

Interpretasi Lingkungan Pengendapan Formasi Balikpapan dan Formasi Kampungbaru Berdasarkan Data *Sounding* Pada Area Tepi Sungai Dekat Pesisir Balikpapan, Kalimantan Timur

Helen Zetri[1], Dr. Ir. Agus Laesanpura, M.S.[2], Rizka, S.T., M.T.[1]

[1]Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sumatera

[2]Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung

Email: zetri62@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian dilakukan di Balikpapan, Kalimantan Timur termasuk ke dalam Cekungan Kutai. Cekungan Kutai salah satu cekungan berumur Tersier yang paling ekonomis. Wilayah studi dilakukan kajian mengenai dinamika sedimentasi, analisis fasies dan lingkungan pengendapan. Untuk itu, perlu mendapatkan gambaran bawah permukaan sehingga dilakukan pengukuran menggunakan metode geofisika yaitu geolistrik teknik *sounding*. Daerah penelitian mempunyai rentang resistivitas 0,4-1635 Ωm . Di mana $\rho < 20 \Omega\text{m}$ diduga lempung, 20–70 Ωm diduga pasir, 70–300 Ωm diduga lapisan penutup, 70–200 Ωm diduga lanau, 200–400 Ωm diduga gamping, 400–800 Ωm diduga pasir kuarsa, dan $\rho > 800 \Omega\text{m}$ diduga batubara. Delineasi dinamika sedimentasi bergerak dari sisi Barat Daya menuju sisi Timur Laut. Analisis fasies dibagi menjadi empat satuan batuan, berturut-turut dari tua ke muda yaitu Satuan batugamping Balikpapan, Satuan batulempung pembawa lapisan batubara Balikpapan, Satuan batugamping Kampungbaru dan Satuan batulempung sisipan batupasir batubara Kampungbaru. Wilayah studi diendapkan pada lingkungan pengendapan transisi dan laut. Cekungan ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai teknik sipil dan dunia eksplorasi maupun eksploitasi untuk mendapatkan cadangan baru.

Kata Kunci : cekungan kutai, *sounding*, delineasi dinamika sedimentasi, analisis fasies, lingkungan pengendapan

ABSTRACT

The study in Balikpapan, East Kalimantan included in the Kutai Basin. The Kutai Basin is one of the most economical Tertiary basins. The study area was study of the dynamics of sedimentation, facies analysis and sedimentary environment. It is necessary to obtain a subsurface imaging so that measurements are made using the geophysical method, namely geoelectric sounding techniques. The study area has a resistivity range of 0,4-1635 Ωm . Where resistivity $\rho < 20 \Omega\text{m}$ is suspected to be clay, 20–70 Ωm is suspected to be sand, 70–300 Ωm is suspected to be top soil, 70–200 is suspected to be silt, 200-400 Ωm is suspected to be limestone, 400-800 Ωm is suspected to be quartz sandstone and $\rho > 800 \Omega\text{m}$ is suspected coal. Delineation of sedimentation dynamics moves from the Southwest to the Northeast. The facies analysis is divided into four rock units, successively from old to young, the Balikpapan limestone unit, the Balikpapan coal bearing claystone unit, the Kampungbaru limestone unit and the Kampungbaru coal sandstone inserts claystone unit. The study area was deposited in the transitional and marine environment. The basin is expected to provide information on civil engineering and the world of exploration and exploitation to obtain new reserves.

Keywords: kutai Basin, *sounding*, sedimentation dynamics delineation, facies analysis, sedimentary Environment

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Daerah penelitian berlokasi di Balikpapan, Kalimantan Timur yang termasuk ke dalam Formasi Balikpapan dan Formasi Kampungbaru yang berada dalam Cekungan Kutai. Cekungan Kutai merupakan salah satu cekungan berumur Tersier yang paling ekonomis di Indonesia. Cekungan Kutai terbentuk pada Kala Eosen Tengah sebagai cekungan regangan, yang terisi oleh endapan genang laut berumur Eosen sampai Oligosen, diikuti oleh endapan susut laut Miosen. Cekungan ini merupakan cekungan yang paling luas dan paling dalam di Indonesia bagian Barat yang memiliki cadangan minyak, batubara dan gas yang besar [1].

Formasi-formasi pembawa batubara yang dijumpai di wilayah pesisir Kalimantan Timur berada pada stratigrafi bagian atas Cekungan Kutai ini, yakni Formasi Kampungbaru, Formasi Balikpapan dan Formasi Pulaubalang [2]. Penelitian terdahulu [3] mengenai interpretasi lingkungan pengendapan batubara Formasi Balikpapan diendapkan pada lingkungan *channel* pada *upper delta plain* dan diendapkan pada lingkungan *backmangrove*. Formasi Balikpapan yang merupakan salah satu formasi yang memiliki reservoir-reservoir yang prospek terdapat cadangan hidrokarbon pada Cekungan Kutai [4]. Pengaruh lingkungan pengendapan dapat menjadi masalah baik dalam kegiatan eksplorasi maupun kegiatan eksploitasi [5]. Batuan sedimen juga menjadi sumber yang penting untuk mengetahui sumberdaya alam, seperti batubara, bahan bakar fosil, air minum atau mineral bijih. Sehingga, diperlukan informasi mengenai lingkungan pengendapan di daerah penelitian.

Oleh sebab itu, untuk mengetahui gambaran kondisi bawah permukaan diperlukan survei geofisika. Penelitian tugas akhir ini dilakukan pada area tepi sungai dekat pesisir Balikpapan, Kalimantan Timur dengan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis VES (*Vertical Electrical Sounding*) konfigurasi Schlumberger.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan studi geofisika berdasarkan data geolistrik *sounding*, mengetahui litologi penyusun, dinamika sedimentasi, analisis fasies dan lingkungan pengendapan daerah

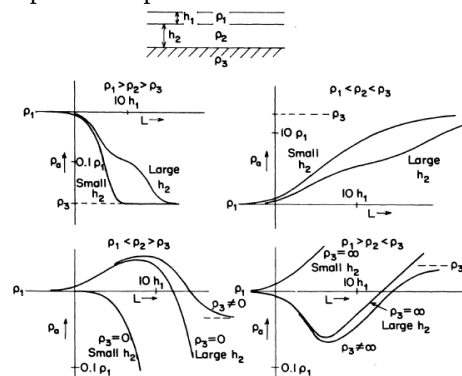
penelitian. Studi mengenai batuan sedimen dan perlapisan batuan dapat memberi informasi mengenai bagian bawah permukaan bumi yang bermanfaat bagi teknik sipil, terutama dalam konstruksi bangunan untuk jalan raya, gedung dan perumahan, terowongan atau kanal serta konstruksi bangunan lainnya. Oleh karena itu, penelitian tugas akhir ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai teknik sipil untuk konstruksi bangunan dan dunia eksplorasi maupun eksploitasi untuk mendapatkan cadangan baru.

METODE

Metode Resistivitas

Metode geolistrik adalah salah satu bagian dari metode geofisika, di mana sifat aliran listrik di dalam bumi dipelajari, seperti pengukuran potensial listrik dan arus listrik akibat injeksi arus ke dalam bumi. Metode geolistrik sangat efektif dipergunakan untuk melakukan eksplorasi yang sifatnya dangkal [6]. Teknik pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik *Vertical Electrical Sounding* (VES). Teknik ini sangat berguna jika lapisan bawah permukaan yang akan dipelajari distratifikasi secara horizontal atau hampir horizontal.

