

# Pemodelan Metode Resistivitas 4D untuk Identifikasi Penyebab Longsor di Wilayah Asrama Kampus Lapangan Geologi Karangasambung

Azelia Maudine Khadijah Fahira<sup>1\*</sup>, Iskandarsyah<sup>1</sup>, Agus Kuswanto<sup>2</sup>, Junaedi Abdulah<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Geofisika, Departemen Geosains, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, 16424, Indonesia

<sup>2</sup> PT Geoscan Eksplorasi, Pusat Niaga Ubertos Kav. B21, Kota Bandung, Jawa Barat, 40611, Indonesia

\*Corresponding author: azeliamaudine99@gmail.com

## Abstrak

Tanah longsor di Asrama Kampus Lapangan Geologi Karangasambung yang terjadi di bulan Agustus - November 2022 menyebabkan tembok turap bergeser hingga membelok. Pada Agustus 2023, pergeseran tembok turap sekitar 1,5 meter kembali terjadi pada zona yang mengalami longsor sebelumnya. Litologi di bawah permukaan didominasi batulempung yang sulit mengalirkan air tanah. Pengamatan sumur pompa menunjukkan naiknya muka air tanah setelah penyedotan, menandakan kandungan air tinggi di bawah permukaan, yang dapat disebabkan oleh curah hujan ringan yang berkepanjangan. Pergerakan air tanah perlu dimodelkan untuk mengidentifikasi arah aliran air dari resapan hujan ke bawah permukaan. Pemodelan metode resistivitas 4D yang dilakukan sebanyak 4 kali dan jarak waktu 3 jam menunjukkan bahwa air hujan meresap pada lapisan tanah timbunan, menyebar ke arah timur, selatan, dan barat laut. Air dari selatan dan timur mengalir ke tenggara kedalaman 4 – 20 meter, sementara dari barat laut menuju kedalaman 8 – 23 meter. Air terperangkap di atas bidang gelincir lempung lanauan, terutama di tenggara yang mendekati zona longsor. Curah hujan ringan berkepanjangan terjadi 14 kali dari Januari - November 2022, dengan puncaknya pada 13 - 17 Juli 2022 dengan curah hujan sebesar 22,65 mm/hari. Dengan demikian, penyebab tanah longsor di daerah penelitian adalah air resapan hujan ringan berkepanjangan yang mengalir ke bawah zona longsor dan terperangkap pada bidang gelincir lempung lanauan.

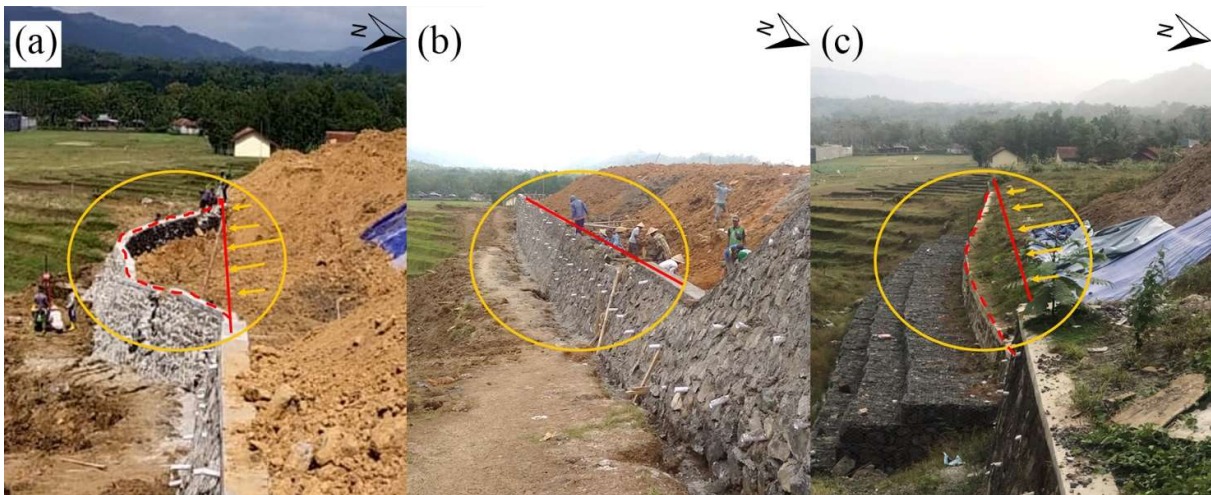
**Kata kunci:** tanah longsor, resistivitas, air tanah, curah hujan

## 1. Pendahuluan

Terjadinya tanah longsor dengan jenis luncuran rotasi terjadi di wilayah Asrama Kampus Lapangan Geologi Karangasambung mulai Agustus 2022 menyebabkan pergeseran tembok turap hingga membelok ditunjukkan Gambar 1.a. Tembok turap kemudian direnovasi agar kembali ke posisi ideal pada November 2022 seperti Gambar 1.b. Pergeseran tembok turap sekitar 1,5 meter kembali terjadi pada Agustus 2023 seperti Gambar 1.c.

