw	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20
Kandungan Glaukonit (%)	0,00	1060	1930	2510	2700	2790	2880	2960	3000	3040
	1,58	860	920	1440	1850	1890	1860	1870	1870	1880
	3,16	950	1240	1320	1340	1370	1390	1420	1440	1460
	4,73	890	1020	1140	1290	1370	1380	1400	1420	1430
	6,31	830	910	1070	1160	1170	1180	1180	1190	1200
	7,89	630	700	940	1090	1100	1110	1120	1140	1140
	11,84	630	640	840	970	1080	1100	1110	1100	1110
	15,78	650	710	900	940	990	1000	1020	1030	1430
	19,73	590	720	880	900	990	1000	1020	1030	1030

Tabel 5
Perhitungan resistivitas sampel mengandung glaukonit (ρ dalam ohm.m)

	Sw	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20
Kandungan Glaukonit (%)	0,00	10,87	19,79	25,74	27,69	28,61	29,54	30,36	30,77	31,18
	1,58	8,82	9,44	14,77	18,97	19,38	19,08	19,18	19,18	19,28
	3,16	9,74	12,72	13,54	13,74	14,05	14,26	14,56	14,77	14,97
	4,73	9,13	10,46	11,69	13,23	14,05	14,15	14,36	14,56	14,67
	6,31	8,51	9,33	10,97	11,90	12,00	12,10	12,10	12,20	12,31
	7,89	6,46	7,18	9,64	11,18	11,28	11,38	11,49	11,69	11,69
	11,84	6,46	6,56	8,61	9,95	11,08	11,28	11,38	11,28	11,38
	15,78	6,67	7,28	9,23	9,64	10,15	10,26	10,46	10,56	14,67
	19,73	6,05	7,38	9,02	9,23	10,15	10,26	10,46	10,56	10,56

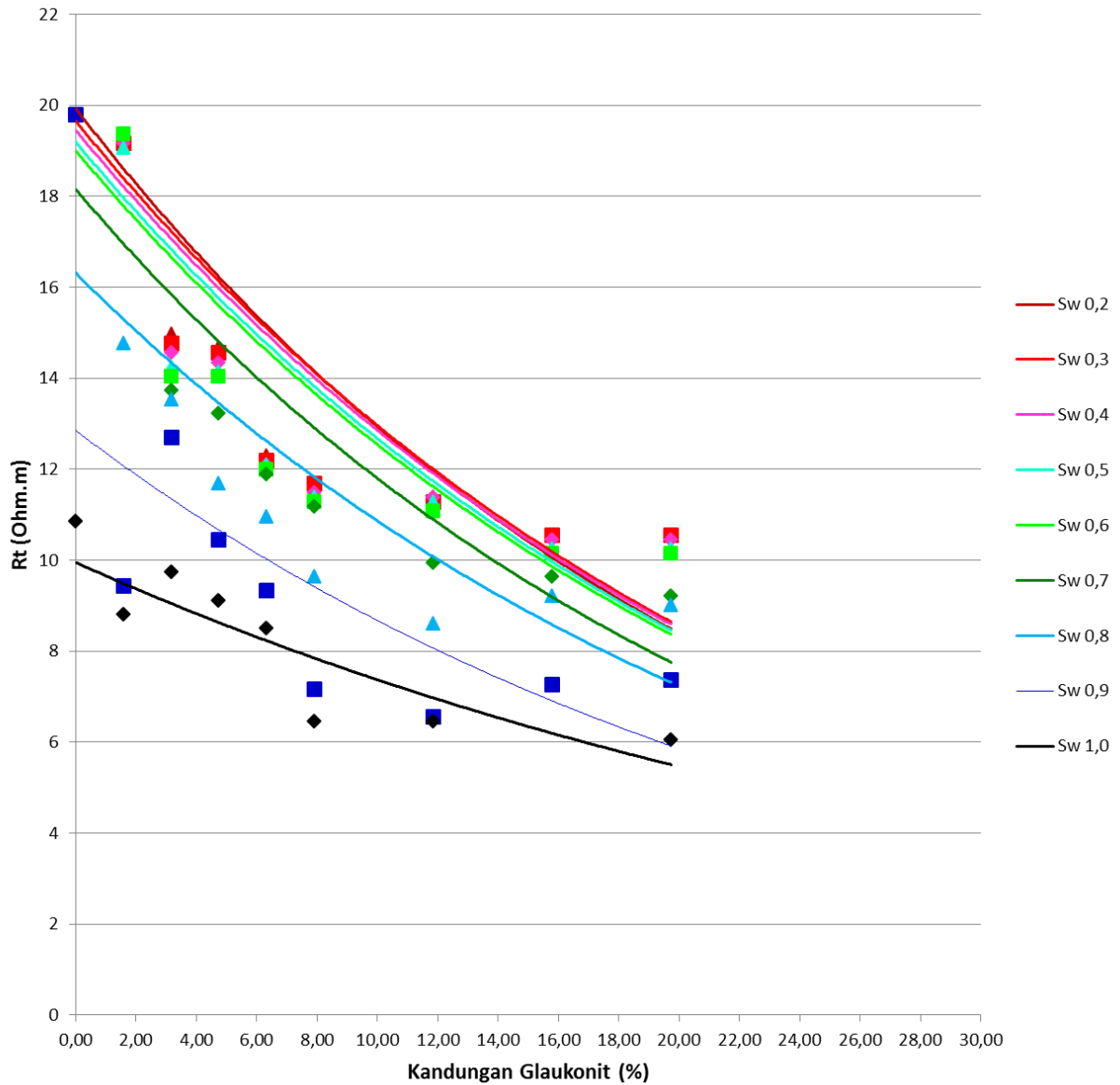
Tabel 6
Persamaan garis untuk tiap Sw pada sampel dengan glaukonit

