

PERSEBARAN BATUAN RESERVOAR DANGKAL MENGGUNAKAN DATA LOG RESISTIVITAS DAN GEOLISTRIK *SOUNDING* DENGAN KONSEP ANISOTROPI PADA FORMASI LEDOK, LAPANGAN “PNJ”, ZONA REMBANG, CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA

Abdullah Panji Prasetyo

Program Studi Magister Teknik Geologi, Departemen Teknik Geologi,

Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Email : abdullah.panji.p@mail.ugm.ac.id

Sari – Cekungan Jawa Timur Utara merupakan cekungan yang terbukti menghasilkan hidrokarbon. Metode geolistrik *sounding* dilakukan pada lapangan “PNJ” Dandangilo, Formasi Ledok, Cekungan Jawa Timur Utara untuk mengetahui kondisi bawah permukaan berdasarkan sifat kelistrikan batuan. Data *resistivity logging* digunakan untuk mengetahui jenis fluida pada reservoir dan data *lithology cutting* digunakan untuk memverifikasi hasil dari pengolahan data geolistrik *sounding* dengan cara kalibrasi. Sedangkan konsep anisotropi digunakan untuk mengetahui kisaran nilai resistivitas dan persebaran reservoir serta rekomendasi lokasi titik bor.

Pengukuran geolistrik *sounding* menggunakan konfigurasi *Schlumberger* dengan sepuluh titik ukur *sounding*, satu sumur referensi (*well logging*), dan 1 sumur produksi. Panjang dari AB/2 adalah 690 meter dan penetrasi kedalaman maksimum (*Za*) adalah 453,33 meter. Pemodelan stratigrafi dan pemodelan litologi dibuat berdasarkan nilai resistivitas medium yang terkalibrasi dengan data *lithology cutting* dan Log Resistivitas (Log *ILD/Induction Log Deep*). Berdasarkan pemodelan stratigrafi dapat ditentukan stratigrafi daerah penelitian berupa stratigrafi Formasi Selorejo, stratigrafi Formasi Mundu dan stratigrafi target yaitu Formasi Ledok. Pada penampang model litologi dapat diketahui bahwa litologi bawah permukaan terbagi menjadi tujuh macam litologi yaitu soil, Batugamping Pasiran, Batupasir Napalan, Batugamping Napalan, Batupasir Gampingan, Batulempung dan Batugamping. Berdasarkan nilai tahanan jenis medium terkalibrasi, batuan reservoir tersusun oleh litologi batupasir gampingan Formasi Ledok. Kisaran nilai tahanan jenis reservoir dangkal berdasarkan nilai medium terkalibrasi adalah 45 – 70 ohm.m berada pada kedalaman 245 - 275 meter dengan arah orientasi penyebaran Barat – Timur dan Barat – Timur Laut. Peta *iso-resistivity* dibuat berdasarkan korelasi nilai resistivitas pada kedalaman tertentu untuk mengetahui dimana titik untuk penentuan rekomendasi titik bor. Berdasarkan peta *depth slicing iso-resistivity* pada kedalaman 245, 250 dan 255 meter menunjukkan bahwa sumur L01, L02 dan L03 memiliki nilai resistivitas yang konsisten yaitu berkisar antara 55 – 70 ohm.m. Berdasarkan hal tersebut diinterpretasikan bahwa rekomendasi titik pengeboran adalah pada sumur L01, L02 dan L03.

Kata kunci : *geolistrik sounding, resistivity logging, inductionlog deep (ILD), lithology cutting, schlumberger, iso-resistivity, depth slicing iso-resistivity.*

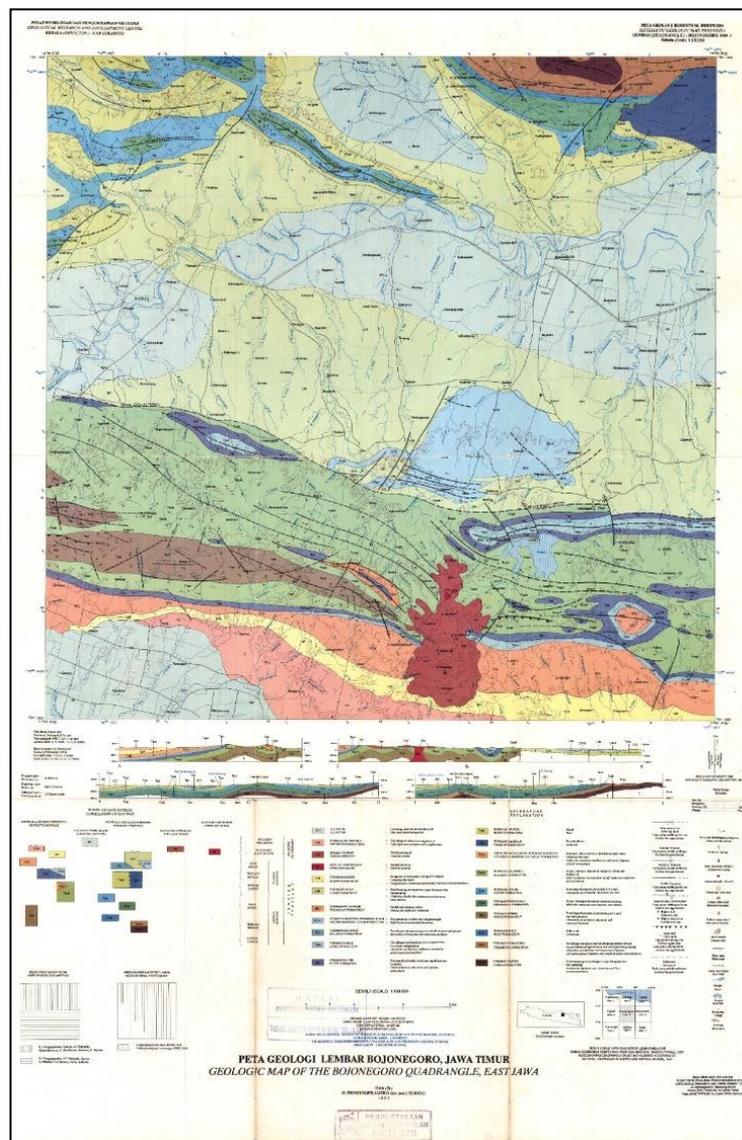
Pendahuluan

Cekungan Jawa Timur Utara termasuk dalam cekungan dewasa yang berpotensi menghasilkan hidrokarbon dalam jumlah yang ekonomis. Cekungan ini telah dieksplorasi dan dikembangkan sejak tahun 1887, tetapi saat ini terdapat beberapa sumur tua pengeboran minyak yang ditinggalkan oleh Pertamina karena dianggap tidak lagi ekonomis untuk dimanfaatkan. Salah satu sumur tua yang ditinggalkan oleh Pertamina berada di daerah Cepu, tepatnya di Lapangan Dadangilo yang diizinkan oleh Pertamina untuk dikelola oleh masyarakat melalui KUD Migas Cepu. Pemanfaatan dan pengembangan sumur tua ini pada awalnya hanya berdasarkan peta struktur peninggalan pemerintahan Belanda, sehingga hasil dari pemanfaatan sumur-sumur tua ini tidak telalu maksimal. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah metodologi yang tepat untuk mengetahui dan mengkarakterisasi sumur-sumur tua yang dianggap masih potensial dan dapat dimanfaatkan.

Metode Geolistrik *Schlumberger (sounding)* menggunakan parameter berupa sifat kelistrikan batuan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan, seperti litologi dan kandungan mineral pada batuan reservoir. Data *resistivity logging* digunakan untuk memverifikasi hasil dari pengolahan data geolistrik *sounding* dengan cara kalibrasi. Sedangkan konsep anisotropi digunakan untuk mengetahui batas area yang terpengaruh (*area of influence*) berdasarkan pola persebaran batuan reservoir. Mengetahui batas area yang terpengaruh dan pola persebaran reservoir sangat penting untuk menentukan strategi pengeboran, dengan mengetahui dua hal tersebut dapat ditentukan dengan detail dimana lokasi titik pengeboran. Hal ini dilakukan dalam upaya meminimalisir kesalahan dan risiko pengeboran (*drilling management risk*)

Geologi Regional

Cekungan Jawa Timur Utara sebelah barat dibatasi oleh Busur Karimunjawa dimana memisahkannya dengan Cekungan Jawa Barat Utara, di sebelah selatan dibatasi oleh busur vulkanik, sebelah timur dibatasi oleh Cekungan Lombok dan sebelah utara dibatasi oleh Tinggian *Paternoster*, dimana memisahkannya dengan Selat Makasar. Berdasarkan posisinya, Cekungan Jawa Timur Utara dapat dikelompokkan sebagai cekungan belakang busur dan berada pada batas tenggara dari Lempeng Eurasia (Mudjiono dan Pireno, 2002). Tren struktur dan sejarah pengendapan dari sedimentasi Tersier sebagian besar dikendalikan oleh konfigurasi batuan dasar yang dibentuk oleh peristiwa tektonik pada masa Kapur Akhir sampai dengan Tersier Awal. Fitur utama pada batuan dasar adalah *hinge lines* pada kedua sisi dari cekungan. Bagian tepi cekungan terkesan kasar yang mungkin dihasilkan oleh gaya tensional akibat *wrench fault* dan atau sebagai akibat dari mekanisme patahan jaman Pra-Tersier yang berarah berbeda dari struktur utama yang ada sekarang. Akibatnya, tensional dan *wrench faulting* mengakibatkan terjadinya pembentukan blok *graben* dan *horst* yang mulai membentuk konfigurasi cekungan pada waktu Kapur Akhir dan Tersier Awal. Tektonik pada jaman Kapur Akhir sampai Tersier Awal mengakibatkan adanya kombinasi dari tensional dan *wrench faulting* yang menghasilkan seri fitur *horst* dan *graben* berarah Timur Laut - Barat Daya yang mengontrol konfigurasi awal pembentukan cekungan. Patahan-patahan awal yang kemudian teraktifkan kembali beberapa kali selama masa Tersier dan sesar normal yang tumbuh, yang merupakan fitur yang menonjol pada bagian Utara blok, juga berpengaruh kuat terhadap pola sedimentasi (Mudjiono dan Pireno, 2002).