Data bor menunjukkan litologi di bawah permukaan daerah penelitian didominasi oleh batulempung yang sulit mengalirkan air tanah. Adapun hasil pengamatan sumur pompa air yang terletak di zona longsor menunjukkan muka air tanah kembali naik beberapa hari setelah

dilakukan penyedotan yang mengindikasikan kandungan air yang tinggi di bawah permukaan. Kandungan air yang tinggi pada lereng yang kedap air seperti lempung dapat disebabkan oleh curah hujan yang ringan tapi berlangsung lama (Karnawati, 2000). Apabila air resapan hujan ringan yang berkepanjangan mengalir ke bawah permukaan zona longsor, maka muka air tanahnya meningkat, yang lama kelamaan menjenuhkan tanah, dan kekuatan gesernya akan hilang, maka longsor dapat terjadi (Subiyanti, et al., 2011). Oleh karena itu, air resapan hujan perlu diidentifikasi arah alirannya ke bawah permukaan dengan cara memodelkan pergerakan air tanah.



Gambar 1. Dokumentasi kejadian longsor di daerah penelitian oleh Tim PT Geoscan Eksplorasi: (a) Setelah terjadinya longsor dari bulan Agustus – November 2022; (b) Setelah renovasi tembok turap pada November 2022; (c) Setelah perpindahan massa 1,5 meter pada Agustus 2023. Lingkaran kuning menunjukkan zona longsor, garis merah menunjukkan posisi semula, garis merah putus-putus menunjukkan massa yang mengalami perpindahan, dan garis panah kuning menunjukkan arah pergerakan longsor.

Pemodelan pergerakan air tanah di bawah permukaan zona longsor akibat hujan dapat dilakukan menggunakan metode resistivitas 4D. Metode resistivitas 4D adalah metode dengan pengukuran data resistivitas 3D yang dilakukan berkali-kali dengan jarak waktu tertentu antara pengukuran (Kuswanto, 2015). Feng, et al. (2015) membuktikan metode resistivitas 4D dapat menunjukkan air tanah mengalir keluar area rawan longsor hanya beberapa hari setelah topan dan hujan karena zona longsor memiliki retakan dan permeabilitas yang tinggi. Adapun konfigurasi elektroda menggunakan konfigurasi pole-pole dengan resolusi yang buruk, tetapi cakupan data horizontalnya paling luas dan jangkauan investigasi terdalam dibandingkan konfigurasi lainnya sehingga cocok untuk investigasi air tanah berdasarkan plot kontur sensitivitasnya (Loke, 2004). Hasil pemodelan resistivitas 4D dengan pengukuran sebanyak 4 kali dan jarak waktu antara pengukuran sekitar 3 jam diinterpretasikan