Sw	Pola Penurunan Rt	Nilai Regresi
Sw 0,2	$y = 19,93e^{-0,043x}$	$R^2 = 0,59$
Sw 0,3	$y = 19,66e^{-0,042x}$	$R^2 = 0,65$
Sw 0,4	$y = 19,45e^{-0,041x}$	$R^2 = 0,65$
Sw 0,5	$y = 19,20e^{-0,041x}$	$R^2 = 0,65$
Sw 0,6	$y = 19,00e^{-0,042x}$	$R^2 = 0,65$
Sw 0,7	$y = 18,16e^{-0,043x}$	$R^2 = 0,66$
Sw 0,8	$y = 16,32e^{-0,041x}$	$R^2 = 0,61$
Sw 0,9	$y = 12,85e^{-0,039x}$	$R^2 = 0,56$
Sw 1,0	$y = 9,95e^{-0,03x}$	$R^2 = 0,77$

Tabel 7
Nilai Rt hasil ekstrapolasi sampel mengandung glaukonit tiap kenaikan 2%

	Sw	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20
Kandungan Glaukonit (%)	0,00	9,95	12,85	16,32	18,16	19,00	19,20	19,45	19,66	19,93
	2,00	9,37	11,89	15,04	16,66	17,47	17,69	17,92	18,08	18,29
	4,00	8,82	10,99	13,85	15,29	16,06	16,30	16,51	16,62	16,78
	6,00	8,31	10,17	12,76	14,03	14,77	15,01	15,21	15,28	15,40
	8,00	7,83	9,41	11,76	12,87	13,58	13,83	14,01	14,05	14,13
	10,00	7,37	8,70	10,83	11,81	12,48	12,74	12,91	12,92	12,96
	12,00	6,94	8,05	9,98	10,84	11,48	11,74	11,89	11,88	11,90
	14,00	6,54	7,44	9,19	9,95	10,55	10,81	10,96	10,92	10,92
	16,00	6,16	6,88	8,47	9,13	9,70	9,96	10,09	10,04	10,02
	18,00	5,80	6,37	7,80	8,37	8,92	9,18	9,30	9,23	9,19
	20,00	5,46	5,89	7,19	7,68	8,20	8,46	8,57	8,49	8,43
	22,00	5,14	5,45	6,62	7,05	7,54	7,79	7,89	7,80	7,74
	24,00	4,84	5,04	6,10	6,47	6,93	7,18	7,27	7,17	7,10
	26,00	4,56	4,66	5,62	5,94	6,38	6,61	6,70	6,60	6,52
	28,00	4,30	4,31	5,18	5,45	5,86	6,09	6,17	6,07	5,98
	30,00	4,05	3,99	4,77	5,00	5,39	5,61	5,69	5,58	5,49