Hasil yang diperoleh dari teknik pengukuran VES adalah kurva resistivitas [7]. Berdasarkan bentuk kurvanya, lapisan-lapisan yang berbeda di bawah permukaan dapat dikategorikan menjadi tipe kurva Q, A, H dan K [8]. Berikut tipe kurva dalam VES dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Tipe kurva Q, A, K dan H dalam VES [9]

Pengukuran dengan konfigurasi Schlumberger seperti tampak pada **Gambar 2**, menggunakan 4 elektroda. Tahanan jenis

semu yang terukur dihitung berdasarkan persamaan (1)

$$\rho_{app} = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

dengan ρ_{app} merupakan tahanan jenis semu (*apparent resistivity*), ΔV merupakan beda potensial yang terukur antara elektroda P₁ dan P₂, I merupakan arus listrik yang terukur antara elektroda C₁ dan C₂ dan K merupakan faktor geometri konfigurasi elektroda. Pada konfigurasi ini arus diinjeksikan melalui elektroda A dan B. Sedangkan beda potensial diukur melalui elektroda M dan N. Beda potensial antara M dan N:

$$\Delta V = V_M - V_N \quad (2)$$

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (3)$$

$$\Delta V = \frac{\rho I}{\pi} \left[\frac{4MN}{(AB)^2 - (MN)^2} \right] \quad (4)$$

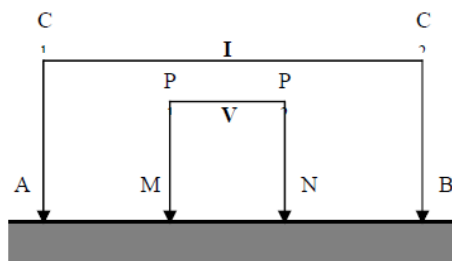
Maka nilai tahanan jenis yang diperoleh:

$$\rho = \frac{\pi}{4I} \left[\frac{(AB)^2 - (MN)^2}{MN} \right] \Delta V \quad (5)$$

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (6)$$

dengan,

$$K = \frac{\pi}{4} \left[\frac{(AB)^2 - (MN)^2}{MN} \right] \quad (7)$$

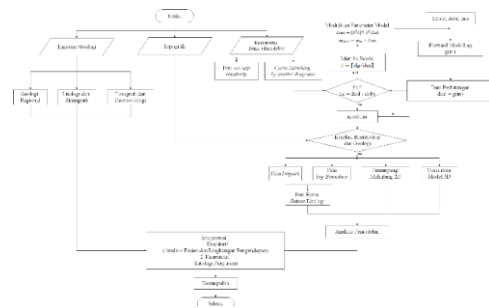


Gambar 2 Konfigurasi Schlumberger [10]

DIAGRAM ALIR

Analisis dan interpretasi data geolistrik dilakukan berdasarkan interpretasi *sounding* satu dimensi. Resistivitas semu yang diperoleh dari lapangan selanjutnya dilakukan proses *curve matching by master diagrams*. Kemudian mengorelasikan titik-titik VES menjadi penampang 2D dan visualisasi 3D. Hasil ini diperoleh dengan menyesuaikan model lingkungan pengendapan yang didukung dengan kondisi geologi daerah penelitian. Agar interpretasi dan analisis data geolistrik tidak bias maka diperlukan data

pendukung lainnya seperti data geologi, litologi dan stratigrafi dan fisiografi dan morfologi daerah penelitian. Desain penelitian dapat dijelaskan pada diagram alir berikut (Gambar 3).

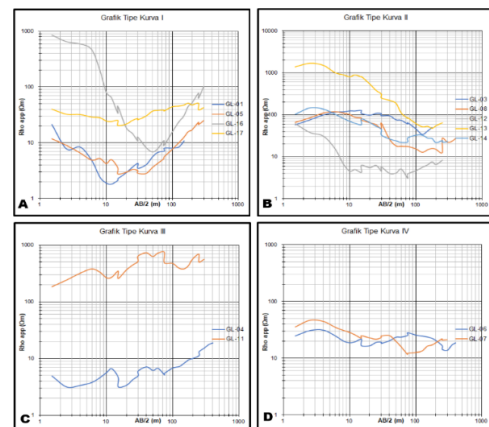


Gambar 3 Diagram alir penelitian tugas akhir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpretasi Kualitatif

Interpretasi kualitatif dari data *sounding* yaitu mencakup jenis kurva *sounding*, jumlah lapisan dan pendistribusian jenis-jenis ini pada daerah penelitian. Tipe kurva geolistrik resistivitas yang berhubungan dengan data VES untuk seluruh daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 4. Jenis kurva yang diidentifikasi berkisar dari tipe kurva H sampai QQH, QHA, HA, HK, KQQH, AAKQ yang mencerminkan fasies atau variasi litologi di daerah penelitian.



Gambar 4 Grafik tipe kurva resistivity (Ωm) terhadap jarak AB/2 (m) untuk (A), (B), (C) dan (D)

Grafik tipe kurva I yang kurva tahanan jenis diperoleh dari titik VES yang dilakukan titik pengukuran GL-01, GL-05, GL-16 dan GL-17 menunjukkan berbagai bentuk yang mungkin disebabkan oleh struktur geologi yang tidak teratur dan sifat material yang tidak homogen. Jenis kurva yang

diidentifikasi adalah QHA, QH, HA dan HK. Kurva resistivitas dari tipe kurva I memiliki empat hingga lima lapisan.

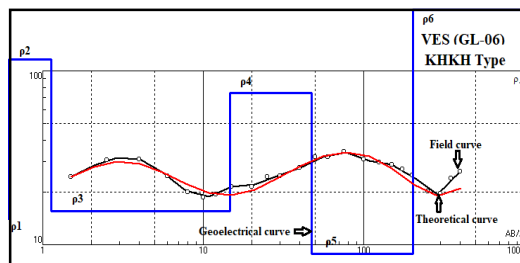
Grafik tipe kurva II yang kurva tahanan jenis diperoleh dari titik VES yang dilakukan titik pengukuran GL-03, GL-08, GL-12, GL-13, GL-14, GL-15 dan GL-18 menunjukkan berbagai bentuk yang mungkin disebabkan oleh variasi bahan bumi dalam formasi. Jenis kurva yang diidentifikasi adalah KHKH, KQH, HKH, QQH, HKHK dan KQQH. Kurva resistivitas dari tipe kurva II memiliki lima hingga enam lapisan.

Grafik tipe kurva III yang kurva tahanan jenis diperoleh dari titik VES yang dilakukan titik pengukuran GL-04 dan GL-11 menunjukkan berbagai bentuk yang mungkin disebabkan oleh variasi bahan bumi dalam formasi. Jenis kurva yang diidentifikasi adalah HA dan AAKQ. Kurva resistivitas dari tipe kurva III memiliki empat hingga enam lapisan.

Grafik tipe kurva IV yang kurva tahanan jenis diperoleh dari titik VES yang dilakukan titik pengukuran GL-06 dan GL-07 menunjukkan berbagai bentuk yang mungkin disebabkan oleh variasi bahan bumi dalam formasi. Jenis kurva yang diidentifikasi adalah KHKH. Kurva resistivitas dari tipe kurva IV memiliki enam lapisan.

Interpretasi Kuantitatif

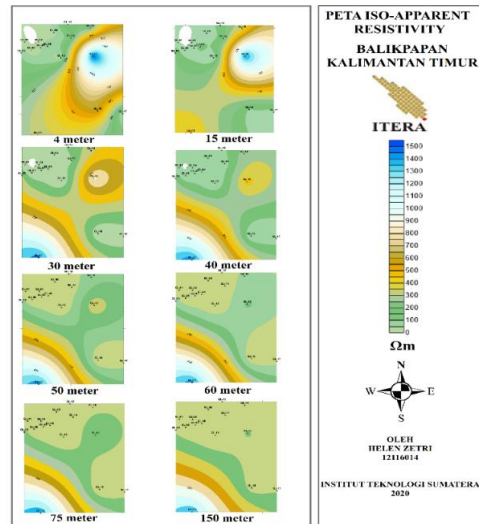
Interpretasi data geolistrik dilakukan seperti pada **Gambar 5**. Pengolahan data menggunakan metode *curve fitting*. Proses ini dilakukan dengan cara mencocokkan data kalkulasi (kurva merah) dengan data observasi (kurva hitam), kemudian harga resistivitas dan kedalaman akan ditunjukkan oleh garis parameter model (garis biru) seperti yang terlihat pada kotak kiri pada **Gambar 7**.



Gambar 5 Contoh hasil pengolahan data geolistrik 1D

Peta Iso Apparent Resistivity

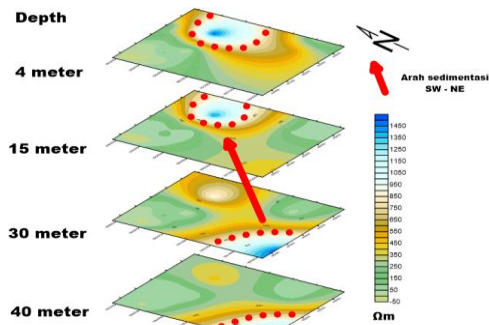
Peta *iso apparent resistivity* atau disebut juga peta iso resistivitas semu merupakan peta kontur garis-garis yang menghubungkan nilai resistivitas yang sama (**Gambar 6**). Peta iso resistivitas semu ini menunjukkan rentang harga resistivitas semu antara 0–1500 Ωm . Peta ini dapat menunjukkan distribusi harga resistivitas setiap titik pengukuran *sounding* dengan *level* kedalaman yang bervariasi.