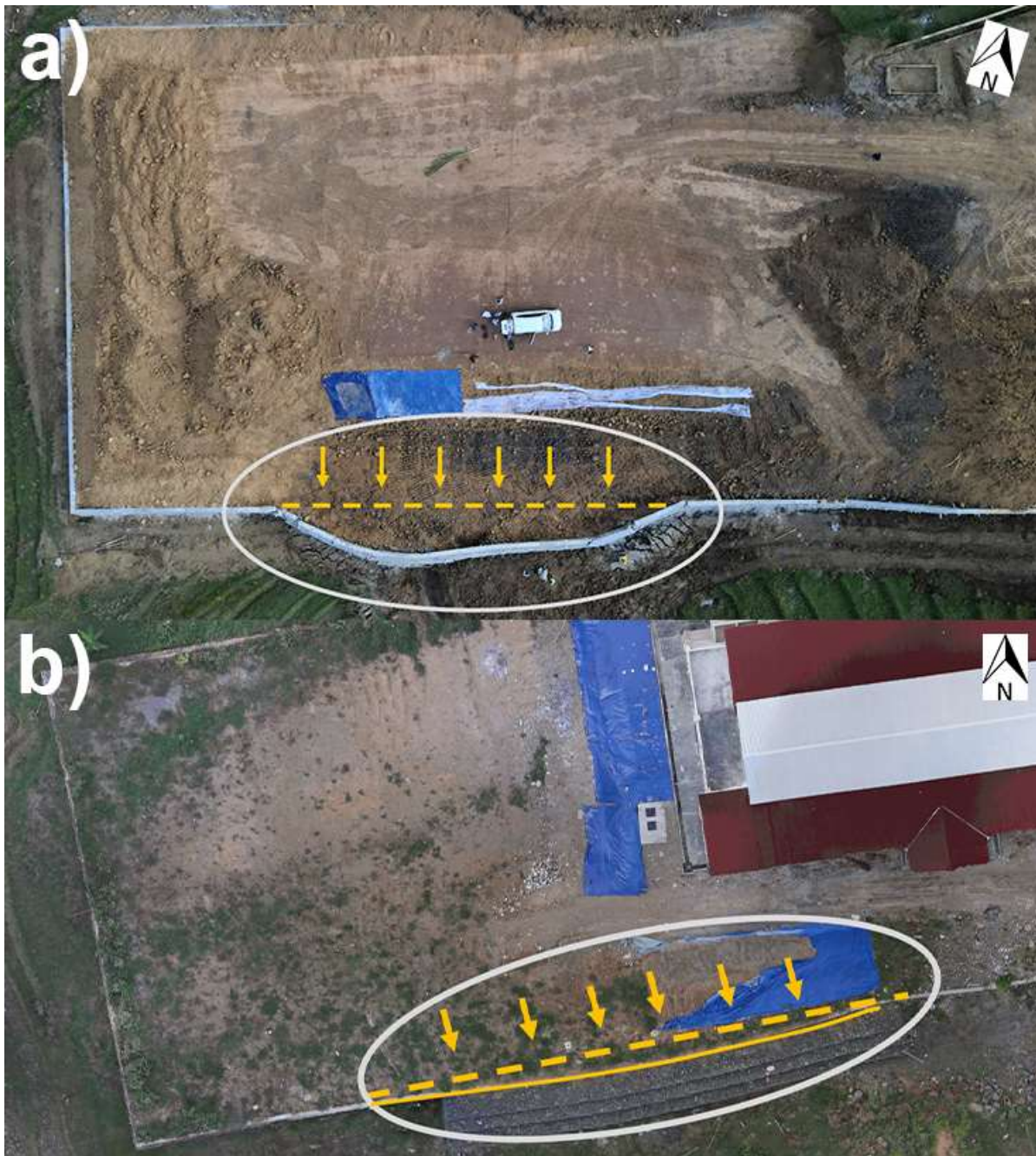
dengan korelasi litologi dengan data bor dan data curah hujan untuk membuktikan penyebab tanah longsor di daerah penelitian berasal dari hujan ringan yang berlangsung lama.

## 2. Data dan Metode

### Waktu dan Tempat Penelitian

Daerah penelitian terletak di wilayah Asrama Kampus Lapangan Geologi Karangsambung, Kab. Kebumen, Jawa Tengah. Waktu dalam penelitian adalah sebagai berikut:

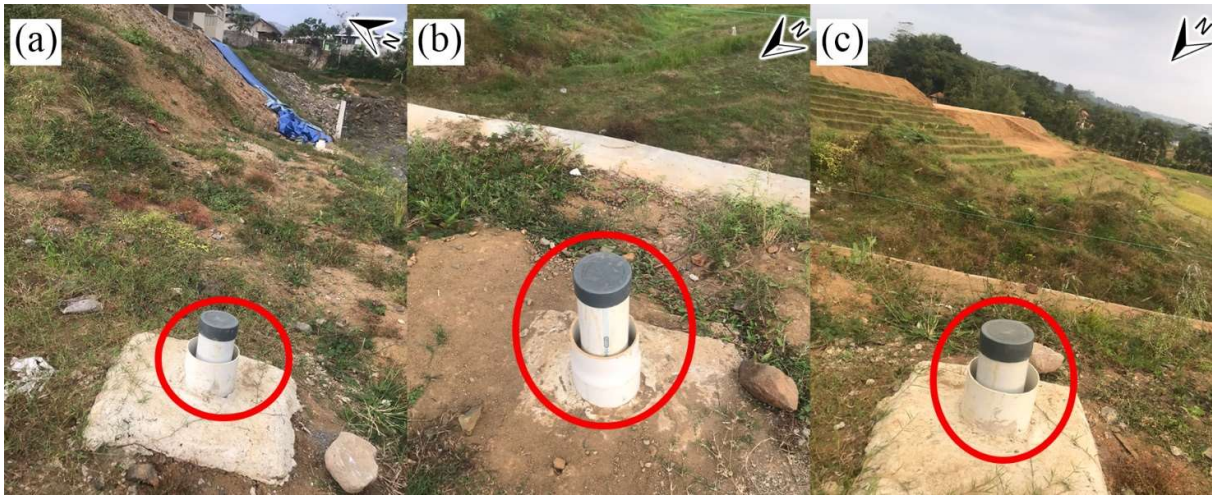
1. Mulai Agustus 2022, tanah longsor terjadi ditunjukkan oleh Gambar 2.a;
2. Pada 4 November 2022, tembok turap direnovasi agar kembali ke posisi ideal;
3. Di 1 Juli 2023, pengukuran data di lapangan menggunakan metode resistivitas 4D;
4. Pada 4 Agustus 2023, survei lapangan kembali saat perpindahan massa kembali terjadi di zona longsor 1,5 meter dari posisi semula seperti Gambar 2.b.