Profil Perubahan Nilai Resistivitas Reservoir Pada Batu Pasir Karena Pengaruh Mineral Glaukonit
(Sarju Winardi dkk.)



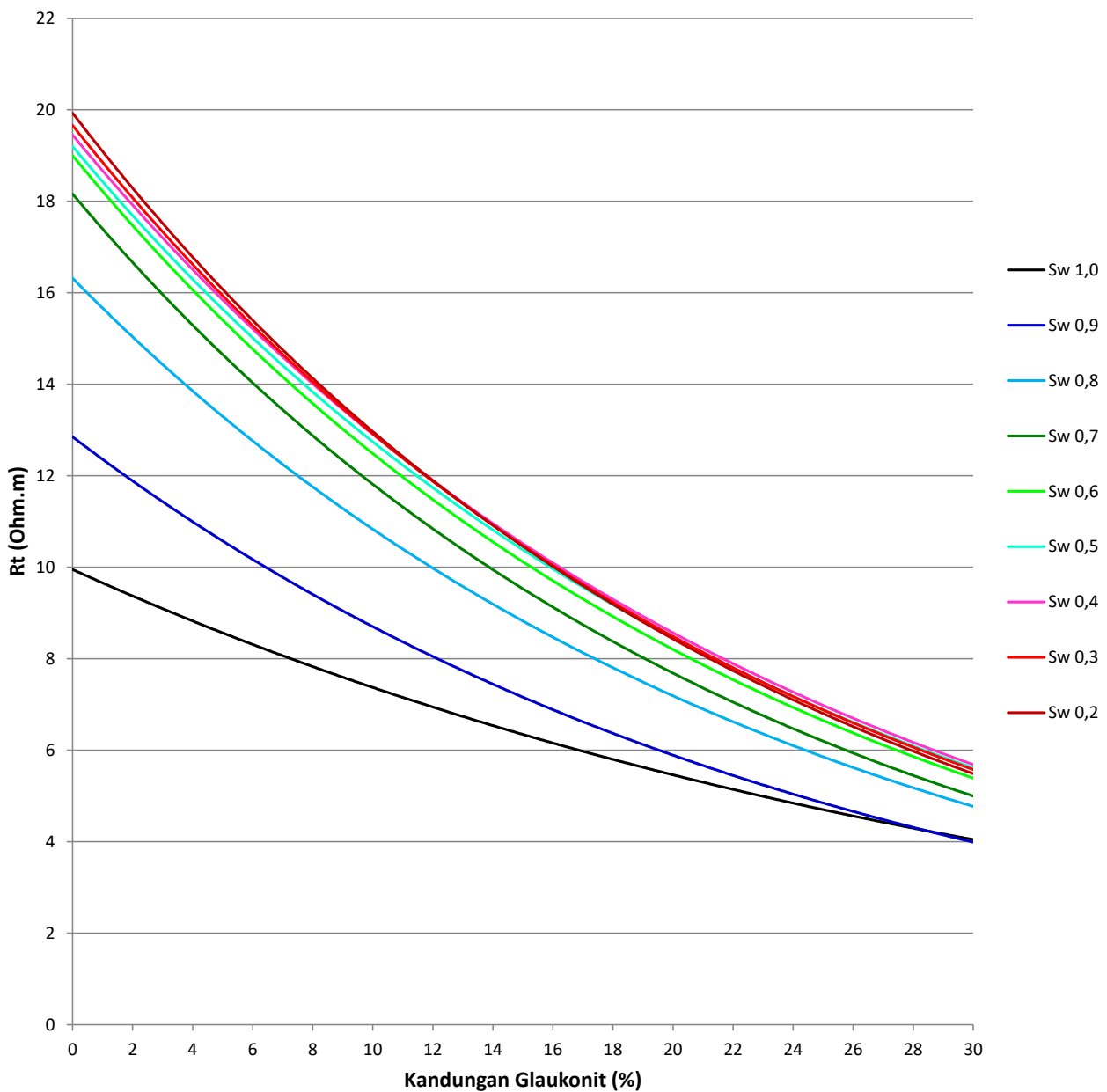
Gambar 9
Data pengukuran Rt serta pola hubungannya dengan volume glaukonit dan Sw.