Gambar 6 Peta *iso apparent resistivity* daerah penelitian

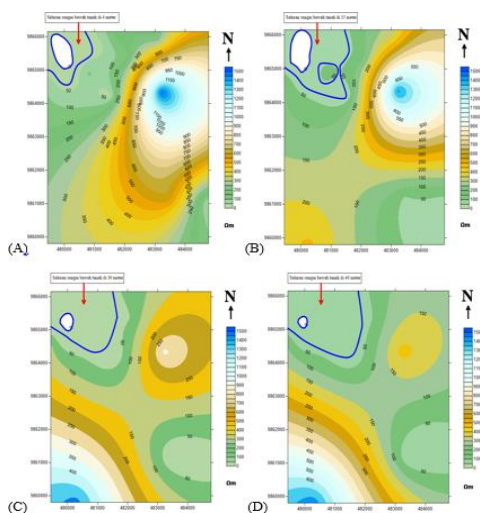
Harga resistivitas lebih besar dari 900 Ωm mengindikasikan tingkat kekompakan dan ukuran butir sedimen yang tinggi, kasar dan bersifat resistif. Nilai resistivitas antara rentang 300–900 Ωm mengindikasikan jenis sedimen dengan kekompakan dan ukuran butir menengah, sedang dan bersifat semi resistif. Harga resistivitas lebih rendah dari 300 Ωm mengindikasikan jenis sedimen yang tidak terkonsolidasi (*unconsolidated*) sehingga tidak kompak atau bersifat lepas, berbutir halus dan bersifat lebih konduktif.

Kontur resistivitas tinggi yang berkonsentrasi pada sisi Timur Laut pada kedalaman 4 meter dan kedalaman 15 meter bergerak menuju sisi Barat Daya pada level kedalaman 30 meter hingga level kedalaman 150 meter yang menunjukkan adanya perubahan keberadaan resistivitas tinggi. Hal ini dapat mengindikasikan proses dinamika sedimentasi di daerah penelitian (**Gambar 7**).



Gambar 7 Dinamika sedimentasi berdasarkan iso apparent resistivity

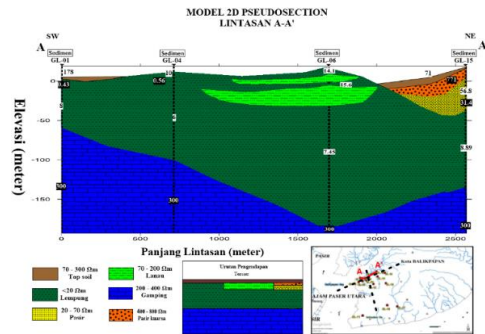
Tren harga resistivitas rendah bahkan di bawah $0 \Omega m$ yang berkonsentrasi pada bagian Barat Laut berfungsi sebagai media konduktif. Bahan dengan resistivitas sangat rendah (ditunjukkan kontur $20 \Omega m$ dan $30 \Omega m$) menunjukkan keberadaan *channel* (saluran sungai) yang mengalir pada kedalaman 4 meter hingga level kedalaman 40 meter ditunjukkan pada **Gambar 8** (A), (B), (C) dan (D).



Gambar 8 Peta iso apparent resistivity (A) kedalaman 4 meter, (B) kedalaman 15 meter, (C) kedalaman 30 meter dan (D) kedalaman 40 meter

Penampang Melintang 2D

Pada penelitian ini penampang melintang dibuat dalam 4 lintasan yaitu lintasan A-A' berarah Barat Daya – Timur Laut (**Gambar 9**), lintasan B-B' berarah Barat Daya – Timur Laut (**Gambar 10**), lintasan C-C' berarah Barat Laut – Tenggara (**Gambar 11**) dan lintasan D-D' berarah Barat Laut – Tenggara (**Gambar 12**). Lintasan-lintasan ini melalui Formasi Balikpapan dan Formasi Kampungbaru di daerah penelitian.



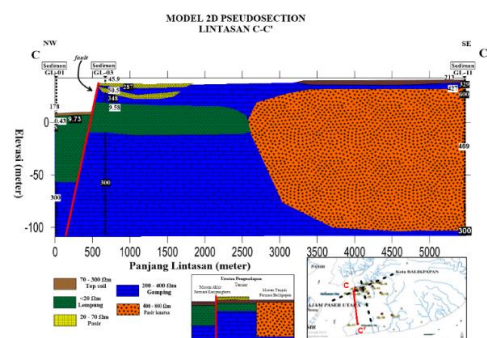
Gambar 9 Profil lintasan A-A' Southwest – Northeast

Lintasan A-A' melintasi titik pengukuran GL-01, GL-04, GL-06 dan GL-15. Pada penampang melintang tersebut terdapat beberapa jenis lapisan berdasarkan nilai resistivitasnya dengan rentang resistivitas $0.4-771 \Omega m$. Terdiri dari lapisan penutup, lempung, pasir, lanau, gamping dan pasir kuarsa. Lapisan penutup atau *top soil* pada permukaan titik pengukuran GL-01 dan GL-15 dengan rentang resistivitas $70-300 \Omega m$. Lempung berada di sepanjang lintasan memiliki rentang $\rho < 20 \Omega m$. Pasir memiliki harga resistivitas antara $20-70 \Omega m$ pada di titik pengukuran GL-15 berada pada ketinggian $15.3-3.8$ meter di atas permukaan yang membaji ke arah Barat Daya. Lanau pada lintasan ini melensa di titik pengukuran GL-06 dengan rentang resistivitas $70-200 \Omega m$. Gamping mempunyai harga resistivitas antara $200-400 \Omega m$ pada kedalaman $57-200$ meter dengan ketebalan 143 meter.

Struktur sedimen yang dijumpai adalah masif dan beberapa dijumpai struktur *wavy lamination lenticular* di mana batulanau menyisip dengan bentuk seperti lensa, pola sedimentasi cenderung menghalus ke atas (*fining upward*) serta lapisan sedimen yang membaji berupa batupasir, batupasir kuarsa dan tanah penutup dengan kontak erosional (*scour*) sebagai ciri endapan fasies *channel*. Keberadaan litologi batulanau dan batulempung mencirikan fasies *flood plain*. Lapisan sedimen klastik mengalami perubahan berangsur dari pasir menjadi lempung dan lanau sebagai tindak sortasi ukuran butir dan diendapkan ke tempat baru yang tertransportasi oleh media air. Selain itu, terdapat sedimen klastik kasar yaitu batupasir kuarsa akibat pelapukan mekanis yang menyebabkan hancurnya batuan tanpa mengubah komposisi kimia dan mineral asalnya (kuarsa). Berdasarkan karakteristik litologi, struktur yang dijumpai dan bentuk

Lintasan B-B' melintasi titik pengukuran GL-03, GL-05, GL-07, GL-08, GL-14 dan GL-18. Pada penampang melintang tersebut mempunyai harga resistivitas antara 3–1000 Ωm . Tersusun atas lapisan penutup, lempung, pasir, lanau gamping dan pasir kuarsa serta batubara yang membaji ke arah Barat Daya mempunyai harga resistivitas 1000 Ωm dengan ketebalan 1.6 meter. Lapisan penutup pada permukaan di titik pengukuran GL-14 dengan rentang resistivitas 70–300 Ωm . Lempung berada di sepanjang lintasan dan beberapa melensa dekat permukaan pada titik pengukuran GL-07 dengan $\rho < 20 \Omega\text{m}$. Pasir memiliki resistivitas 20–70 Ωm , beberapa dijumpai membaji di titik pengukuran GL-14 dan GL-03 serta dijumpai lapisan pasir melensa di titik pengukuran GL-07. Lanau dijumpai membaji ke arah Barat Daya dan dijumpai melensa di titik pengukuran GL-07 dengan resistivitas 70–200 Ωm . Gamping terbagi menjadi bagian-bagian terpisah pada bagian bawah (*bottom layer*) dan dekat permukaan, gamping mempunyai rentang resistivitas 200–400 Ωm . Terdapat lapisan tipis batupasir kuarsa di permukaan mempunyai rentang resistivitas 400–800 Ωm berada di titik pengukuran GL-05 dengan ketebalan 0.2 meter. Dijumpai lapisan batubara tipis dengan resistivitas 1000 Ωm berada di titik pengukuran GL-18 menvisip