Gambar 2. Foto udara zona longsor di daerah penelitian oleh Tim PT Geoscan Eksplorasi: (a) Setelah terjadinya longsor pada Agustus 2022; (b) Perpindahan massa sekitar 1,5 meter pada Agustus 2023. Garis kuning putus-putus menandakan posisi tembok turap yang seharusnya, garis panah kuning menandakan arah pergerakan tanah longsor, dan lingkaran abu-abu menandakan zona longsor.

Di daerah penelitian terdapat tiga sumur pompa air di area selatan grid, seperti pada Gambar 3. Pengukuran data memberikan informasi ketinggian muka air tanah pada saat penyedotan air bawah permukaan sejak bulan April – September 2023.

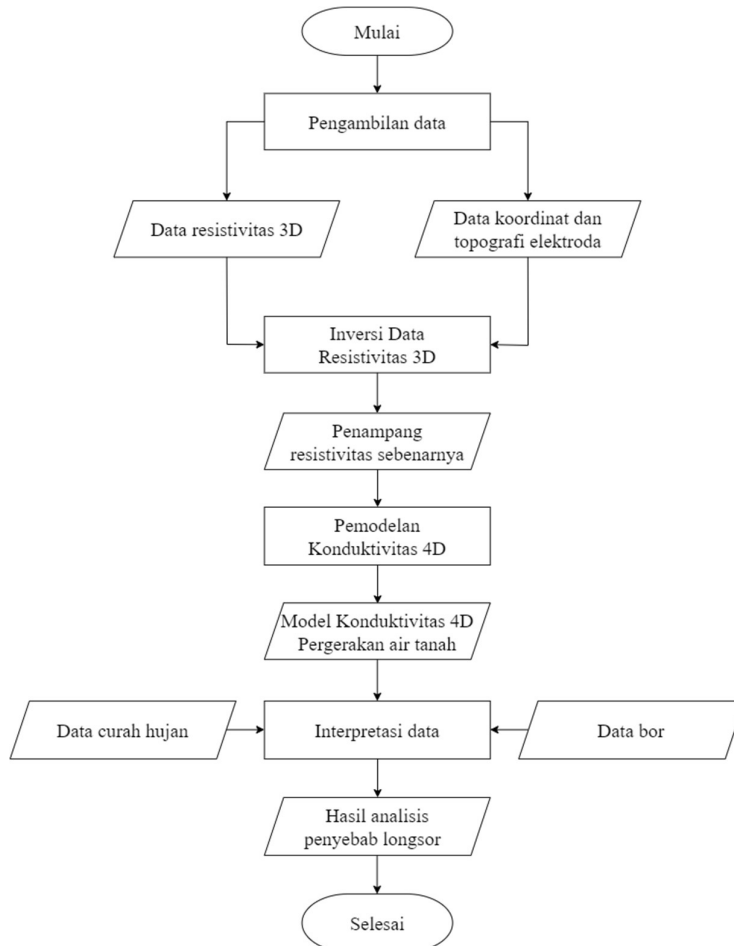
Hasil pengamatan sumur pompa membuktikan bahwa muka air tanah selalu kembali naik beberapa hari setelah dilakukan penyedotan karena resapan air hujan.



Gambar 3. Foto tiga sumur pompa air yang berada pada zona longsor di daerah penelitian: (a) Sumur paling barat; (b) Sumur tengah; (c) Sumur paling timur. Lingkaran merah menunjukkan sumur.