Tabel 8
Prosentase penurunan Rt karena pengaruh glaukonit

Sw	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
4,00	0,11	0,14	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15
6,00	0,16	0,21	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22
8,00	0,21	0,27	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,29
10,00	0,26	0,32	0,34	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34
12,00	0,30	0,37	0,39	0,40	0,40	0,39	0,39	0,40
14,00	0,34	0,42	0,44	0,45	0,44	0,44	0,44	0,44
16,00	0,38	0,46	0,48	0,50	0,49	0,48	0,48	0,49
18,00	0,42	0,50	0,52	0,54	0,53	0,52	0,52	0,53
20,00	0,45	0,54	0,56	0,58	0,57	0,56	0,56	0,57
22,00	0,48	0,58	0,59	0,61	0,60	0,59	0,59	0,60
24,00	0,51	0,61	0,63	0,64	0,64	0,63	0,63	0,64
26,00	0,54	0,64	0,66	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66
28,00	0,57	0,66	0,68	0,70	0,69	0,68	0,68	0,69
30,00	0,59	0,69	0,71	0,72	0,72	0,71	0,71	0,72

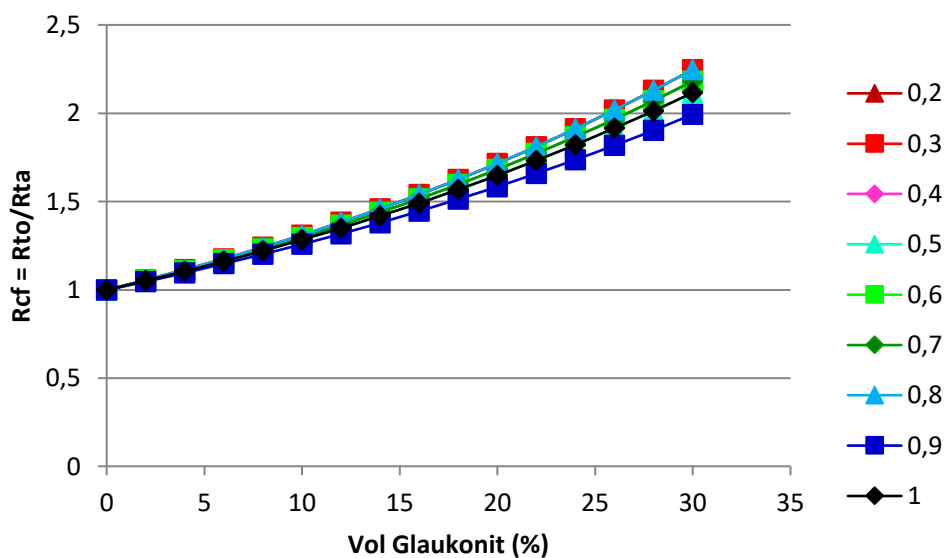
Tabel 9
Resistivity correction factor untuk sampel mengandung glaukonit