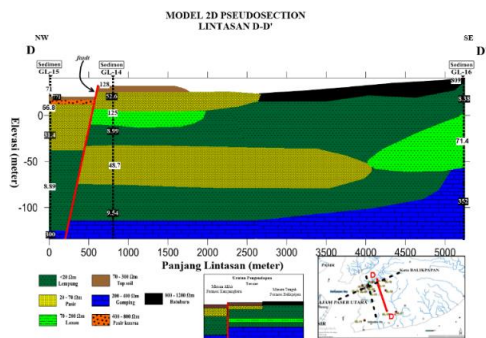
Struktur sedimen yang dijumpai masif dan beberapa dijumpai struktur *wavy lamination* di mana batugamping menyisip dengan bentuk seperti lensa dan membaji, lapisan sedimen klastik berupa batupasir dengan kontak erosional (*scour*) sebagai ciri endapan fasies *channel*. Hal ini didukung dengan keberadaan lintasan ini yang berada sejajar dengan sungai di sebelah Utara dari lintasan. Lapisan batulanau dan batulempung mencirikan fasies *flood plain*. Sedangkan batupasir dan batulanau berstruktur *lamination-cross bedding*, perlapisan tidak teratur ciri fasies *levee*. Lapisan batubara berasosiasi dengan batupasir sebagai *coal bearing* terbentuk pada fasies *backswamp*. Sedimen klastik kasar di permukaan yaitu pasir kuarsa akibat pelapukan mekanis. Litologi batugamping mengindikasikan proses sedimentasi dipengaruhi arus *tidal* berada pada fasies *intertidal flat*. Berdasarkan karakteristik litologi, struktur yang dijumpai, lintasan ini mengindikasikan adanya pengaruh traksi dan *tidal*. Berdasarkan asosiasi fasies tersebut, lintasan B-B' berada pada lingkungan pengendapan delta dan laut dangkal. Lintasan ini diduga dilewati oleh struktur geologi berupa sesar, sesar yang berada di antara titik pengukuran GL-07 dan GL-08. Sesar ini menunjukkan litologi pasir, lanau, lempung dan gamping yang terindikasi dilalui sesar, dimana lapisan tersebut sebagian berada di bagian atas lalu turun dan menebal di bagian bawah.



Lintasan C-C' melintasi titik pengukuran GL-01, GL-03 dan GL-11. Harga resistivitas antara 0.4–600 Ωm . Tersusun atas lapisan penutup, lempung, pasir, gamping dan pasir kuarsa. Lapisan penutup dijumpai membaji pada permukaan lintasan di titik pengukuran

GL-01 dan GL-11 dengan rentang resistivitas 70–300 Ωm . Lempung dijumpai melensa ke arah Tenggara dengan $\rho < 20 \Omega\text{m}$. Pasir menyisip lapisan gamping mempunyai harga resistivitas 20–70 Ωm di titik pengukuran GL-03. Gamping mempunyai harga resistivitas antara 200–400 Ωm berada di sepanjang lintasan dengan ketebalan 2–158 meter.

Struktur sedimen yang dijumpai masif dan dijumpai struktur *graded bedding*, di mana terdapat perselingan berulang antara pasir-gamping dan lempung-gamping dengan bentuk seperti lensa dengan kontak erosional (*scour*) sebagai ciri endapan fasies *channel*. Hal ini didukung dengan keberadaan lintasan ini yang berada sejajar dengan teluk Balikpapan di sebelah Barat dari lintasan. Berdasarkan karakteristik litologi dan struktur yang dijumpai mengindikasikan pengaruh arus traksi dan suspensi. Litologi batugamping mengindikasikan sedimentasi dipengaruhi arus *tidal* pada fasies *intertidal flat*. Berdasarkan asosiasi fasies tersebut, lintasan C-C' berada pada lingkungan pengendapan peralihan dan laut. Lintasan ini diduga dilewati oleh struktur geologi berupa sesar, sesar yang berada di antara titik pengukuran GL-01 dan GL-03. Sesar ini menunjukkan litologi lempung dan gamping yang terindikasi dilalui sesar, dimana lapisan tersebut di bagian atas lalu turun dan menebal ke bagian bawah mengarah ke Barat Laut.



Gambar 12 Profil lintasan D-D' Northwest – Southeast

Lintasan D-D' melintasi titik pengukuran GL-15, GL-14 dan GL-16. Harga resistivitas antara 8.38–809 Ωm . Terdiri atas lapisan penutup, lempung, pasir, lanau, gamping dan pasir kuarsa serta batubara. Lapisan penutup membaji pada permukaan lintasan di titik pengukuran GL-14 dengan rentang resistivitas 70–300 Ωm . Lempung dijumpai sebagai lapisan terpisah-pisah berada di sepanjang lintasan mempunyai $\rho < 20 \Omega\text{m}$.

Pasir dijumpai sebagai lapisan terpisah-pisah berada di sepanjang lintasan dengan kontak erosi mempunyai resistivitas 20–70 Ωm . Lanau melensa dan membaji ke arah Barat Laut memiliki resistivitas 70–200 Ωm . Gamping dijumpai terbagi menjadi bagian-bagian terpisah pada bagian bawah (*bottom layer*) mempunyai rentang resistivitas 200–400 Ωm dan pasir kuarsa tipis dekat permukaan mempunyai rentang resistivitas 400–800 Ωm di titik pengukuran GL-15. Dijumpai lapisan tipis batubara dengan ketebalan 3.52 meter mempunyai resistivitas 809 Ωm berada di titik pengukuran GL-16 yang membaji ke arah Barat Laut.

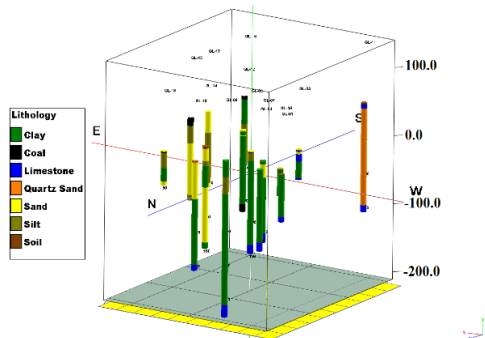
Struktur sedimen yang dijumpai masif dan dijumpai struktur *lenticular bedding* di mana batulanau dan lapisan tipis batubara berasosiasi dengan batulempung membaji ke arah Barat Laut serta dijumpai lapisan batupasir yang membaji ke arah Tenggara. Lapisan batubara pada lintasan ini, berasosiasi dengan batulempung sebagai *coal bearing* terbentuk pada fasies *swamp*. Keterdapat batugamping mengindikasikan proses sedimentasi dipengaruhi arus *tidal*, fasies *intertidal flat*. Berdasarkan karakteristik litologi, struktur yang dijumpai, lintasan ini mengindikasikan adanya pengaruh traksi dan *tidal*. Berdasarkan asosiasi fasies tersebut, lintasan D-D' berada pada lingkungan pengendapan peralihan dan laut. Lintasan ini diduga dilewati oleh struktur geologi berupa sesar, sesar yang berada di antara titik pengukuran GL-15 dan titik pengukuran GL-14. Sesar ini menunjukkan tanah penutup, litologi pasir, lempung dan gamping yang terindikasi dilalui sesar, dimana lapisan tersebut berada di bagian atas pada titik GL-14 lalu turun dan menebal ke bagian bawah mengarah ke Barat Laut pada titik GL-15.

Visualisasi Model 3D

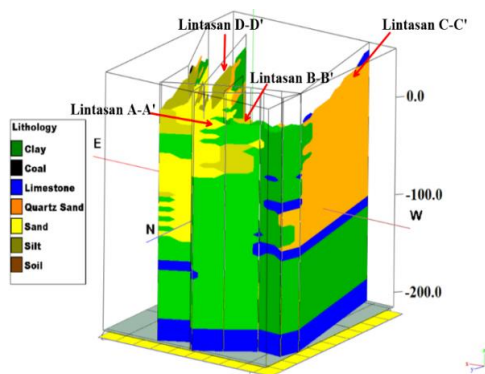
Sebanyak 15 titik *sounding* geolistrik tersebar pada daerah penelitian. Sebaran titik *sounding* menunjukkan distribusi harga tahanan jenis terhadap kedalaman masing-masing titik pengukuran. Berikut model sebaran titik *sounding* seperti pada **Gambar 13**.

Setelah mengetahui distribusi harga tahanan jenis dari masing-masing titik pengukuran. Dilakukan korelasi antar titik *sounding* menjadi 4 lintasan. Pada daerah penelitian terdapat dua lintasan berarah Barat Daya –

Timur Laut dan dua lintasan berarah Barat Laut – Tenggara seperti **Gambar 14**.

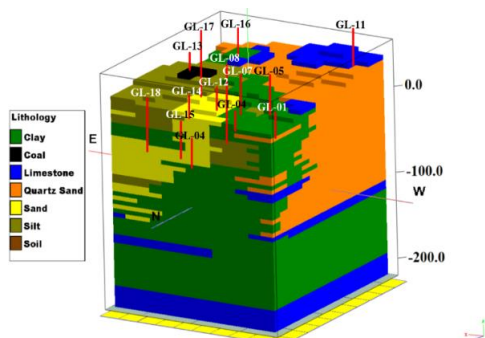


Gambar 13 Model sebaran titik *sounding* daerah penelitian



Gambar 14 Korelasi model 3D semua lintasan daerah penelitian

Lintasan atau penampang melintang 2D selanjutnya dihubungkan sehingga dapat divisualisasikan ke dalam bentuk model 3D seperti terlihat pada **Gambar 15**. Model tersebut memperlihatkan litologi secara lateral dan vertikal dari korelasi titik-titik *sounding* yang menunjukkan sebaran fasies dan lingkungan pengendapan di daerah penelitian. Secara umum lokasi penelitian didominasi oleh batuan sedimen klastik seperti batulempung dan batupasir serta bahan sedimen organik berupa batugamping.