Gambar 1. Peta geologi lembar Kabupaten Bojonegoro, Propinsi Jawa Timur skala 1;100.000 (Pringgoprawiro dan Sukido, 1992).

Stratigrafi Regional

Stratigrafi zona Rembang berdasarkan skema yang disusun oleh Pringgoprawiro (1983) (Gambar 2). Berdasarkan data bawah permukaan dari eksplorasi hidrokarbon di kawasan ini, satuan stratigrafi dari tua ke muda adalah sebagai berikut:

1. Formasi Kujung

Formasi Kujung merupakan satuan stratigrafi tertua yang tersingkap, terutama tersusun oleh batulempung dengan sisipan batugamping dan batupasir, terutama di bagian bawah.

2. Formasi Prupuh

Litologi penyusun Formasi Prupuh berupa batugamping bioklastik berlapis tebal, keras, kaya akan fosil Orbitoid, yang berlapis dengan batugamping kapuran berwarna putih kotor. Umur Formasi Prupuh adalah N3 – N4 (Oligosen Atas hingga Miosen Bawah). Lingkungan sedimentasinya adalah neritik luar pada laut terbuka.

3. Formasi Tuban

Formasi Tuban terdiri atas perlapisan batulempung yang bersifat monoton dengan beberapa sisipan batugamping. Umur formasi ini adalah Miosen Awal dan diendapkan pada lingkungan laut dalam.

4. Formasi Tawun

Formasi ini tersusun oleh perselingan antara batulempung pasiran dengan batupasir dan batugamping yang kaya akan foraminifera golongan orbitoid. Formasi Tawun diendapkan pada Awal hingga Miosen Tengah, pada lingkungan paparan yang agak dalam (*outer shelf*) dari suatu laut terbuka.

5. Formasi Ngrayong

Pada bagian bawah formasi ini tersusun oleh batugamping Orbitoid (*Cycloclypeus*) dan batulempung, sedangkan bagian atas tersusun oleh batupasir dengan sisipan batugamping orbitoid.

6. Formasi Bulu

Formasi ini tersusun oleh kalkarenit berlempeng (*platy sandstones*) dengan sisipan napal pasiran. Formasi ini diendapkan pada kala Miosen Tengah pada lingkungan laut dangkal yang berhubungan dengan laut terbuka.

7. Formasi Wonocolo

Formasi Wonocolo tersusun oleh napal dan batulempung tidak berlapis. Bagian bawahnya tersusun oleh batugamping pasiran dan batupasir gampingan, yang secara umum menunjukkan gejala pengendapan transgresif. Pengendapannya terjadi pada Miosen Tengah – Atas, pada lingkungan paparan luar.

8. Formasi Ledok

Formasi Ledok merupakan formasi target dari penelitian ini, penyusun utamanya terdiri atas perselang-selingan antara batupasir glaukonitik dengan kalkarenit yang berlempeng-lempeng, dengan beberapa sisipan napal.

9. Formasi Mundu

Formasi Mundu memiliki ciri litologi yang khas, tersusun oleh napal masif berwarna abu-abu muda hingga putih kekuning-kuningan, dengan kandungan foraminifera planktonik yang sangat melimpah. Formasi Mundu terbentuk sebagai hasil pengendapan laut dalam yang terjadi pada zona N17 – N20 (Miosen Akhir – Pliosen).

10. Formasi Selorejo

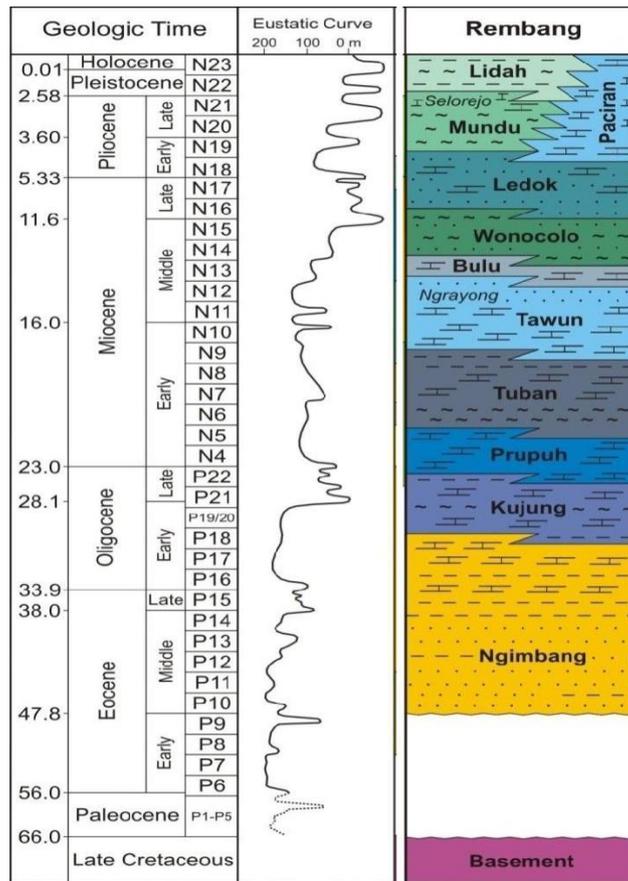
Satuan ini tersusun oleh perselang-selingan antara *foraminiferal grainstone/packstone* yang sebagian bersifat glaukonitan dengan batugamping napalan hingga batugamping pasiran. Lingkungan sedimentasi diduga terjadi di laut dalam.

11. Formasi Lidah

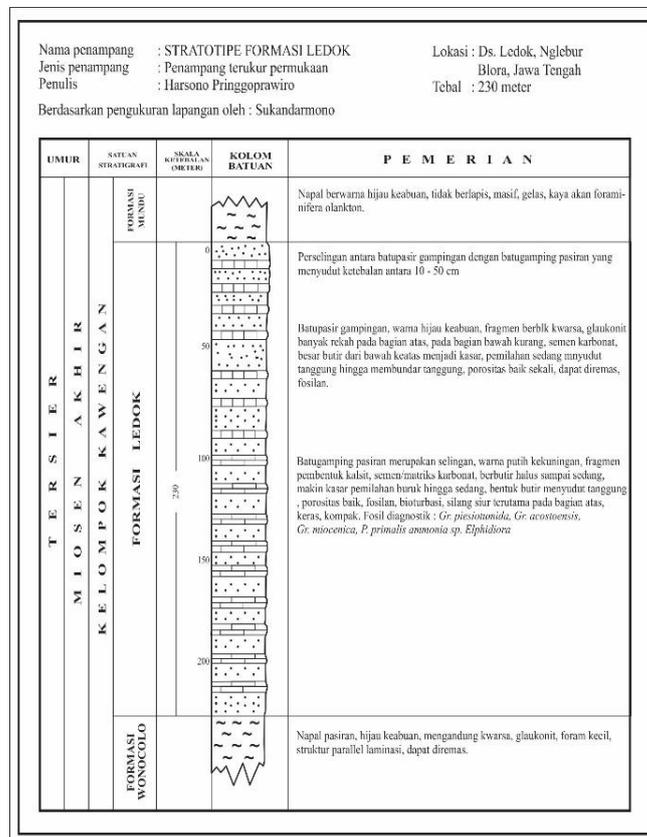
Formasi ini tersusun oleh batulempung yang berwarna kebiruan dan napal berlapis yang diselingi oleh batupasir dan lensa-lensa *fossiliferous grainstone/rudstone (coquina)*. Formasi ini merupakan produk pengendapan dari lingkungan yang semakin mendangkal, hal ini ditandai dengan bagian teratas berupa lempung merupakan hasil pengendapan air tawar.

12. Formasi Paciran

Formasi Paciran tersusun oleh batugamping masif, umumnya merupakan batugamping terumbu yang lapuk dan membentuk permukaan yang khas akibat pelarutan (*karren surface*). Formasi ini berumur dari Pliosen hingga Awal Pleistosen.