SW	PERSAMAAN	Nilai Ref pada setiap kandungan glaukonit (%)															
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0,2	$y = 19,93e^{-0,043x}$	1,00	1,09	1,19	1,29	1,41	1,54	1,68	1,83	1,99	2,17	2,36	2,58	2,81	3,06	3,33	3,63
0,3	$y = 19,66e^{-0,042x}$	1,00	1,09	1,18	1,29	1,40	1,52	1,66	1,80	1,96	2,13	2,32	2,52	2,74	2,98	3,24	3,53
0,4	$y = 19,45e^{-0,041x}$	1,00	1,09	1,18	1,28	1,39	1,51	1,64	1,78	1,93	2,09	2,27	2,46	2,68	2,90	3,15	3,42
0,5	$y = 19,20e^{-0,041x}$	1,00	1,09	1,18	1,28	1,39	1,51	1,64	1,78	1,93	2,09	2,27	2,46	2,68	2,90	3,15	3,42
0,6	$y = 19,00e^{-0,042x}$	1,00	1,09	1,18	1,29	1,40	1,52	1,66	1,80	1,96	2,13	2,32	2,52	2,74	2,98	3,24	3,53
0,7	$y = 18,16e^{-0,043x}$	1,00	1,09	1,19	1,29	1,41	1,54	1,68	1,83	1,99	2,17	2,36	2,58	2,81	3,06	3,33	3,63
0,8	$y = 16,32e^{-0,041x}$	1,00	1,09	1,18	1,28	1,39	1,51	1,64	1,78	1,93	2,09	2,27	2,46	2,68	2,90	3,15	3,42
0,9	$y = 12,85e^{-0,039x}$	1,00	1,08	1,17	1,26	1,37	1,48	1,60	1,73	1,87	2,02	2,18	2,36	2,55	2,76	2,98	3,22
1,0	$y = 9,95e^{-0,03x}$	1,00	1,06	1,13	1,20	1,27	1,35	1,43	1,52	1,62	1,72	1,82	1,93	2,05	2,18	2,32	2,46



Gambar 10
Grafik hasil ekstrapolasi hubungan antara volume kandungan glaukonit dengan Rt, untuk setiap kenaikan glaukonit sebanyak 2%

Profil Perubahan Nilai Resistivitas Reservoir Pada Batu Pasir Karena Pengaruh Mineral Glaukonit (Sarju Winardi dkk.)



Gambar 11

Grafik faktor koreksi resistivitas untuk mineral glaukonit, pada kondisi reservoir dengan salinitas 20.000 ppm, phi 40% dan suhu 25oC.

Glaukonit mempunyai kandungan Fe dalam jumlah yang bervariasi. Jumlah ion Fe berkorelasi terhadap besarnya penurunan nilai R_t , semakin banyak mengandung Fe, akan mempunyai nilai R_t semakin kecil. Hal ini mungkin menjadi penyebab kenapa glaukonit menurunkan R_t tidak signifikan mineral lain seperti pirit, hematit ataupun magnetit, yaitu karena glaukonit hanya mempunyai Fe yang kurang dari 20%. Konduktivitas yang bekerja pada sampel batupasir dengan kandungan mineral konduktif dan dijenuhi dengan air formasi yang *saline* adalah konduktivitas gabungan. Besarnya konduktivitas merupakan gabungan antara mineral konduktif yang bersifat elektronik dan konduktivitas air formasi yang bersifat elektrolitik. Konduktivitas gabungan inilah yang membuat resistivitas reservoir batupasir dengan kandungan mineral konduktif menjadi turun.

(Clavier, Heim & Scala 1976) memodelkan konduktivitas gabungan dalam bentuk resistivitas yang secara proporsional berbanding terbalik dengan konduktivitasnya. Hasil plotting R_t vs mineral glaukonit menunjukkan bahwa nilai R_t terkecil dari pengukuran mencapai 6,05 ohm.m. Hal ini belum merepresentasikan kasus *low resistivity low contrast* (LRLC) yang biasanya nilai $R_t < 5$ ohm.m. Perlu dilakukan penelitian lain dengan menggunakan mineral glaukonit yang berasal dari tempat berbeda untuk memberikan gambaran variasi hasil pengukuran R_t -nya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil perhitungan nilai resistivitas pada sampel yang mengandung glaukonit 2-30% bervariasi antara 6,05 ohm.m sampai dengan 19,28 ohm.m. Secara umum kehadiran mineral glaukonit pada sampel batupasir terbukti menurunkan nilai resistivitas batuan (R_t) dalam bentuk persamaan garis eksponensial. Faktor koreksi resistivitas sebesar 1,5 kali dijumpai ketika volume glaukonit mencapai 10%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Laboratorium Sedimentology Teknik Geologi FT UGM dan Prodi Geofisika MIPA UGM atas dukungan peralatan dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR ISTILAH / SINGKATAN