Gambar 15 Model 3D resistivitas daerah penelitian

Fasies dan Asosiasi Fasies

Penyusunan stratigrafi daerah telitian didasarkan pada kesatuan ciri litologi dominan yang ada di daerah telitian. Secara umum, daerah telitian disusun oleh litologi batulempung dan batugamping. Akan tetapi, berdasarkan hasil pengamatan litologi terhadap penampang, sehingga didapatkan 4 (empat) satuan batuan yang menyusun stratigrafi daerah telitian (**Gambar 16**).

Penamaan satuan batuan mengikuti tata nama satuan litostratigrafi tidak resmi menurut Sandi Stratigrafi Indonesia [11], dengan urutan dari tua sampai muda, sebagai berikut:

- Satuan batugamping Balikpapan
- Satuan batulempung pembawa lapisan batubara Balikpapan
- Satuan batugamping Kampungbaru
- Satuan batulempung sisipan batupasir batubara Kampungbaru

Satuan Litologi	Pemerian	Formasi	Umur	Lingkungan Pengendapan	Muka Laut
Satuan batulempung sisipan batupasir-batubara Kampungbaru	Satuan ini didominasi oleh batulempung, sisipan batupasir, batugamping dan batubara. Struktur sedimen <i>very lenticular, massive medium</i> . Struktur ini diinterpretasikan sebagai <i>gravity flow</i> pada dasar didominasi <i>distal-lower channel</i> dengan kontak erisional (<i>lower</i>) sebagai <i>sedagap channel</i> . Batubara asosiasi batugamping pada fasies <i>lockdown</i> .	Formasi Kampungbaru	Miosen Akhir – Pliosen	Delta dan Laut Dangkal	Regressif
Satuan batugamping Kampungbaru	Satuan ini didominasi oleh batugamping. Struktur sedimen batugamping masif, fasies <i>tidal channel</i> . Berdasarkan litologi penyusunnya terbentuk di lingkungan pasang surut dengan energi transportasi yang tinggi.	Formasi Kampungbaru	Miosen Akhir		
Satuan batulempung pembawa lapisan-batubara Balikpapan	Satuan ini didominasi oleh batulempung, sisipan batupasir, batubara berstruktur <i>laminations-coarse bedding, trace levee</i> . Struktur <i>fine-lenticular-very claystone interbedded silstone</i> kontak erisional (<i>lower</i>) sebagai <i>overbank</i> dan <i>channel</i> . Batubara asosiasi dengan batulempung pada fasies <i>swamp</i> .	Formasi Balikpapan	Miosen Tengah – Akhir	Litoral - Laut Dangkal	Regressif
Satuan batugamping Balikpapan	Satuan ini didominasi oleh litologi batugamping. Struktur sedimen yang dominan adalah batugamping masif diperkirakan sebagai fasies <i>tidal channel</i> . Berdasarkan litologi penyusunnya diinterpretasikan terbentuk di lingkungan pasang surut dengan energi transportasi tinggi.	Formasi Balikpapan	Miosen Tengah – Akhir		

Gambar 16 Kolom kesebandingan satuan litologi daerah penelitian

Satuan batugamping Balikpapan

Satuan ini didominasi oleh batugamping. Struktur sedimen yaitu batugamping masif sebagai fasies *tidal channel* diinterpretasikan terbentuk di lingkungan pasang surut dengan energi transportasi yang tinggi. Berdasarkan kedudukan stratigrafi di mana satuan ini merupakan satuan tertua di daerah telitian dan kesebandingan dengan daerah sekitarnya secara regional. Hal ini didasarkan ciri litologi penyusun satuan batuan yang didominasi batugamping, yang memiliki kesamaan dengan ciri litologi Formasi Balikpapan [12].

Satuan batulempung pembawa lapisan batubara Balikpapan

Satuan ini didominasi oleh batulempung, dengan sisipan batulanau dan batubara,

ditemukan batupasir dan batulanau berstruktur *lamination-cross bedding*, perlapisan tidak teratur berada pada fasies *levee*. Batulempung berstruktur *flaser-lenticular-wavy claystone interbedded siltstone* dan tidak teratur dengan kontak erosional (*scour*) sebagai endapan *channel*. Batubara terbentuk pada lingkungan tertentu seperti *swamp* atau *marsh* yang dipengaruhi proses-proses reduksi yang dapat menghasilkannya. Batubara terbentuk bersamaan dengan bahan anorganik umumnya berupa sedimen klastik halus seperti batulempung, batulanau dan batupasir. Asosiasi batuan tersebut merupakan lapisan sedimen pembawa batubara (*coal bearing*). Proses pembentukan batubara merupakan proses yang kompleks dengan lingkungan pengendapan yang khas. Dijumpai lapisan batubara pada satuan ini, berasosiasi dengan batulempung terbentuk pada fasies *swamp*. Berdasarkan kedudukan stratigrafi di mana satuan ini merupakan satuan di atas Satuan batugamping Balikpapan dan kesebandingan dengan daerah sekitarnya secara regional, maka diperoleh umur satuan batulempung Balikpapan adalah berumur Miosen Tengah bagian atas hingga Miosen Akhir bagian bawah [12].

Satuan batugamping Kampungbaru

Satuan ini didominasi oleh litologi berupa batugamping. Struktur sedimen yaitu batugamping masif berada pada fasies *tidal channel* diinterpretasikan terbentuk di lingkungan pasang surut dengan energi transportasi yang tinggi. Berdasarkan kedudukan stratigrafi di mana satuan ini berada di atas Satuan batulempung pembawa lapisan batubara Balikpapan dan kesamaan ciri litologi dengan daerah sekitarnya secara regional. Adanya kesamaan ciri litologi dari Satuan batugamping Kampungbaru dengan ciri litologi penyusun dari Formasi Kampungbaru, sehingga dalam penentuan umur satuan ini dapat mengacu dari hal tersebut. Formasi Kampungbaru berumur Miosen Akhir hingga Pliosen [12].

Satuan batulempung sisipan batupasir batubara Kampungbaru

Satuan ini didominasi oleh batulempung, dengan sisipan batulanau, batupasir dan batubara. Struktur sedimen yaitu

batulempung berstruktur *wavy lenticular* yaitu batulempung bergelombang dengan sisipan batulanau dengan bentuk seperti lensa, batupasir berstruktur masif (*massive sandstone*) yaitu masif, batupasir tidak berlapis, dengan fragmen batubara. Struktur ini diinterpretasikan sebagai hasil sedimen *gravity flow* pada *fluvial dominated distributary channel* sebagai hasil dari suatu timbunan yang runtuh dan atau pergerakan air yang melarutkan butiran yang saling bertabrakan dengan kontak erosional (*scour*) sebagai endapan *channel*. Batubara terbentuk pada lingkungan tertentu *swamp* atau *marsh* yang dipengaruhi proses-proses reduksi yang dapat menghasilkannya. Batubara terbentuk bersamaan dengan bahan anorganik umumnya berupa sedimen klastik halus. Proses pembentukan batubara merupakan proses yang kompleks dengan lingkungan pengendapan yang khas. Dijumpai lapisan batubara pada satuan ini, berasosiasi dengan batulempung sebagai *coal bearing* terbentuk pada fasies *backswamp*. Berdasarkan kedudukan stratigrafi di mana satuan ini merupakan satuan di atas Satuan batugamping Kampungbaru dan kesebandingan dengan daerah sekitarnya secara regional, maka diperoleh umur satuan batulempung sisipan batupasir-batubara Kampungbaru adalah berumur Miosen Tengah bagian atas hingga Miosen Akhir bagian bawah [12].

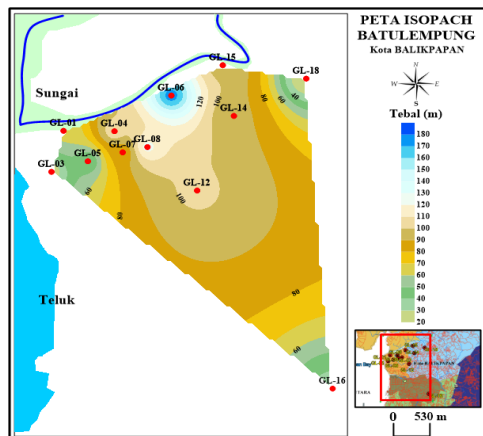
Dinamika mekanisme pengendapan bergantung pada proses arus pasang surut dan aliran sungai yang berada pada daerah penelitian. Menurut hukum superposisi oleh Steno bahwa urutan perlapisan batuan yang terletak di bawah umumnya relatif lebih tua dibandingkan lapisan diatasnya selama keadaan normal maksudnya lapisan tersebut belum mengalami deformasi. Sehingga urutan pengendapan daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 17**.