Gambar 2. Kolom Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara (Pringgoprawiro, 1983)



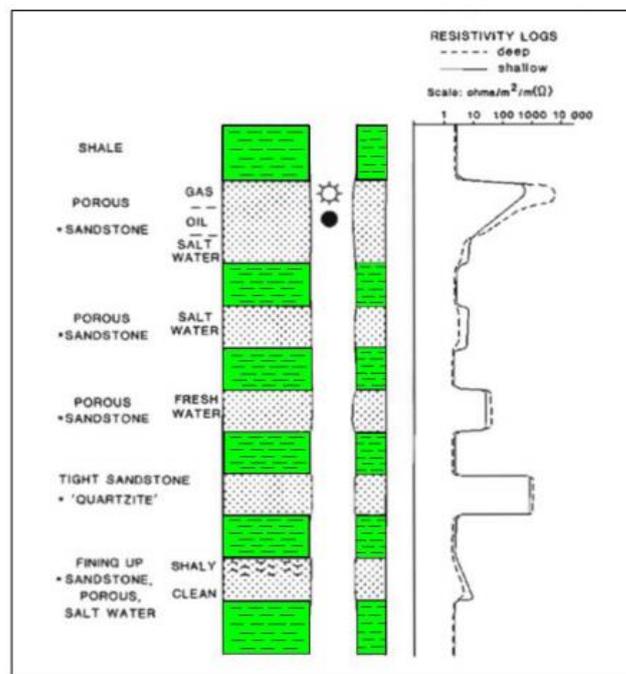
Gambar 3. Kolom Stratotipe Formasi Ledok (Pringgoprawiro, 1983)

Log Tahanan Jenis (*Resistivity Log*)

Resistivity log merupakan hasil dari pengukuran nilai resistivitas batuan formasi beserta isinya yang diukur dengan menggunakan *resistivitymeter*, dengan keterangan nilai resistivitas ini bergantung kepada porositas, salinitas air formasi, dan banyaknya hidrokarbon dalam pori-pori batuan. Resistivitas formasi adalah salah satu parameter utama yang diperlukan untuk menentukan saturasi hidrokarbon pada suatu formasi (Harsono, 1997).

Pada (Gambar 1.4) memperlihatkan beberapa respon log resistivitas pada beberapa kondisi. Log resistivitas menunjukkan efek formasi batuan dengan kandungan fluida didalamnya. Resistivitas dari formasi tergantung kepada tiga hal, yaitu resistivitas air formasi, jumlah air formasi yang ada, dan struktur geometri pori-pori. Makin besar harga resistivitas formasi, makin besar kemungkinan formasi tersebut mengandung hidrokarbon karena sifat hidrokarbon yang lebih resistif daripada air formasi.

Menurut Harsono (1997), *log resistivity* merupakan *log* elektrik yang digunakan untuk mengetahui indikasi adanya zona yang mengandung air ataupun hidrokarbon, zona *permeable* dan zona berpori. Standar *log resistivity* seperti *deep lateral log* dan *induction log* menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi sekitar 35 sampai 20000 Hz. Pada reservoir, nilai konduktifitas dipengaruhi oleh salinitas dan distribusi dari air formasi yang dikontrol oleh tipe porositas dan *wettability* dari formasi. Dalam dunia industri, *log resistivity* lebih banyak digunakan untuk menentukan indikasi zona yang mengandung air maupun hidrokarbon karena pada dasarnya matriks ataupun butiran bersifat tidak konduktif sehingga kemampuan batuan untuk mengalirkan arus merupakan fungsi keterdapatannya air dalam batuan yang berpori.



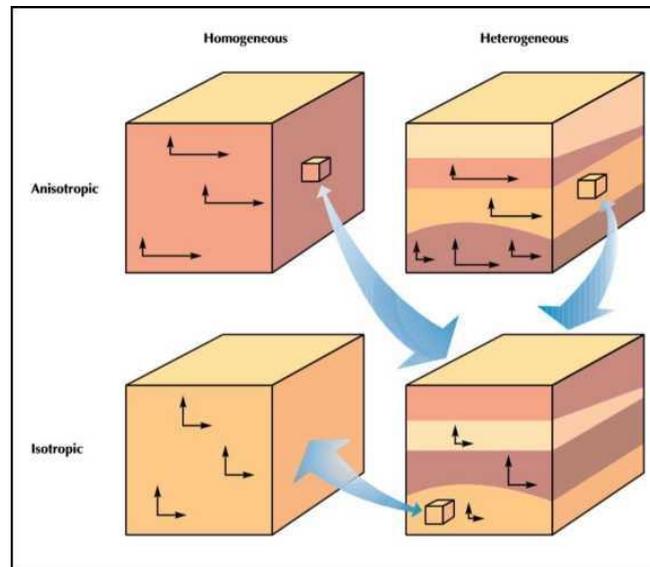
Gambar .4. Tipe respon log resistivitas (Rider, 2002). Gambar 1. 2. Kolom Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara (Pringgoprawiro, 1983)

Geolistrik Anisotropi

Suatu material dikatakan anisotropi apabila nilai vektor pengukuran dari batuan sangat bervariasi terhadap arah pengukuran (Anderson *et al.*, 1994). Konsep anisotropi digunakan untuk mendeskripsikan sifat fisik batuan, yang dalam ilmu kebumihan (*geoscience*) digunakan sebagai parameter intrinsik dalam tubuh batuan. Gambaran umum mengenai anisotropi bumi, vektor pengukuran mempunyai besaran yang konstan di semua arah horizontal yang berbeda dengan besaran dari vektor di arah vertikal.

Hal ini disebut *transverse isotropy* pada arah vertikal dan pada *logging*, ketika anisotropi diamati dalam sumur vertikal 90° (*transverse*) untuk menyamakan (isotropi) lapisan datar. Contohnya adalah resistivitas, akan menunjukkan nilai yang sama pada semua azimuth *wellbore*, tetapi akan berbeda dengan nilai secara vertikal. Gambaran mengenai kondisi anisotropi atau isotropi ditunjukkan oleh (Gambar 5).

Pada (Gambar 5) dijelaskan mengenai empat kondisi yang memungkinkan untuk kondisi isotropi/anisotropi dan homogen/heterogen. Kondisi heterogen digambarkan sebagai batas lapisan. Mewakili perbedaan dalam komposisi batuan, seperti pasir dan *shale*, atau perbedaan ukuran butir dan kekompakan, contohnya adalah ketika dilihat dengan skala yang besar, sampel terlihat homogen dan isotropi (kiri bawah), sedangkan pada skala yang kecil terlihat homogen dan anisotropi (kanan bawah).



Gambar 5. Kondisi anisotropi/isotropi (Anderson *et al.*, 1994)

Pada metode resistivitas *sounding* dengan konsep anisotropi terdapat dua parameter utama yaitu parameter Tahanan Listrik Transversal (T , *Transverse Unit Resistence*) dan parameter Konduktivitas Longitudinal (S , *Longitudinal Unit Conductance*) (Zohdy, 1974). Apabila suatu batuan terdiri dari lapisan-lapisan dengan tebal 1 meter yang terdiri dari n lapisan maka tahanan listrik transversal untuk satu lapisan adalah :

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Sedangkan untuk tahanan listrik lapisan ke- i :

$$R_i = \rho_i \frac{L}{A}$$

Untuk A dengan luas 1 m dengan $L = h$, maka persamaan menjadi :

$$R_i = \rho_i \cdot h_i$$

Maka total tahanan listrik transversal dari lapisan i sampai lapisan n adalah :

$$T = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot h_i$$

Sehingga diperoleh tahanan jenis transversal dengan persamaan :

$$\rho T = \frac{T}{H} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i h_i}{\sum h_i}$$

Komponen arus listrik yang mengalir sejajar dengan bidang lapisan (horizontal), tahanan jenis pengganti dihitung seperti pada tahanan listrik paralel yang merupakan penjumlahan konduktan (S) atau penjumlahan daya hantar listrik.

Maka diperoleh nilai konduktansi longitudinal tiap lapisan ke- n :

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\rho}$$

Persamaan tahanan jenis longitudinal dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\rho L = \frac{S}{H} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum \frac{h_i}{\rho_i}}$$

Persamaan tahanan jenis pengganti (ρ_m) dan ketebalan penggantinya untuk lapisan dengan jumlah lapisan i dan ketebalan h adalah :

$$\rho m = \sqrt{\rho T \cdot \rho L}$$

$$hm = h_i \cdot \sqrt{\frac{\rho T}{\rho L}}$$

Tahanan jenis sounding dengan harga ρ_m umumnya lebih besar dari ρL tetapi lebih kecil dari ρT dan nilai hm akan lebih besar dari h_i . Ketergantungan harga tahanan jenis terhadap arah arus listrik inilah yang disebut Koefisien Anisotropi (k) yang dinyatakan sebagai perbandingan harga ρT dan :