Simbol	Definisi	Unit
R_t	Resistivitas reservoir	
S_w	Resistivitas air	
LRLC	Resistivitas rendah kontras rendah	
K	Kalium	

Simbol	Definisi	Unit
Mg	Magnesium	
O ₂	Oksigen	
Al	Alumunium	
Fe	Besi	
Si	Silikon	
H	Hidrogen	

DAFTAR PUSTAKA

- Archie, G.E., 1950, *Introduction to Petrophysics of Reservoir Rocks*, *The AAPG Bulletin*, Vol 34, No. 5, p. 943-961. <https://doi.org/10.1306/3D933F62>.
- Arediningsih, Y., 2000, *Low resistivity low contrast Pay Of Clastic Reservoirs With A Study Case Of Tertiary Basins In Malaysia*, tesis master pada Universiti Teknologi Petronas, tidak dipublikasikan.
- Asquith, G.B., 1985, *Handbook of Log Evaluation Techniques for Carbonate Reservoirs*, *Methods in Exploration Serien No#5*, AAPG, Oklahoma, 47 p. doi:10.1306/MTH5446
- Atkinson, C.D., Scott, J. & Young, R., 1993, *Clastic Rocks and Reservoirs of Indonesia – A Core Workshop*, *Indonesian Petroleum Association*, Jakarta, 229 p.
- Bishop, A.C., Wooley, A.R. & Hamilton, W.R., 2005, *Philip's Guide To Minerals Rocks and Fossils*, *Philip's*, London, 336 p.
- Boggs, S.Jr., 1992, *Petrology of Sedimentary Rocks*, *Macmillan Publishing Company*, New York, 707 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626487>
- Boyd, A., Darling, H., Tobano, J., Davis, B., Lyon, B., Flaum, C., Klein, J., Sneider, R.J., Sibbit, A. & Singer, J., 1995, *The Lowdown on Low Resistivity Pay*, *Oilfield Review*, Autumn edition, Schlumberger, p. 4-18.
- Claverie, M., Allen, D.F., Heaton, N. & Bordakov, G., 2010, *A New Look at Low-Resistivity and Low-Contrast (LRLC) Pay in Clastic Reservoirs*, *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Florence*, Ip. <https://doi.org/10.2118/134402-MS>
- Clavier, C., Heim, A. & Scala, C., 1976, *Effect of Pyrite on Resistivity and Other Logging Measurements*, *SPWLA Seventeenth Annual Logging Symposium, SPE*, 34 p.
- Dewan, J.T., 1983, *Essentials of Modern Open Hole Log Interpretation*, *Penwell Publishing Co.*, Oklahoma, 361 p.
- Pratami, D.A., Winardi, S., Surjono, S.S. & Atmoko, W., 2023, *The Comparison of Water Saturation Approaches to Reveal a Low Resistivity Reservoir Potential Case in Gumai Formation, South Sumatra Basin*, *Scientific Contributions Oil & Gas (SCOG)*, Vol. 46. No. 2, August: 53 – 63. <https://doi.org/10.29017/SCOG.46.2.1563>
- Gandhi, A., Kubik, P., Termina, J.J., Rocque, T. & Volkmar, M., 2011, *Petrophysics Identifies Low Resistivity Reservoirs*, *September 2011 Editor's Choice-Magazine*, available at <http://www.aogr.com/magazine/editorschoice>, 12 Nov 2015, 12 p.
- Gumilar, B., Adriansyah, R., Thomas, A.R. & Darmawan, B., *An Analysis Of Low-Contrast Pay In Tella Sands Packagesin Central Sumatra*, *Proceeding of 25th Annual Convention and Exhibition of IPA, Indonesian Petroleum Association*, Jakarta, p. 175-187.
- Hamada, G.M. & Al-Awad, M.N., 2002, *Evaluation of Low Resistivity Beds Using Nuclear Magnetic Resonance Log*, *Engineering Science*, vol. 14, no. 1, p. 47-61.
- Nybakk, E. & Fabricius, I.L., 2001, *Excess Conductivity of Glauconite*, *6th Nordic Symposium on Petrophysics, Norway*, 1 p.
- Parasnis, D.S., 1986., *Principles of Applied Geophysics*, *Chapman and Hall*, New York, 402 p.
- Partono, Y.J., 1992, *Low Resistivity Sandstone Reservoirs in the Attaka Field*, *Proceeding of 21st Annual Convention and Exhibition of IPA, Indonesian Petroleum Association*, Jakarta, p. 20-34.
- Patnode, H.W. & Wyllie, M.R.J., 1950, *The Presence of Conductive Solids in Reservoir Rocks As A*