Satuan Litologi	Simbol	Ketebalan	Formasi	Umur	Lingkungan Pengendapan	Muka Laut
Satuan batulempung sisipan batupasir-batubara Kampungbaru	Lempung tipis lanau Batupasir Batubara	± 150 meter ± 25 meter ± 2 meter	Formasi Kampungbaru	Miosen Akhir - Pliosen	Delta dan Laut Dalam	Regresif
Satuan batugamping Kampungbaru	Batugamping	± 100 meter				
Satuan batulempung-pembawa-lapisan-batubara Balikpapan	Lempung tipis lanau Batubara	± 50 meter ± 2 meter	Formasi Balikpapan	Miosen Tengah - Akhir	Litoral - Laut Dalam	Regresif (dalam Transgresif)
Satuan batugamping Balikpapan	Batugamping	± 100 meter				

Gambar 17 Kolom stratigrafi satuan litologi daerah penelitian

Peta *Isopach* dan Peta *Top Boundary*

Peta *isopach* batulempung (**Gambar 18**) mempunyai ketebalan mulai 20-180 meter. Lapisan batulempung yang paling tebal berada pada titik pengukuran GL-06 yaitu 163 meter, sedangkan lapisan batulempung yang paling tipis terdapat pada titik pengukuran GL-18 yaitu 19,7 meter mempunyai pola ketebalan secara gradual dari sisi Barat, Timur dan Tenggara semakin tebal menuju ke bagian Utara atau mendekati sungai.

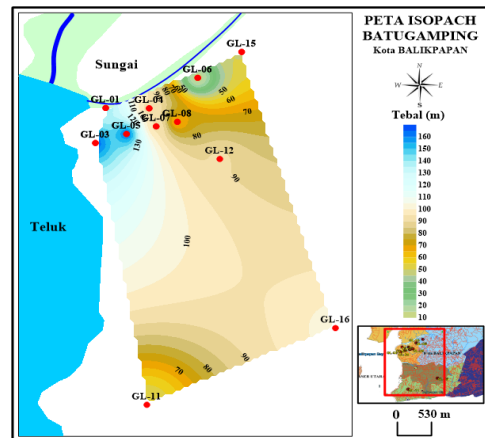


Gambar 18 Peta *isopach* batulempung

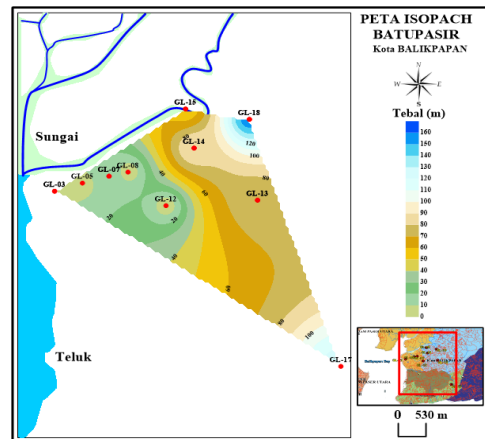
Peta *isopach* batugamping (**Gambar 19**) mempunyai ketebalan mulai 10-160 meter. Lapisan batugamping yang paling tebal berada pada titik pengukuran GL-05 yaitu 160,3 meter, sedangkan lapisan batugamping yang paling tipis terdapat pada titik pengukuran GL-06 yaitu 12 meter. Pola ketebalan batugamping yang semakin menebal ke arah Barat khususnya bagian Barat Laut pada wilayah studi. Lokasi batugamping yang paling tebal berada dekat dengan Teluk Balikpapan yang berada di sebelah Barat wilayah studi. Di mana, keberadaan batugamping pada wilayah studi sangat dipengaruhi oleh aktivitas arus *tidal* atau pasang surut.

Peta *isopach* batupasir (**Gambar 20**) mempunyai ketebalan mulai 0-160 meter. Lapisan batupasir yang paling tebal berada pada titik pengukuran GL-18 yaitu 155,8 meter, sedangkan lapisan batupasir yang paling tipis terdapat pada titik pengukuran GL-03 yaitu 4,92 meter. Pola ketebalan yang semakin menebal ke arah Timur Laut dan Tenggara pada wilayah studi. Lokasi batupasir yang paling tebal berada dekat dengan belokan aliran sungai yang berada di

sebelah Utara wilayah studi. Di mana, keberadaan batupasir pada wilayah studi sangat dipengaruhi oleh aktivitas *channel* atau saluran sungai.



Gambar 19 Peta *isopach* batugamping

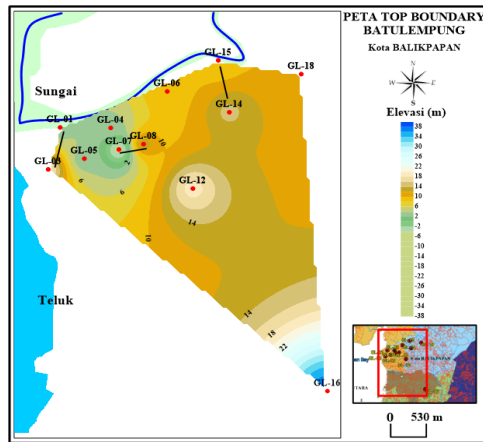


Gambar 20 Peta *isopach* batupasir

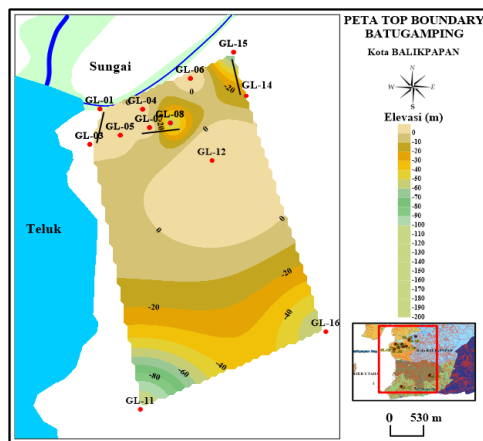
Berikut peta *top boundary* batulempung, batugamping dan batupasir yang berada pada wilayah studi. Peta *top boundary* batulempung (**Gambar 21**) mulai dari kedalaman -38 meter hingga ketinggian 38 meter. Lapisan batulempung yang paling tinggi terdapat pada titik pengukuran GL-16 yaitu 37,48 meter, sedangkan lapisan batulempung yang paling rendah berada pada titik pengukuran GL-15 yaitu -37.8 meter mempunyai pola ketinggian yang bergerak dari sisi Barat Laut menuju sisi Tenggara menunjukkan elevasi yang semakin tinggi.

Peta *top boundary* batugamping (**Gambar 22**) mulai dari kedalaman -200 meter hingga ketinggian 0 meter. Lapisan batugamping paling tinggi terdapat pada titik pengukuran GL-03 yaitu -6.1 meter, sedangkan lapisan batugamping paling rendah berada pada titik pengukuran GL-06 yaitu -193 meter

mempunyai pola ketinggian secara gradual dari arah Selatan semakin tinggi menuju ke bagian Utara, mempunyai elevasi yang semakin rendah pada bagian Selatan daerah penelitian.



Gambar 21 Peta *top boundary* batulempung

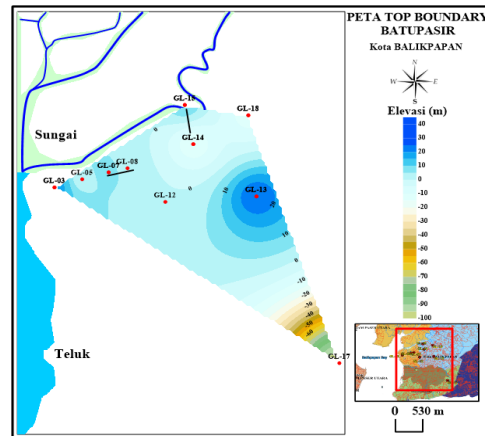


Gambar 22 Peta *top boundary* batugamping

Peta *top boundary* batupasir (**Gambar 23**) antara kedalaman -100 meter hingga ketinggian 40 meter. Lapisan batupasir paling tinggi terdapat pada titik pengukuran GL-03 yaitu 36 meter, sedangkan lapisan batupasir paling rendah berada pada titik pengukuran GL-17 yaitu -98 meter mempunyai elevasi rendah di bagian Tenggara dan mempunyai elevasi tinggi di bagian Timur pada wilayah studi.