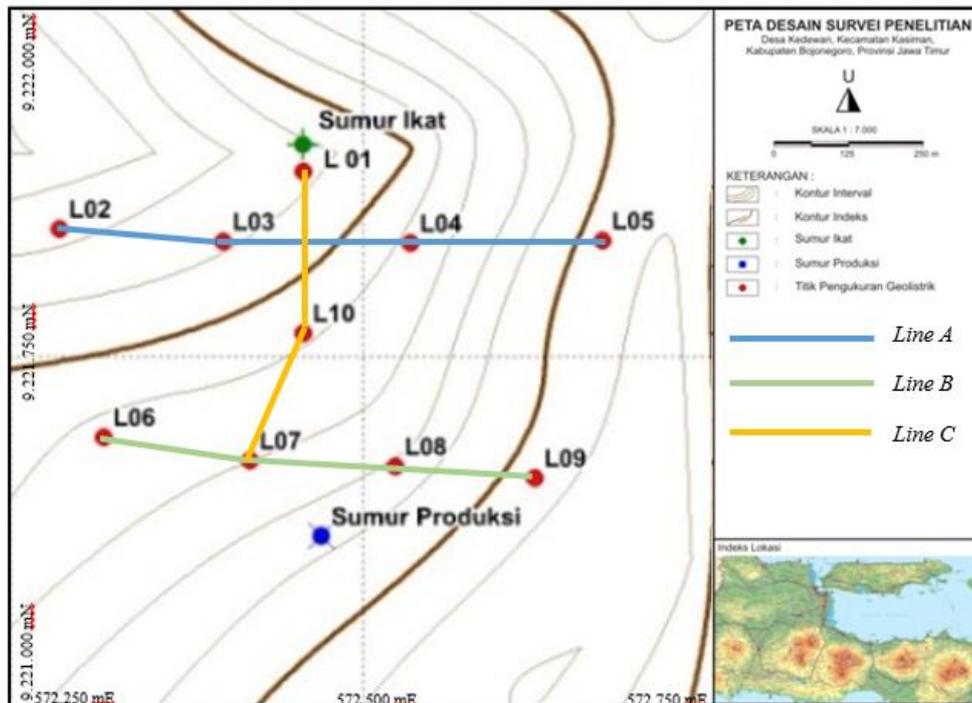
$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho T}{\rho L}} = \sqrt{\frac{ST}{H^2}} = \sqrt{\frac{\sum h_i \rho_i \sum \frac{h_i}{\rho_i}}{(\sum h_i)^2}}$$

PEMBAHASAN

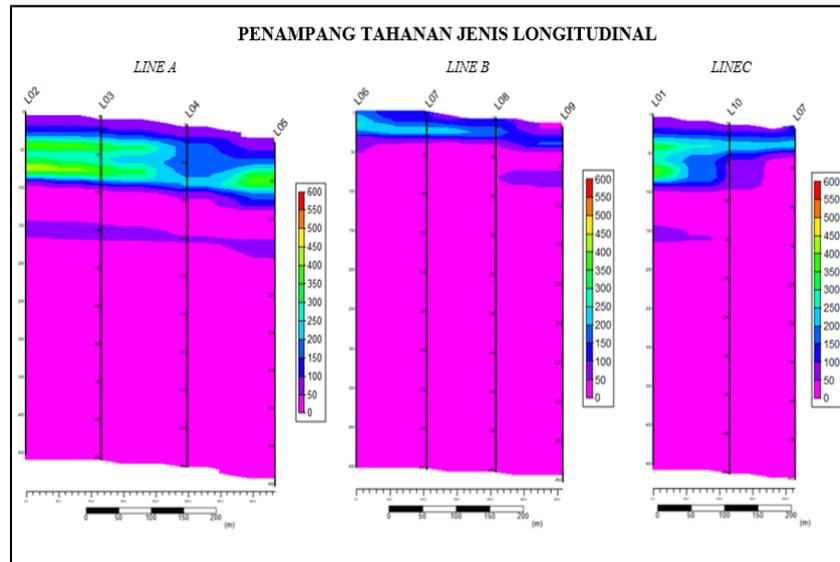
Analisis Anisotropi.

Analisis Resistivitas Transversal dan Resistivitas Longitudinal.

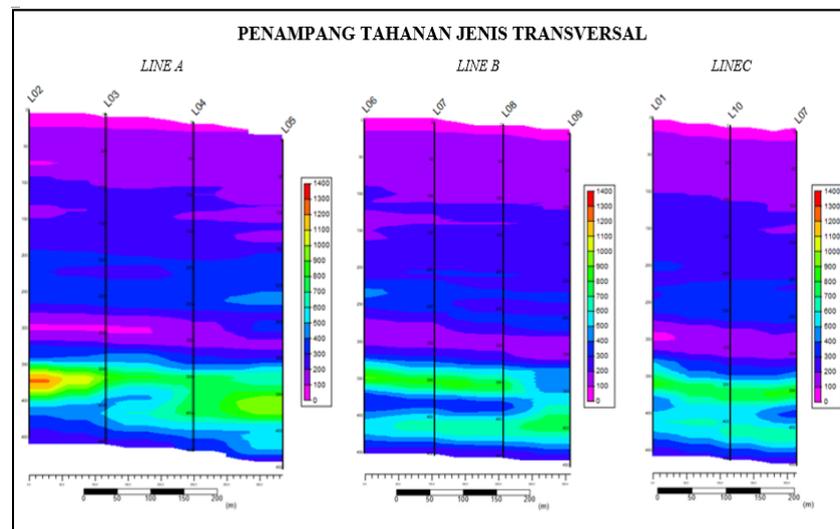
Parameter resistivitas transversal dan resistivitas longitudinal merupakan parameter dasar dalam penentuan nilai resistivitas medium. Mailliet (1947) berhasil memecahkan masalah media anisotropi dengan suatu parameter yang dikenal dengan *Dar-Zarrouk* Parameter atau biasa disebut *Dar – Zarrouk Function*. Inti dari parameter ini adalah pengertian tentang Unit Tahanan Listrik Transversal (ρt) dan Unit Tahanan Listrik Longitudinal (ρl), terutama untuk media homogen anisotropi.



Gambar 6. Desain survey titik pengukuran geolistrik schlumberger.



Gambar 7. Penampang tahanan jenis longitudinal *Line A*, *Line B* dan *Line C*.



Gambar 8. Penampang tahanan jenis transversal *Line A*, *Line B* dan *Line C*.

Penampang tahanan jenis longitudinal dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu resistivitas longitudinal rendah yang diwakili dengan warna biru dengan nilai antara (0 – 250 ohm.m), resistivitas sedang yang diwakili warna kuning dengan nilai antara (250 – 550 ohm.m) dan resistivitas tinggi yang diwakili dengan warna merah dengan nilai antara (550 – 750 ohm.m). Pada *line A* persebaran resistivitas tinggi tersebar pada kedalaman antara (50 – 100 m), resistivitas sedang tersebar pada kedalaman antara (15 – 175 m), dan resistivitas rendah tersebar pada kedalaman antara (175 – 453,33 m). Pada *line B* resistivitas tinggi tersebar pada kedalaman antara (25 – 40 m), resistivitas sedang tersebar pada kedalaman antara (15 – 125 m), dan resistivitas rendah tersebar pada kedalaman antara (100 – 453,33 m). Pada *line C* resistivitas tinggi tersebar pada kedalaman antara (50 – 95 m), resistivitas sedang tersebar pada kedalaman antara (15 – 175 m), dan resistivitas rendah tersebar pada kedalaman antara (175 – 453,33 m).

Penampang tahanan jenis transversal dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu resistivitas transversal rendah yang diwakili dengan warna biru dengan nilai antara (0 – 400 ohm.m), resistivitas sedang yang diwakili warna kuning dengan nilai antara (400 – 900 ohm.m) dan resistivitas tinggi yang diwakili dengan warna merah dengan nilai antara (900 – 1200 ohm.m). Pada *line A* persebaran resistivitas tinggi tersebar pada kedalaman antara (350 – 400 m), resistivitas sedang tersebar pada kedalaman antara (100 – 350 m), dan resistivitas rendah tersebar pada kedalaman antara (0 – 100 m). Pada *line B* resistivitas tinggi tersebar pada kedalaman antara (345 – 425 m), resistivitas sedang tersebar pada kedalaman antara (100 – 345 m), dan resistivitas rendah tersebar pada kedalaman antara (0 – 100 m). Pada *line C* resistivitas tinggi tersebar pada kedalaman antara (345 – 435 m),

resistivitas sedang tersebar pada kedalaman antara (115 – 325 m), dan resistivitas rendah tersebar pada kedalaman antara (0 – 110 m).

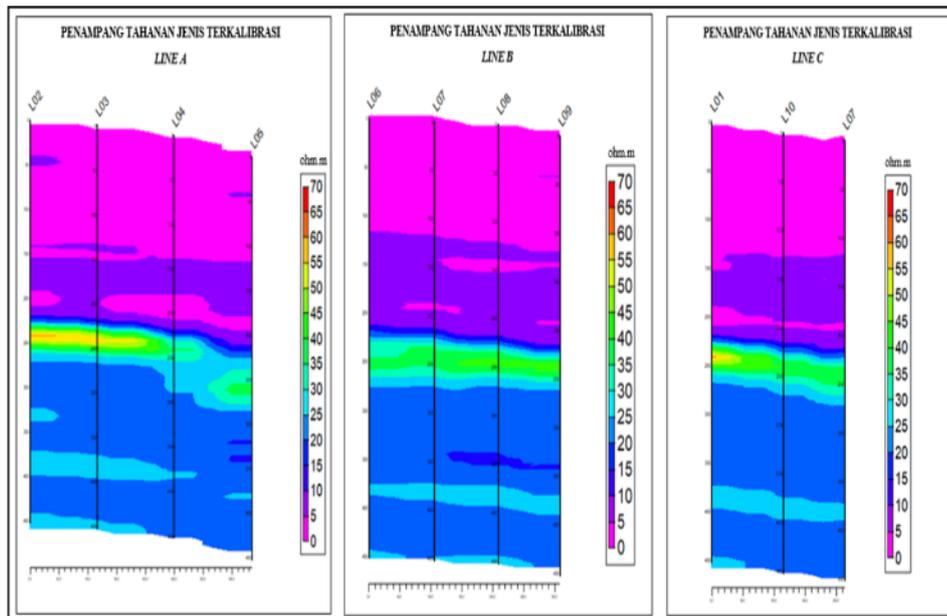
Perbedaan nilai antara resistivitas longitudinal dan transversal disebabkan karena media homogen anisotropi merupakan media yang terdiri dari lapisan–lapisan media yang homogen isotropi dengan sifat kelistrikan yang berbeda antar lapisan, namun tetap untuk lapisan itu sendiri. Sehingga perubahan terbesar terjadi pada arah vertikal terhadap bidang lapisan. Itulah sebabnya akan selalu diperoleh nilai Tahanan Listrik Transversal yang lebih besar dari Tahanan Listrik Longitudinal. Harga Tahanan Jenis terukur dari suatu media merupakan resultan dari total sifat fisik media tersebut, seperti Tahanan Listrik dengan arah tegak lurus bidang lapisan (ρt) dan Tahanan Listrik dengan arah sejajar bidang Lapisan (ρl).