- Factor in Electric Log Interpretation, Petroleum Transactions, AIME, Vol 189, p. 47-52. <https://doi.org/10.2118/950047-G>*
- Scholle, P.A., 1979, *A Color Illustrated Guide To Constituents, Textures, Cements, And Porosities Of Sandstone And Associated Rocks, AAPG, Tulsa, 201 p. <https://doi.org/10.1306/M28402>*
- Selley, R.C., 1988, *Applied Sedimentology, Academic Press Limited, London, 446 p.*
- Suwardji, Buhari, A., Kukuh, K. & Prayitno, R., 1994. *Low Resistivity Reservoir Study: Sangatta Field Kalimantan, Proceeding of 23rd Annual Convention and Exhibition of IPA, Indonesian Petroleum Association, Jakarta, p. 119-130.*
- Telford, W.M., Geldart, L.P. & Sheriff, R.E., 1990, 2nd ed, *Applied Geophysics, Cambridge University Press, Cambridge, 744 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139167932>.*
- Waxman, M. H. & Smits, L. J. M., 1968, *Electrical Conductivities in Oil-bearing Shaly-sands, SPE Journal, Vol. 8, p. 107-122. <https://doi.org/10.2118/1863-A>*
- Winardi, S., Surjono, S.S., Amijaya, D.H. & Suryanto, W., 2018, *The Influence of Hematite in Sandstone Reservoir; Proceeding of 12nd Seatuc, Yogyakarta, Indonesia.*
- Winardi, S., Suryono S.S., Amijaya, D.H. & Suryanto, W., 2019. *Reservoir Resistivity Measurement of Pseudo Core Sample at Laboratory Scale Based on Ohm's Law and Wenner Method. Proceeding of HAGI-IAGI-IAFMI-IATMI Joint Convention, Yogyakarta. 1-8.*
- Winardi, S., 2019, *Pengaruh Mineral Konduktif Pada Reservoir Batupasir Terhadap Nilai Resistivitas dan Saturasi Air, Disertasi, Teknik Geologi UGM, Yogyakarta.*
- Winardi, S., Surjono, S.S., Amijaya, D.H. & Suryanto, W., 2021, *Reservoir Resistivity Correction Factor in Low Resistivity Pyritic Sandstone Reservoir; IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 851, International Conference on Geological Engineering and Geosciences 16-18 March 2021, Yogyakarta, Indonesia. (<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/851/1/012050>)*
- doi10.1088/1755-1315/851/1/012050*
- Yanto, E. & Winardi, S., 2015, *Analysis of Magnetite Mineral Influence on Clean Sandstone Reservoir Resistivity through Correction Methods in Low Resistivity Pay Zone, Proceeding of 39th IPA Convention & Exhibition, Jakarta.*
- Zaemi, F.F., Rohmana, C.R. & Atmoko, W. (2022) *Uncovering The Potential of Low Resistivity Reservoirs Through Integrated Analysis : A Case Study from The Talang Akar Formation in The South Sumatra Basin, in Scientific Contributions Oil and Gas (SCOG) Vol.45, p. 169-181. <https://doi.org/10.29017/SCOG.45.3.1258>.*