Berdasarkan peta *isopach* dan peta *top boundary* batulempung (**Gambar 18** dan **Gambar 21**) menunjukkan bahwa arah pengendapan yaitu dari arah Tenggara menuju ke Utara. Wilayah studi Utara memiliki endapan material lempung yang cukup tebal dan ketinggian cukup rendah dibandingkan dengan material sedimen yang berasal dari arah Tenggara dengan

endapan yang relatif tipis berada pada ketinggian yang tinggi.



Gambar 23 Peta *top boundary* batupasir

Berdasarkan kedua peta ini, mengindikasikan keberadaan endapan material sedimen lempung yang paling tebal dan dalam berada di bagian Utara atau mendekati sungai wilayah studi. Keberadaan batulempung di daerah penelitian berasal dari pasokan material sedimen yang berasal dari aktivitas sungai atau endapan *channel*.

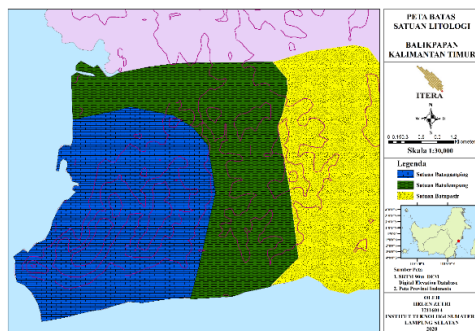
Berdasarkan peta *isopach* dan peta *top boundary* batugamping (**Gambar 19** dan **Gambar 22**) menunjukkan bahwa arah pengendapan yaitu Barat – Timur. Wilayah studi Barat memiliki endapan material gamping yang cukup tebal dan elevasi cukup rendah dibandingkan dengan material sedimen yang berada pada bagian Timur khususnya Timur Laut dengan endapan yang relatif tipis dengan elevasi yang rendah.

Berdasarkan kedua peta ini, mengindikasikan keberadaan endapan material sedimen gamping yang paling tebal dan dalam berada di bagian Barat atau dekat dengan delta wilayah studi. Keberadaan batugamping mengindikasikan adanya transgresi (muka air laut naik) yang terjadi di daerah penelitian. Arah arus pasang-surut dan pengaruh Teluk Balikpapan yang sama dengan arah sedimentasi material gamping.

Berdasarkan peta *isopach* dan peta *top boundary* batupasir (**Gambar 20** dan **Gambar 23**) menunjukkan bahwa arah pengendapan yaitu Timur – Barat. Wilayah studi Timur memiliki endapan material pasir yang cukup tebal dan elevasi cukup rendah dibandingkan dengan material sedimen yang berada pada bagian Barat dengan endapan yang relatif tipis berada pada elevasi

rendah. Berdasarkan kedua peta ini, mengindikasikan keberadaan endapan material sedimen pasir yang paling tebal dan dalam berada di bagian Timur atau mendekati belokan sungai wilayah studi. Keberadaan batupasir di daerah penelitian berasal dari pasokan material sedimen yang berasal dari aktivitas sungai atau endapan *channel*. Arah aliran sungai dari Timur Laut ke Barat Daya, sungai yang menjadi pemasok endapan material pasir.

Berdasarkan korespondensi dari peta *isopach* dan peta *top boundary* maka dapat dibuat peta batas satuan litologi (**Gambar 24**). Batulempung mendominasi di bagian Utara daerah penelitian, di mana pasokan material sedimen yang berasal dari aktivitas sungai atau endapan *channel*. Batugamping mendominasi di bagian Barat daerah penelitian, di mana pasokan material sedimen gamping berasal dari aktivitas delta. Serta batupasir yang mendominasi di bagian Timur daerah penelitian, di mana pasokan material sedimen yang berasal dari aktivitas sungai atau endapan *channel*.



Gambar 24 Peta batas satuan litologi

Lingkungan Pengendapan

Lingkungan pengendapan dilakukan untuk melihat dinamika sedimentasi, analisis fasies dan lingkungan pengendapan area tepi sungai dekat pesisir daerah penelitian. Lingkungan pengendapan pembentukan dataran berhubungan dengan ukuran butir batuan hasil proses sedimentasi, yang pada akhirnya membentuk stratigrafi tertentu pula. Berbagai jenis sedimen terendapkan di lokasi penelitian, seperti lapisan penutup, lempung, pasir, gamping, pasir kuarsa, lanau dan batubara.

Umumnya deposisi keseluruhan dalam penampang dan model 3D dapat dibagi menjadi dua periode. Periode pertama melibatkan pengendapan litologi kasar yang

mengindikasikan kondisi energi tinggi, sedangkan periode kedua terdiri dari litologi halus yang dikaitkan dengan kondisi energi rendah, dalam kedua periode pengendapan ada bukti aktivitas saluran sungai pada sisi Barat Laut yang didominasi kehadiran sedimen halus yaitu lensa lempung dan lanau.

Visualisasi model 3D memperlihatkan batuan dasar yang memengaruhi deposisi multi-periode litologi gamping dengan aktivitas muka air laut sebagai hasil endapan laut dangkal. Selanjutnya, periode ini berisi lensa sedimen kasar yang ditunjukkan oleh model di wilayah studi. Keseluruhan menunjukkan aktivitas aliran tinggi (endapan laut dangkal) ke segala arah. Kemudian, pengaruh topografi ditunjukkan oleh adanya litologi kasar disertai dengan beberapa dominasi yang lebih halus (lensa lanau) yang terkait variasi aliran sungai sedangkan di sisi Barat keberadaan lempung masif diendapkan tepat di atas batuan dasar.

Wilayah studi terdiri dari Formasi Balikpapan dan Formasi Kumpangbaru. Formasi Balikpapan berumur Miosen Akhir bagian bawah – Miosen Tengah bagian atas. Formasi ini terdiri dari siklus endapan laut dangkal yang membentuk batuan sedimen klastik dan batuan sedimen biokimiawi. Pada lingkungan pengendapan laut dangkal saat persediaan sedimen di daratan diangkut menuju laut maka perselingan pasir, lempung dan lanau akan diendapkan. Endapan ini terkompaksi, diagenesa, sementasi dan menjadi batuan sedimen klastik. Batugamping merupakan batuan sedimen biokimiawi/organik. Keberadaan gamping dan hubungannya dengan kandungan material organik yang melimpah mengindikasikan sebuah lingkungan dengan proses pengawetan material organik sangat baik dengan sirkulasi terbatas. Detritus organik berupa sisipan gamping mengandung mineral kalsit sebagai akibat akumulasi kerangka cangkang (*shell*) organisme merupakan indikasi akumulasi arus suspensi selama pasang-surut tertinggi (*high spring tides*) dengan kondisi energi tenang [13]. Kondisi tersebut hanya dapat terjadi pada lingkungan pengendapan laut dangkal. Lingkungan ini berada pada garis pantai hingga ke batas tepi benua. Apabila daratan jauh, jumlah sedimen yang diangkut sedikit dan proses biokimiawi mendominasi. Air hangat dan dangkal merupakan tempat ideal bagi organisme yang membangun cangkang

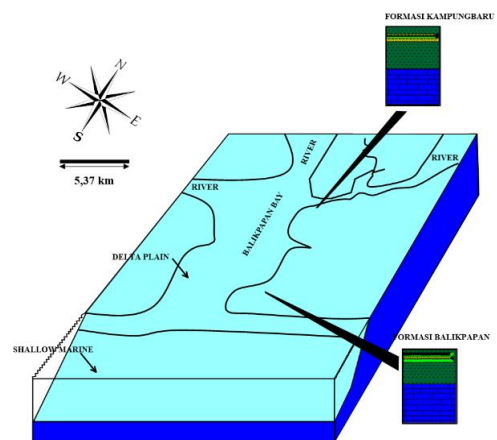
karbonatnya. Saat cangkang mati dan tenggelam membentuk lapisan karbonat yang jika mengalami litifikasi (pembatuan) akan menjadi batugamping.