Analisis Resistivitas Medium Terkalibrasi.

Tahanan jenis medium terkalibrasi adalah tahanan jenis berdasarkan perhitungan berdasarkan konsep anisotropi menggunakan persamaan *Dar-Zarrouk*. Tahanan jenis ini juga sudah terkalibrasi dengan data Log Resistivitas (Log ILD/*Induction Log Deep*), sehingga tahanan jenis ini merupakan tahanan jenis medium sebenarnya. Berbeda dengan tahanan jenis semu yang merupakan hasil dari “perata-rataan” atau representasi umum dari objek yang berada di bawah titik pengukuran, tahanan jenis ini sudah memakai konsep anisotropi yang memperhatikan perbedaan nilai resistivitas secara lateral maupun secara vertikal. Nilai standar kesalahan (*standard error*) antara resistivitas semu dan resistivitas terkalibrasi adalah sebesar 0,8.

Nilai resistivitas medium terkalibrasi menunjukkan variasi nilai resistivitas sebenarnya dibawah permukaan. Variasi nilai resistivitas terkalibrasi ini kemudian digunakan sebagai dasar penentuan litologi bawah permukaan, termasuk penentuan horizon reservoir dangkal. Berikut ini adalah contoh penampang bawah permukaan nilai resistivitas medium terkalibrasi pada sumur *Line A*, *Line B* dan *Line C*.

Penampang bawah permukaan nilai resistivitas medium terkalibrasi pada *line A*, *line B* dan *line C* menunjukkan persebaran resistivitas medium terbagi menjadi tiga kelompok, yaitu resistivitas rendah, resistivitas sedang dan resistivitas tinggi. Nilai resistivitas rendah diwakili oleh warna biru dengan nilai resistivitas medium sebesar (0 – 25 ohm.m), resistivitas sedang diwakili oleh warna kuning dengan nilai resistivitas semu sebesar (25 – 55 ohm.m), serta resistivitas tinggi diwakili oleh warna merah dengan nilai resistivitas semu sebesar (55 – 70 ohm.m). Pada *line A* persebaran nilai resistivitas rendah tersebar pada kedalaman antara (0 – 225 m) pada sumur L02, L03, L04 dan L05. Nilai resistivitas semu sedang tersebar pada kedalaman antara (275- 453,33 m) pada sumur L02, L03, L04 dan L05. Sedangkan resistivitas medium tinggi tersebar pada kedalaman (240 – 255 m) pada sumur L02, L03, dan L04 sedangkan pada sumur L05 pada kedalaman (255 – 270 m).



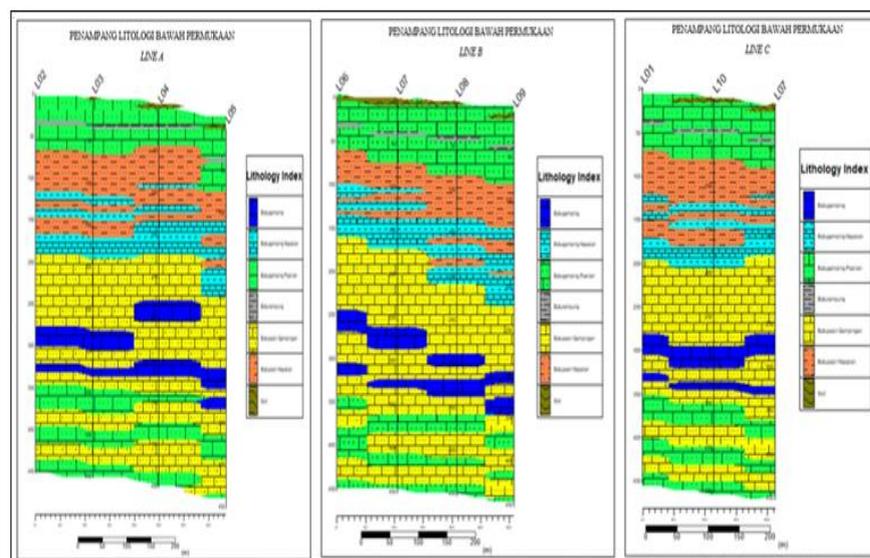
Gambar 9. Penampang tahanan jenis medium terkalibrasi *Line A*, *Line B* dan *Line C*.

Pada *line B* persebaran nilai resistivitas medium rendah tersebar pada kedalaman antara (0 – 225 m) pada sumur L06, L07, L08 dan L09. Nilai resistivitas semu sedang tersebar pada kedalaman antara (225- 453,33 m) pada sumur L06, L07, L08 dan L09. Sedangkan resistivitas medium tinggi tersebar pada kedalaman (250 – 265 m) pada sumur L06 dan L07 sedangkan pada sumur L08 dan L09 pada kedalaman (240 – 255 m). Pada *line C* persebaran nilai resistivitas medium rendah tersebar pada kedalaman antara (0 – 225 m) pada sumur L01, L10, dan L07. Nilai resistivitas semu sedang tersebar pada kedalaman antara (225- 453,33 m) pada sumur L01, L10, dan L07. Sedangkan resistivitas medium tinggi tersebar pada kedalaman (240 – 255 m) pada sumur L01, dan L10 sedangkan pada sumur L07 pada kedalaman (255 – 270 m).

Nilai resistivitas yang tinggi diinterpretasikan sebagai kehadiran hidrokarbon, sedangkan kandungan airtanah memiliki nilai resistivitas rendah. Hasil pengolahan resistivitas medium terkalibrasi ini kemudian dijadikan sebagai dasar dalam penentuan macam litologi dan persebaran reservoir dangkal di bawah permukaan.

Pemodelan Litologi dan Persebaran Reservoir Dangkal.

Pemodelan litologi sangat penting dilakukan untuk mengetahui persebaran dan volumetrik reservoir hidrokarbon dangkal pada lapangan “PNJ”. Dasar dari pemodelan litologi adalah berdasarkan nilai tahanan jenis medium anisotropi yang divalidasi dengan data *Log ILD* dan data *lithology cutting*.



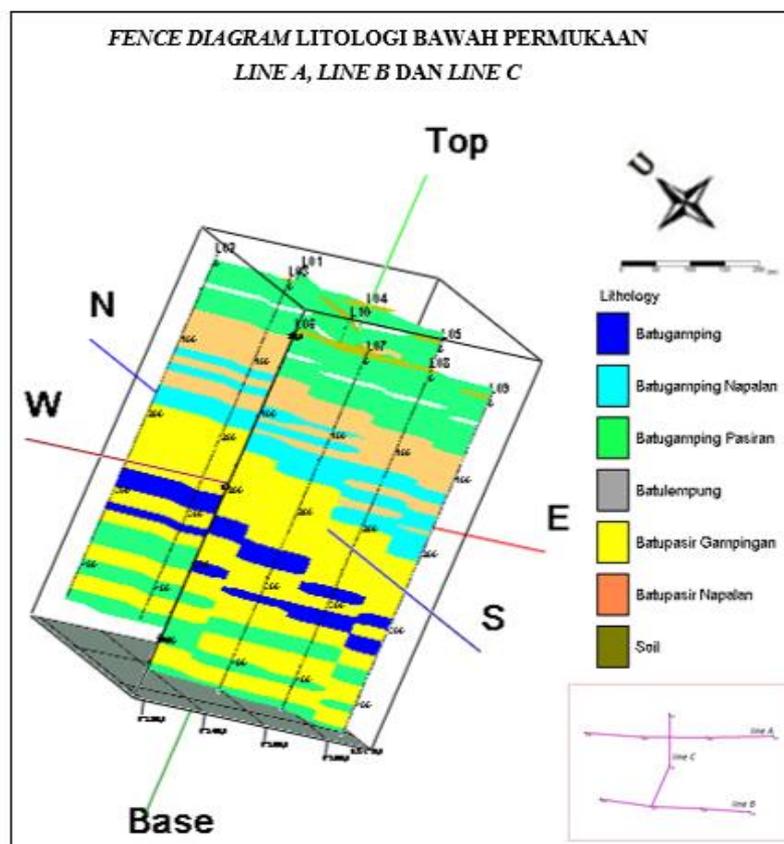
Gambar 10. Penampang litologi anisotropi bawah permukaan *Line A*, *Line B* dan *Line C*.

Penampang litologi bawah permukaan pada *line A*, *line B* dan *line C* menunjukkan persebaran litologi bawah permukaan terbagi menjadi tujuh macam litologi yaitu soil, Batugamping Pasiran, Batupasir Napalan, Batugamping Napalan, Batupasir Gampingan, Batulempung dan Batugamping. Pembagian ini berdasarkan nilai resistivitas medium sebenarnya yang sudah terkalibrasi dengan data *Log* dan data *lithology cutting*. Pada penampang litologi *line A*, litologi paling atas merupakan soil yang berada pada kedalaman antara (0 - 5 m), litologi kedua merupakan batugamping pasiran yang berada pada kedalaman berkisar antara (5 – 60 m), (350 -375 m), (400 – 420) dan (435 – 453,33 m), litologi ketiga merupakan batupasir napalan yang berada pada kedalaman berkisar antara (60 – 120 m), (125 – 135 m) dan (150 – 165 m), litologi keempat merupakan batugamping napalan yang berada pada kedalaman berkisar antara (110 – 125 m), dan (130 – 180 m). Litologi kelima adalah batulempung yang yang berada pada kedalaman berkisar antara (35 – 40 m), kemudian litologi keenam merupakan batupasir gampingan yang berada pada kedalaman berkisar antara (190 – 270 m), (300 – 325 m), (340 – 350 m), (335 – 350 m) dan (420 – 440 m), dan litologi ketujuh merupakan batugamping yang berada pada kedalaman berkisar antara (250 – 300 m), (325 – 350 m) dan (350 – 360 m).

Pada penampang litologi *line B*, litologi paling atas merupakan soil yang berada pada kedalaman antara (0 - 5 m), litologi kedua merupakan batugamping pasiran yang berada pada kedalaman berkisar antara (5 – 60 m), (290 -320 m), (385 – 420) dan (435 – 453,33 m), litologi ketiga merupakan batupasir napalan yang berada pada kedalaman berkisar antara (60 – 120 m), (125 – 135 m) dan (150 – 165 m), litologi keempat merupakan batugamping napalan yang berada pada kedalaman berkisar antara (110 – 125 m), dan (130 – 180 m). Litologi kelima adalah batulempung yang yang berada pada kedalaman berkisar antara (35 – 40 m), kemudian litologi

keenam merupakan batupasir gampingan yang berada pada kedalaman berkisar antara (190 – 270 m), (300 – 325 m), (340 – 350 m), (335 – 350 m) dan (420 – 440 m), dan litologi ketujuh merupakan batugamping yang berada pada kedalaman berkisar antara (250 – 300 m), (325 – 350 m) dan (350 – 360 m).

Pada penampang litologi *line C*, litologi paling atas merupakan soil yang berada pada kedalaman antara (0 - 5 m), litologi kedua merupakan batugamping pasiran yang berada pada kedalaman berkisar antara (5 – 70 m), (355 -385 m), (410 – 425 m) dan (445 – 453,33 m), litologi ketiga merupakan batupasir napalan yang berada pada kedalaman berkisar antara (65 – 125 m), (130 – 140 m) dan (155 – 165 m), litologi keempat merupakan batugamping napalan yang berada pada kedalaman berkisar antara (115 – 125 m), dan (125 – 175 m). Litologi kelima adalah batulempung yang berada pada kedalaman berkisar antara (35 – 45 m), kemudian litologi keenam merupakan batupasir gampingan yang berada pada kedalaman berkisar antara (185 – 265 m), (310 – 325 m), (330 – 345 m), (350 – 360 m) dan (420 – 440 m), dan litologi ketujuh merupakan batugamping yang berada pada kedalaman berkisar antara (255 – 310 m), (320 – 350 m) dan (345 – 360 m). Diinterpretasikan reservoir hidrokarbon dangkal berupa batupasir gampingan, hal ini didasarkan pada data *lithology cutting*, nilai resistivitas medium.



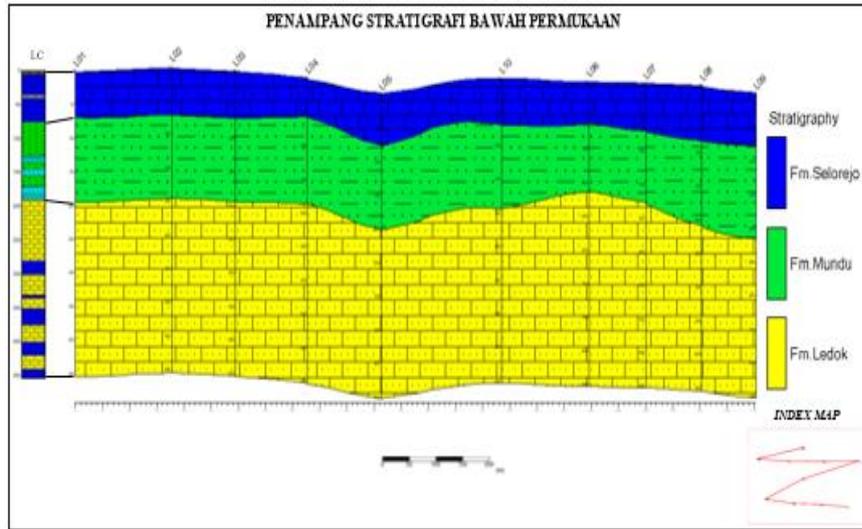
Gambar 11. Fence Diagram litologi anisotropi bawah permukaan Line A, Line B dan Line C.

Pemodelan Stratigrafi dan Lingkungan Pengendapan.

Pemodelan stratigrafi dan lingkungan pengendapan didasarkan pada data *lithology cutting well bore*. Data *lithology cutting well bore* merupakan data deskripsi litologi berupa jenis batuan, karakteristik batuan dan kandungan *oil show*. Data *lithology cutting well bore* berasal dari *geophysical well bore* D-55 yang berjarak 20 meter dari sumur L01, untuk melakukan pemodelan stratigrafi dan lingkungan pengendapan data tahanan jenis medium sebenarnya harus di validasi dengan data *lithology cutting well bore* pada setiap sumur pengukuran. *lithology cutting well bore* berasal dari gerusan batuan saat proses pemboran berlangsung untuk mengetahui karakteristik batuan (reservoir) dan litologi bawah permukaan. Pada penelitian ini, analisis *cutting* difokuskan pada analisis litologi yang dimaksudkan untuk mendapat pedoman dalam pendeskripsian litologi (warna, tekstur, pabrikan, mineral tambahan pada batuan) pada setiap kedalaman. Hal ini dilakukan untuk memvalidasi kedalaman tahanan jenis medium sebenarnya terhadap data *lithology cutting*.

Proses kalibrasi diawali dengan melakukan perhitungan nilai tahanan jenis medium sebenarnya dengan konsep anisotropi menggunakan persamaan *Dar-Zarrouk*. Setelah mendapatkan nilai tahanan jenis medium sebenarnya

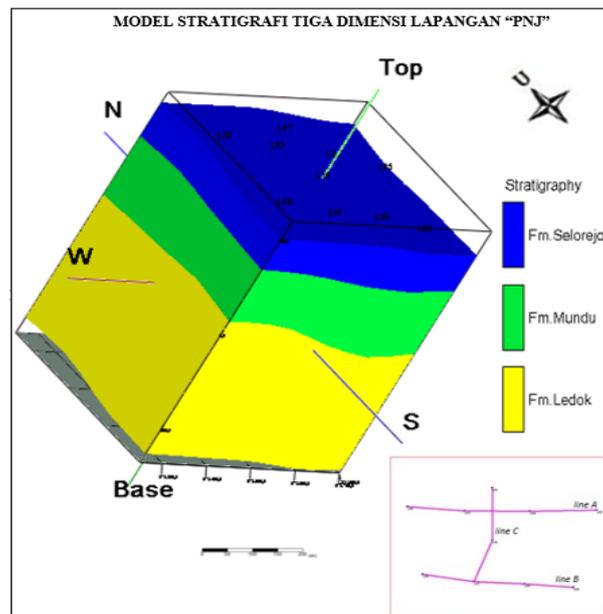
kemudian dilakukan validasi kedalaman antara nilai tahanan jenis medium sebenarnya dengan data *lithology cutting well bore*. Pemodelan stratigrafi sangat penting dilakukan untuk mengetahui lingkungan pengendapan pada setiap satuan batuan penyusunnya, analisis lingkungan pengendapan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui proses sedimentasi dari satuan batuan penyusun.



Gambar 12. Penampang stratigrafi bawah 2 dimensi permukaan *Line A*, *Line B* dan *Line C*.

Penampang stratigrafi bawah permukaan pada *line A*, *line B* dan *line C* menunjukkan bahwa stratigrafi bawah permukaan dari muda ke tua terbagi menjadi tiga yaitu stratigrafi batugamping napalan Formasi Selorejo, batupasir napalan Formasi Mundu, dan batupasir gampingan Formasi Ledok. Pembagian ini berdasarkan nilai resistivitas medium sebenarnya yang telah di validasi dengan data *lithology cutting*. Sehingga kedalaman resistivitas medium dan kedalaman *lithology cutting* tervalidasi. Pada *line A* stratigrafi Formasi Selorejo yang tersusun oleh litologi batugamping napalan berada pada kedalaman antara (0 - 75 m), stratigrafi Formasi Mundu yang tersusun oleh litologi litologi batupasir napalan berada pada kedalaman antara (75 - 195 m), dan stratigrafi Formasi Ledok yang tersusun oleh litologi batupasir gampingan berada pada kedalaman antara (195 – 453,33 m).