Formasi Kampungbaru berumur Miosen Akhir - Pliosen. Formasi ini terdiri dari endapan delta yang membentuk batuan sedimen klastik dan siklus endapan laut dangkal yang membentuk batuan sedimen biokimiawi. Partikel batuan sedimen klastik dalam pasir, lempung, serpih dan lanau diangkut oleh air membentuk lapisan ke tempat yang rendah. Proses ini sebagai tindak pemilahan ukuran butir dan diendapkan kembali ke tempat baru. Sedimen ini diangkut oleh sungai lalu diendapkan membentuk delta. Endapan ini terkompaksi, diagenesa, sementasi dan menjadi batuan sedimen klastik. Batuan sedimen biokimiawi/organik seperti gamping dan batubara. Batubara terbentuk dari akumulasi tanaman mati (sisa-sisa tanaman tropis yang terpanaskan) di lingkungan miskin O_2 . Keberadaan gamping dan hubungannya dengan kandungan material organik yang melimpah mengindikasikan sebuah lingkungan dengan proses pengawetan material organik sangat baik dengan sirkulasi terbatas. Lingkungan ini berada pada lingkungan pengendapan laut dangkal. Air hangat dan dangkal merupakan tempat ideal bagi organisme yang membangun cangkang karbonatnya. Apabila daratan jauh, jumlah sedimen yang diangkut sedikit dan proses biokimiawi mendominasi. Saat cangkang mati dan tenggelam membentuk lapisan karbonat yang jika mengalami litifikasi (pembatuan) akan menjadi batugamping. Bagian paling bawah Formasi Kampungbaru terdapat gamping yang diendapkan di lingkungan laut dangkal. Kemudian disusul endapan dataran delta yang terdiri atas pasir hasil endapan *channel* dengan lempung, serpih dan lanau serta batubara.

Berdasarkan penampang melintang 2D dan visualisasi model 3D diketahui bahwa di sebelah Selatan daerah penelitian tersusun oleh Formasi Balikpapan. Di bagian Utara dari daerah penelitian, formasi ini ditumpangi oleh Formasi Kampungbaru yang sebagian ditutupi oleh endapan aluvial. Batuan yang telah tersingkap di permukaan sebagian besar telah mengalami pelapukan menjadi tanah. Daerah penelitian mempunyai struktur geologi berupa sesar. Struktur ini terjadi setelah pengendapan Formasi Kampungbaru

pada saat Pliosen. Interpretasi tersebut didasarkan pada fakta bahwa Formasi Kampungbaru mempunyai kemiringan searah dengan besar sudut kemiringan yang relatif sama dengan Formasi Balikpapan di bagian bawahnya.

Wilayah studi, diendapkan pada lingkungan pengendapan peralihan yaitu delta dan litoral dan lingkungan pengendapan laut yaitu laut dangkal (**Gambar 25**). Di mana, Satuan batugamping Balikpapan dan Satuan batulempung pembawa lapisan batubara Balikpapan dibandingkan dengan Formasi Balikpapan diendapkan di lingkungan pengendapan litoral-laut dangkal dan dalam Peta Geologi Lembar Balikpapan diendapkan di lingkungan litoral-laut dangkal, sedangkan Satuan batugamping Kampungbaru dan Satuan batulempung sisipan batupasir batubara Kampungbaru dibandingkan dengan Formasi Kampungbaru diendapkan di daerah peralihan dan *marine* dengan lingkungan pengendapan delta dan laut dangkal yang terletak pada interaksi antara sungai dan laut dan dalam Peta Geologi Lembar Balikpapan diendapkan di lingkungan delta dan laut dangkal.



Gambar 25 Lingkungan pengendapan daerah penelitian

Kesimpulan

1. Daerah penelitian mempunyai rentang resistivitas 0,4-1635 Ωm . Di mana $\rho < 20 \Omega m$ diduga lempung, 20–70 Ωm diduga pasir, 70–300 Ωm diduga *top soil*, 70–200 Ωm diduga lanau, 200–400 Ωm diduga gamping, 400–800 Ωm diduga pasir kuarsa dan $\rho > 800 \Omega m$ diduga batubara;
2. Delineasi dinamika sedimentasi daerah penelitian dari sisi Barat Daya menuju

- sisi Timur Laut. Ditandai dengan perubahan posisi material resistif pada kedalaman 4 meter hingga 150 meter di bawah permukaan tanah;
3. Analisis fasies dibagi menjadi empat satuan batuan, berturut-turut dari tua ke muda yaitu Satuan batugamping Balikpapan kemudian terendapkan Satuan batulempung pembawa lapisan batubara Balikpapan kemudian di atasnya terendapkan Satuan batugamping Kampungbaru yang terletak tidak selaras lalu diendapkan Satuan batulempung sisipan batupasir-batubara Kampungbaru; dan
 4. Wilayah studi, diendapkan pada lingkungan pengendapan transisi yaitu *delta plain* dan lingkungan pengendapan laut yaitu *shallow marine*. Di mana, Satuan batugamping Balikpapan dan Satuan batulempung-pembawa-lapisan-batubara Balikpapan dibandingkan dengan Formasi Balikpapan dengan lingkungan pengendapan laut dangkal sedangkan Satuan batugamping Kampungbaru yang terletak tidak selaras lalu diendapkan Satuan batulempung sisipan batupasir-batubara Kampungbaru dibandingkan dengan Formasi Kampungbaru dengan lingkungan pengendapan delta dan laut dangkal.

Saran

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan dari penelitian ini, maka disarankan untuk penelitian selanjutnya dilakukan kombinasi data VES (*Vertical Electrical Sounding*) dengan data lain seperti data log bor, analisis laboratorium (analisis petrografi dan paleontologi) guna memperkuat hasil interpretasi dalam delineasi dinamika sedimentasi, analisis fasies dan lingkungan pengendapan daerah penelitian.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PDAM Balikpapan selaku instansi yang telah bersedia memberikan data dan terima kasih juga kepada Dr. Ir. Agus Laesanpura, M.S dan Rizka S.T., M.T sebagai pembimbing 1 dan 2 yang telah memberikan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] H. Umar and C. Ikhwan, "Dinamika Sedimentasi dan Lingkungan Pengendapan Berdasarkan Litofasies Daerah Air Putih, Kecamatan Samarinda Ulu, Kota Samarinda," Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV, hal. 52–59, November 2017.
- [2] A. S. Budhi, "Studi Regional Cekungan Batubara Daerah Pesisir Kalimantan Timur." PPGL, Bandung, hal. 1–7, 1999.
- [3] W. D. Santoso, Ronald, R. Kapid, and Y. Rizal, "Interpretasi Lingkungan Pengendapan Batubara Formasi Balikpapan di Daerah Kambang Janggut, Kecamatan Muara Ancalong, Kabupaten Kutai Timur, Kalimantan Timur," Buletin Geologi, Bandung, 2015.
- [4] Z. Renaldo, "Geologi dan Karakteristik Reservoir Serta Perhitungan Cadangan Lapisan 'Z-12' Formasi Balikpapan Lapangan 'Kobes' Cekungan Kutai Kalimantan Timur Berdasarkan Data Log Sumur." UPN Veteran, Yogyakarta, 2014.
- [5] S. B. Meta, "Geologi dan Pengaruh Lingkungan Pengendapan Terhadap Ketebalan Lapisan Batubara, di Formasi Balikpapan, Desa Tepok, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur," vol. 53, no. 9, hal. 1689–1699, 2019.
- [6] I. N. Simpen and N. N. Pujianiki, "Aplikasi Geolistrik pada Pemetaan Daerah Intrusi Air Laut di Pantai Candidasa," Media Komunikasi Teknik Sipil, vol. 24, no. 1, hal. 29–34, 2018.
- [7] A. T. Batayneh, "Application of Geoelectric Methods on Paleoenvironments of the Qa'el-Jufr Lake, Southeastern Jordan Plateau," King Saud University, vol. 23, no. 4, hal. 381–388, 2011.

- [8] U. Bin Nisar, "Quaternary Paleodepositional Environments in Relation to Ground Water Occurrence in Lesser Himalayan Region, Pakistan," *Journal of Himalayan Earth Sciences*, vol. 51, no. 1, hal. 99–112, 2018.
- [9] R. T. Haworth, *Principles of applied geophysics*, New York: Methuen & Co. Ltd, 1988.
- [10] T. Yulianto and S. Widodo, "Identifikasi Penyebaran dan Ketebalan Batubara Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas (Studi Kasus Daerah X Kabupaten Kuati Kertanegara Kalimantan Timur)," *Berkala Fisika*, vol. 11, no. 2, hal. 59–66, 2008.
- [11] S. Martodjojo and Djuhaeni, "Sandi Stratigrafi Indonesia." Ikatan Ahli Geologi Indonesia, hal. 1–34, 1996.
- [12] S. Hidayat and I. Umar, "Peta Geologi Lembar Balikpapan, Kalimantan." Pusat Survei Geologi, Bandung, 1994.
- [13] D. V. Mamengko, B. Muljana, and Y. A. Sendjaja, "Analisis Fasies dan Lingkungan Pengendapan Formasi Mamberamo 'B' di Cekungan Papua Utara Sebagai Kandidat Source Rock." Seminar Nasional Fakultas Teknik Geologi, hal. 374–387, 2014.