Pada *line B* stratigrafi Formasi Selorejo yang tersusun oleh litologi batugamping napalan berada pada kedalaman antara (0 - 70 m), stratigrafi Formasi Mundu yang tersusun oleh litologi litologi batupasir napalan berada pada kedalaman antara (70 - 190 m), dan stratigrafi Formasi Ledok yang tersusun oleh litologi batupasir gampingan berada pada kedalaman antara (190 – 453,33 m).



Gambar 13. Penampang stratigrafi 3 dimensi bawah permukaan *Line A*, *Line B* dan *Line C*.

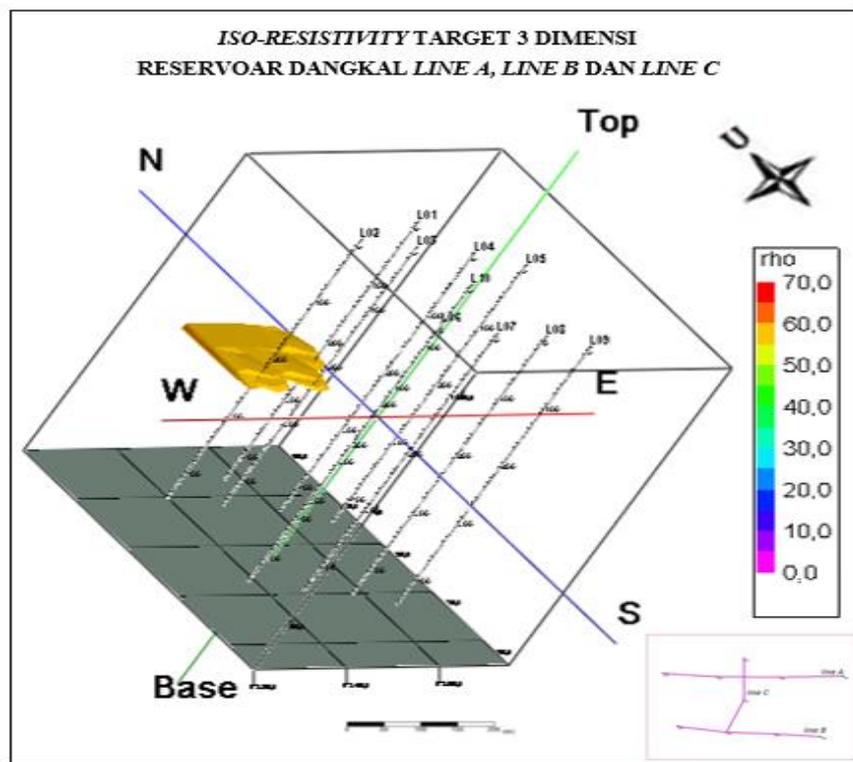
Pada *line C* stratigrafi Formasi Selorejo yang tersusun oleh litologi batugamping napalan berada pada kedalaman antara (0 - 80 m), stratigrafi Formasi Mundu yang tersusun oleh litologi litologi batupasir napalan berada pada kedalaman antara (80 - 200 m), dan stratigrafi Formasi Ledok yang tersusun oleh litologi batupasir gampingan berada pada kedalaman antara (200 – 453,33 m).

Penentuan Zona Prospek (*Prospecting Area*) Berdasarkan *Peta Isoresistivity*.

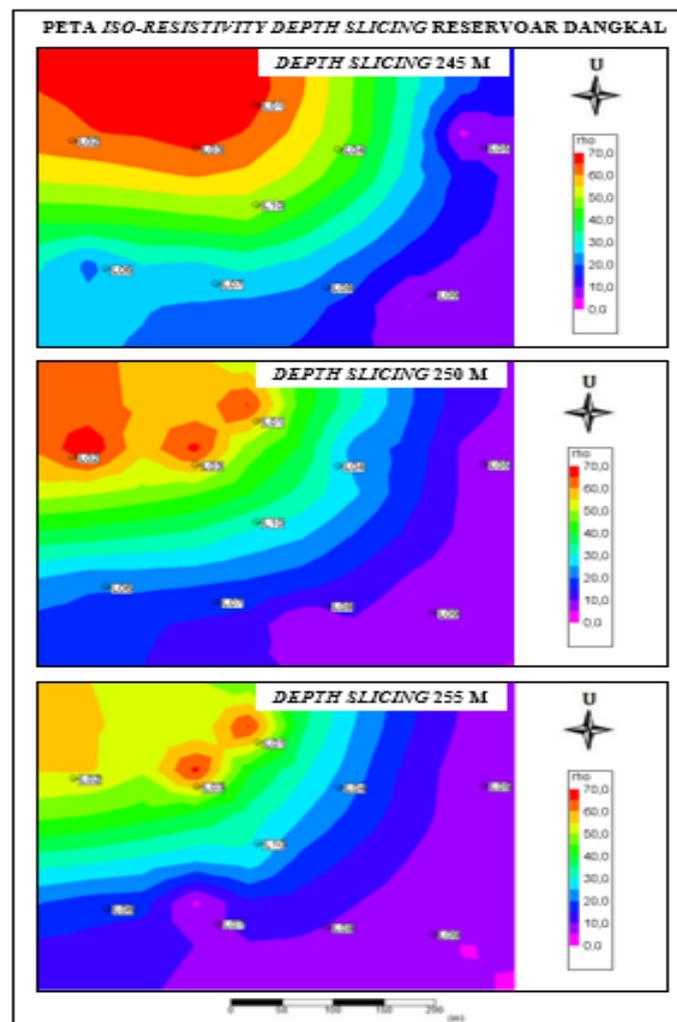
Pada penampang litologi pada *line A*, *line B* dan *line C* dapat diketahui bahwa litologi reservoir hidrokarbon berupa batupasir gampingan. Tetapi tidak semua batupasir gampingan memenuhi kriteria menjadi reservoir hidrokarbon, salah satu kriterianya adalah berdasarkan nilai resistivitas medium terkalibrasi. Reservoir hidrokarbon harus memiliki nilai resistivitas medium yang tinggi, berdasarkan data *lithology cutting* dapat diinterpretasikan kisaran nilai tahanan jenis reservoir dangkal berkisar antara (55 – 70 ohm.m) dengan volumetrik sebesar 375.000 m³ berdasarkan perhitungan menggunakan *software Rockwork16*.

Batupasir gampingan yang menjadi reservoir hidrokarbon diinterpretasikan memiliki nilai resistivitas antara (55 – 70 ohm.m), persebaran reservoir berdasarkan pemodelan diatas berada pada sumur L01, L02 dan L03 dengan arah orientasi penyebaran Barat – Timur dan Barat – Timur Laut. Tetapi untuk mengetahui daerah prospek secara lebih detil diperlukan peta *isoresistivity*. Peta *isoresistivity* merupakan peta yang dibuat berdasarkan korelasi nilai resistivitas antar titik pengukuran geolistrik pada lapisan tertentu.

Peta *depth slicing isoresistivity* dilakukan pada kedalaman 245 m, 250 m dan 255 m menunjukkan bahwa sumur L01, L02 dan L03 memiliki nilai resistivitas yang konsisiten yaitu berkisar antara 55 – 70 ohm.m. Berdasarkan hal tersebut diinterpretasikan bahwa rekomendasi titik pengeboran adalah pada sumur L01, L02 dan L03.



Gambar 14. Peta *isoresistivity* target reservoir dangkal yang dianggap layak dengan nilai resistivitas antara 55-70 ohm.m.



Gambar 15. Peta iso-resistivity 2D *depth slicing* target dengan kedalaman 245 m, 250 m, dan 255 m.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *well logging*, estimasi hubungan porositas dan permeabilitas, pemodelan stratigrafi dan lingkungan pengendapan, serta perhitungan geolistrik menggunakan konsep anisotropi maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan nilai resistivitas medium menggunakan konsep anisotropi yang terkalibrasi dengan nilai Log Tahanan Jenis (*Log ILD*) dan *lithology cutting data*, dapat disimpulkan bahwa litologi reservoir dangkal berupa batupasir gampingan yang termasuk dalam Formasi Ledok. Berdasarkan pemodelan stratigrafi daerah penelitian, dapat disimpulkan bahwa batupasir gampingan Formasi Ledok diendapkan pada lingkungan laut dalam.
2. Kisaran nilai tahanan jenis reservoir dangkal (batupasir gampingan) didapatkan dari perhitungan menggunakan konsep anisotropi berkisar antara (55 – 70 ohm.m) dengan penyebaran Barat – Timur dan Barat – Timur Laut yang didasarkan dari pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi.
3. Hasil dari interpretasi peta *slicing iso-resistivity* pada kedalaman 245, 250 dan 255 meter didapatkan lokasi prospek berada pada sumur L01, L02 dan L03, hal ini dikarenakan pada ketiga sumur tersebut memiliki nilai tahanan jenis medium yang relatif tinggi (55 – 70 ohm.m) dan konsisten.

SARAN

Berikut adalah beberapa saran yang mungkin dapat menjadi bahan pertimbangan untuk mengembangkan studi tentang tema ini menjadi lebih baik:

1. Diperlukan *well logging* dan data *lithology cutting* sebagai sumur referensi yang lebih banyak untuk proses kalibrasi pada setiap titik pengukuran agar hasil pengolahan nilai tahanan jenis medium lebih baik dan akurat.
2. Untuk melakukan analisis litofasies dan lingkungan pengendapan yang lebih akurat diperlukan analisis *sample data* sayatan tipis (petrografi).

3. Pada analisis geolistrik anisotropi diperlukan lokasi titik pengukuran yang lebih banyak untuk mendapatkan hasil yang lebih meyakinkan. Penulis merekomendasikan skema *regular gridding* bukan *random gridding*. Hal ini untuk mengantisipasi ekstrapolasi saat melakukan analisa dua atau tiga dimensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., 2012, Analisis Fasies Pengendapan Formasi Ledok serta Interpretasi Rekonstruksi Model Sejarah Paleogeografi pada Daerah Panohan, Gunem, Rembang, Jawa Tengah. *Proceedings of the 41st IAGI (Ikatan Ahli Geologi Indonesia)*.
- Anderson, M., Bryant, I., Luling, M., 1994, *Oilfield Anisotropy: Its Origins and Electrical Characteristics*. Germany: Hannover, Klaus Helbig.
- Broto, Sudaryo, Afifah, R. S., 2008, Pengolahan Data Geolistrik Dengan Metode Schlumberger. *Majalah TEKNIK Vol. 29 No.2, ISSN 0852-1697*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Grant, F.S. dan West, G.F., 1965, *Interpretation Theory in Applied Geophysics*, New York, McGraw-Hill Inc.
- Genevraye, P., 1972, The Geology of The Kendeng Zone & Central Java and East Java, *Proceedings of the 1st Annual Convention Indonesian Petroleum Association (IPA)*.
- Hall, R., 2012, Late Jurassic - Cenozoic reconstruction of the Indonesian region and the Indian Ocean. *Tectonophysics*, 570-571, pp. 1-41.
- Hall, R., dan Morley, C.K., 2004, Continent-Ocean Interactions within the East Asian Marginal Seas. *Geophysical Monograph, American Geophysical Union*, 149, pp. 55-85.
- Hamilton, W., 1979, Tectonics of the Indonesian Region, *USGS Professional Paper*, vol. 1078, 345 p.
- Harsono, P., 1983, *Stratigrafi North East Java Basin*. Disertasi Doktor : Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Harsono, A., 1997, *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log*. Schlumberger Oilfield Service Indonesia, Jakarta.
- Husein, S., 2015, Petroleum and Regional Geology of Northeast Java Basin, *Indonesia-Excursion Guide Book for Universiti Teknologi Petronas Malaysia. Department of Geological Engineering Universitas Gadjah Mada*, 21 p.
- Husein, S., Kakda, K. dan Aditya, H.F.N., 2015, Mekanisme Perlipatan En-Echelon di Antiklinorium Rembang Utara, *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan ke-8 Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, GEO41*, pp 224-234.
- Husein, S. dan Nukman, M., 2015, Rekonstruksi Tektonik Mikrokontinen Pegunungan Selatan Jawa Timur: sebuah hipotesis berdasarkan analisis kemagnetan purba. *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan ke-8 Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, GEO42*, p 235-248.
- Koesoemadinata, R.P., 1978, *Geologi Minyak Bumi*. Bandung. Penerbit ITB.
- Kristanto, D., 1996, *Basic Well Logging Analysis and Interpretation*. Petroleum Engineer: Institut Teknologi Bandung.
- Kunz, K.S., Moran, J.S., 1958, Some Effects of Formation Anisotropy on Resistivity Measurements in Boreholes. *GEOPHYSICS*, Vol. XXIII, No. 4. *Society of Exploration Geophysicists*.
- Lowell, J.D., 1980, Wrench versus compressional structures with application to Southeast Asia. *Southeast Asia Petroleum Exploration Society Proceedings*, 5, pp. 63-70.
- Maillet, R., 1947, *The Fundamental Equation of Electrical Prospecting*. *GEOPHYSICS*, Vol. XII, October 1947.
- Manur, H. dan Barraclough, R., 1994, Structural Control on Hydrocarbon Habitat in the Bawean Area. *23th Annual Convention Proceeding, Indonesian Petroleum Association*, 129-144.
- Marks, P., 1957, *Stratigraphic Lexicon of Indonesia*. Pusat Djawatan Geologi Bandung, Bandung.
- Satyana, A.H. dan Purwaningsih, M.E.M., 2003, Oligo-Miocene Carbonates of Java: Tectonic Setting and Effects of Volcanism, *Proceedings of Joint Convention IAGI & HAGI, Jakarta*.
- Moehadi, M., 2010, *Fundamental of Petroleum Geology and Exploration*, Universitas Indonesia, Depok.
- Mudjiono, R., dan Pireno, G.E., 2002, Eksplorasi Of The North Madura Platform, Offshore East Java, Indonesia. *28th Annual Convention Proceeding, Indonesian Petroleum Association*.
- Panjaitan, S., 2010, *Prospek Migas Jawa Timur Dengan Metode Gaya Berat*, Pusat Survey Geologi, Bandung.
- Pannekoek, A.J., 1949, Outline of the Geomorphology of Java. *Tijdschriftvan Het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, vol. LXXVI part 3, E.J. Brill, Leiden, pp. 270-325.
- Pertamina BPPKA. 1996. *Petroleum Geology of Indonesian Basins*.
- Phillips, T.L., Noble, R.A. dan Simartio, F.F., 1991, Origin of Hydrocarbons Kangean Block Northern Platform, Offshore N.E. Java Sea: *Proceeding Indonesian Petroleum Association 20th Annual Convention*, Jakarta.
- Prameswari, Fransiskha, W., Bahri, A. S., Parnadi, W. 2012. Analisis Resistivitas Batuan dengan Menggunakan Parameter Dar Zarrouk dan Konsep Anisotropi. *JURNAL SAINS DAN SENI ITS Vol. 1, No. 1, (Sept. 2012) ISSN: 2301-928X*. Surabaya: Institut Sepuluh November.
- Prasetyadi, C., 2007, *Evolusi Tektonik Paleogen Jawa Bagian Timur*. Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung. 323 hal.

- Pringgoprawiro, H. 1983. *Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara, Suatu Pendekatan Baru*. Desertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Pulunggono, A., 1990, Neogene Tectonic Evolution in Java is Interesting Tectonic Event, Proceeding Geology and Geotectonic Java Island. P 37 - 50. *Kumpulan Makalah Seminar : Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa Sejak Akhir Mesozoik Hingga Kuartar*. Jurusan Teknik Geologi, UGM, h.1-9.
- Reynolds, J.M., 1998, *An Intrduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: John willey and Sons.
- Rider. M., 2002, *The Geological Interpretation of Well Logs Second Edition*. Rider-French Consulting, Ltd. Scotland.
- Satyana, A.H. dan Purwaningsih, M.E.M., 2003, Oligo-Miocene Carbonates of Java: Tectonic Setting and Effects of Volcanism, *Proceedings of Joint Convention IAGI & HAGI, Jakarta*.
- Satyana, A.H., Erwanto, E. dan Prasetyadi, C., 2004, Rembang- Madura-Kangean-Sakala (RMKS) Fault Zone, East Java Basin : the origin and nature of a geologic border. *Proceeding the 33rd Annual Convention & Exhibition of Indonesian Association of Geologist*.
- Situmorang, B., Siswoyo, T.E., dan Paltrinieri, F., 1976, Wrench fault tectonics and aspects of hydrocarbon accumulation in Java. *Proceeding of 5th Annual Convention and Exhibition of Indonesian Petroleum Association, pp. 53-61*.
- Soemantri, B., Samuel, L., dan Nayoan G.A.S., 1973, The Geology of the Oilfields in North East Java. *Proceeding of 2nd Annual Convention and Exhibition of Indonesian Petroleum Association, pp. 149-175*.
- Soetarso, B., dan Suyitno, P., 1976, The diapiric structure and relation on the occurrence of hydrocarbon in northeast Java basin. *Proceedings Ilmiah Tahunan Ikatan Ahli Geologi Indonesia ke-19*.
- Sribudiyani, Muchsin, N., Ryacudu R., Kunto, T., Astono, P., Prasetya I., Sapiie, B., Asikin, S., Harsolumakso, A.H., dan Yulianto, I., 2003, The Collision of the East Java Microplate and Its Implication for Hydrocarbon Occurrences in the East Java Basin, *Indonesian Petroleum Association, Proceedings 29th Annual Convention, hal. 335-346*.
- Steven, J., Johnstone, E.M., White, J.V., Geary, G.C., Gross, O.P., McPhearson, J.G., Rodda, C.W., dan Cahyono, A.B., 2006, Revised Sequence Statigraphic Framework and Nomenclature, East Java Basin, *Proceeding International Geosciences Conference and Exhibition, Jakarta*.
- Telford, M. W., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., dan Keys, D. A., 1990, *Applied Geophysics*. Cambridge Univ. Press.
- Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, vol. I.A. General Geology. Martinus Nyhoff, The Hague Martinus Nijhoff, Netherlands.
- Watson, K.A., Barker, R. D., 1999, Differentiating Anisotropy and Lateral Effects Using Azimuthal Resistivity Offset Wenner Soundings. *GEOPHYSICS, Vol. 64, No. 3. Society of Exploration Geophysicists*.
- Zohdy, A.R.R. 1974, *Use of Dar Zarrouk Curves in the Interpretation of Vertical Electrical Sounding Data*. Washington: United States Government Printing Office.
- Zohdy, A. R. R., 1975, *Automatic Interpretation of Schlumberger Sounding Curves, Using Modified Dar Zarrouk Function*, Washington: United States Government Printing Office.