### Metode Penelitian

Gambar 4 menunjukkan alur yang digunakan pada penelitian.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

### 1. Pengambilan data

Pengambilan data resistivitas 3D menggunakan resistivitymeter ARES 5A seperti Gambar 5.a. Dengan konfigurasi pole-pole, pengukuran dilakukan sebanyak 4 kali dengan jarak waktu antara pengukuran pertama dan kedua dan seterusnya yaitu 3 jam. Grid pengukuran berbentuk persegi panjang 8 x 6 dengan

spasi elektroda 5 meter. Adapun *marking* elektroda menggunakan GPS Geodetik mobile pada Gambar 5.b. Berikut kondisi lapangan pada saat pengambilan data:

- a. KS04 jam 9.00 - 12.00, setelah hujan;
- b. KS03 jam 12.00 - 15.00, cuaca cerah;
- c. KS02 jam 15.00 - 18.00, cuaca cerah;
- d. KS01 jam 18.00 - 21.00, penyedotan air.



Gambar 5. Dokumentasi pengambilan data di lapangan: (a) Pengambilan data resistivitas dengan resistivitymeter ARES 5A; (b) Marking elektroda dengan GPS geodetik mobile.

### 2. Inversi 3D

Proses inversi dilakukan untuk memperoleh nilai true resistivity. Data yang dibutuhkan adalah lokasi elektroda, resistivitas semu, dan topografi GPS. Proses ini memodelkan resistivitas secara lokal yang menghasilkan penampang XZ, penampang YZ, dan peta XY.

### 3. Pemodelan 4D

Proses pemodelan 4D dibagi menjadi dua langkah, yaitu *solid modelling* dan *morphing*. *Solid modelling* dilakukan untuk visualisasi 3D nilai konduktivitas hasil inversi dengan sistem koordinat UTM pada zona 49S. Data yang dibutuhkan adalah easting, northing, elevasi datum, dan konduktivitas. *Morphing* dilakukan untuk membuat model tambahan antara jarak waktu pengukuran untuk memperoleh pergerakan yang halus.

4. Interpretasi data

Model resistivitas 4D diinterpretasikan dengan cara mengkorelasikan litologi dan kedalamannya dengan data bor. Adapun data curah hujan BMKG di Stasiun Klimatologi Jawa Tengah pada periode Januari 2022 - 4 Agustus 2023 digunakan untuk membuktikan penyebab tanah longsor di daerah penelitian berasal dari hujan ringan yang berlangsung lama.

4. Hasil dan Pembahasan

Penampang Resistivitas Sebenarnya

Penampang resistivitas sebenarnya diperoleh dari inversi dengan metode *smoothness-constrained least-square* dan jumlah iterasi sebanyak 4 kali. Dimensi data resistivitas yang diperoleh memiliki panjang 20 meter, lebar 30 meter, dan kedalaman 30 meter.

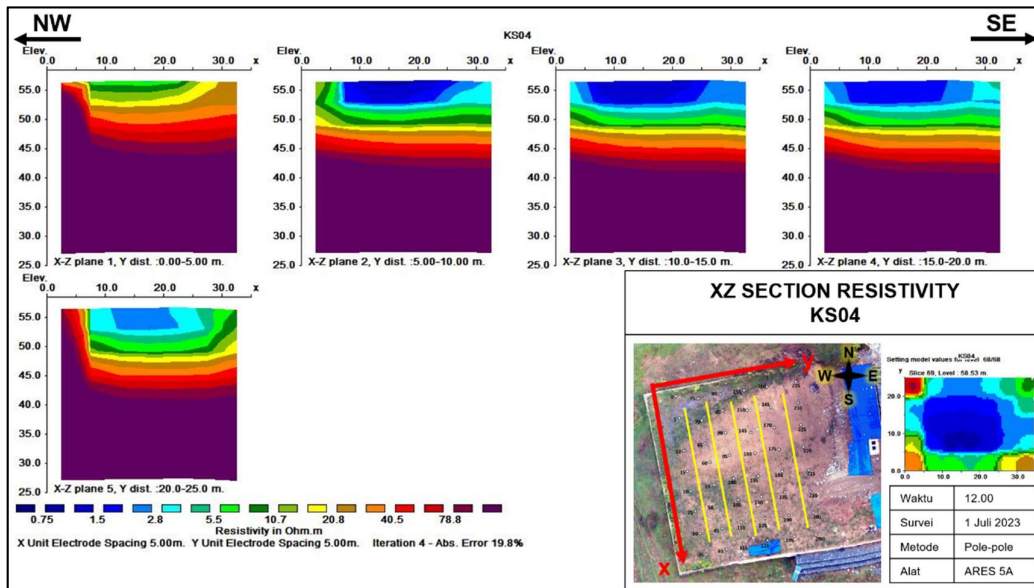
Tabel 1 menunjukkan sebaran nilai resistivitas dan absolute error dari keempat data. Dapat dilihat, *absolute error* keempat data sudah dipastikan di bawah 20% karena telah dilakukan proses *editing*.

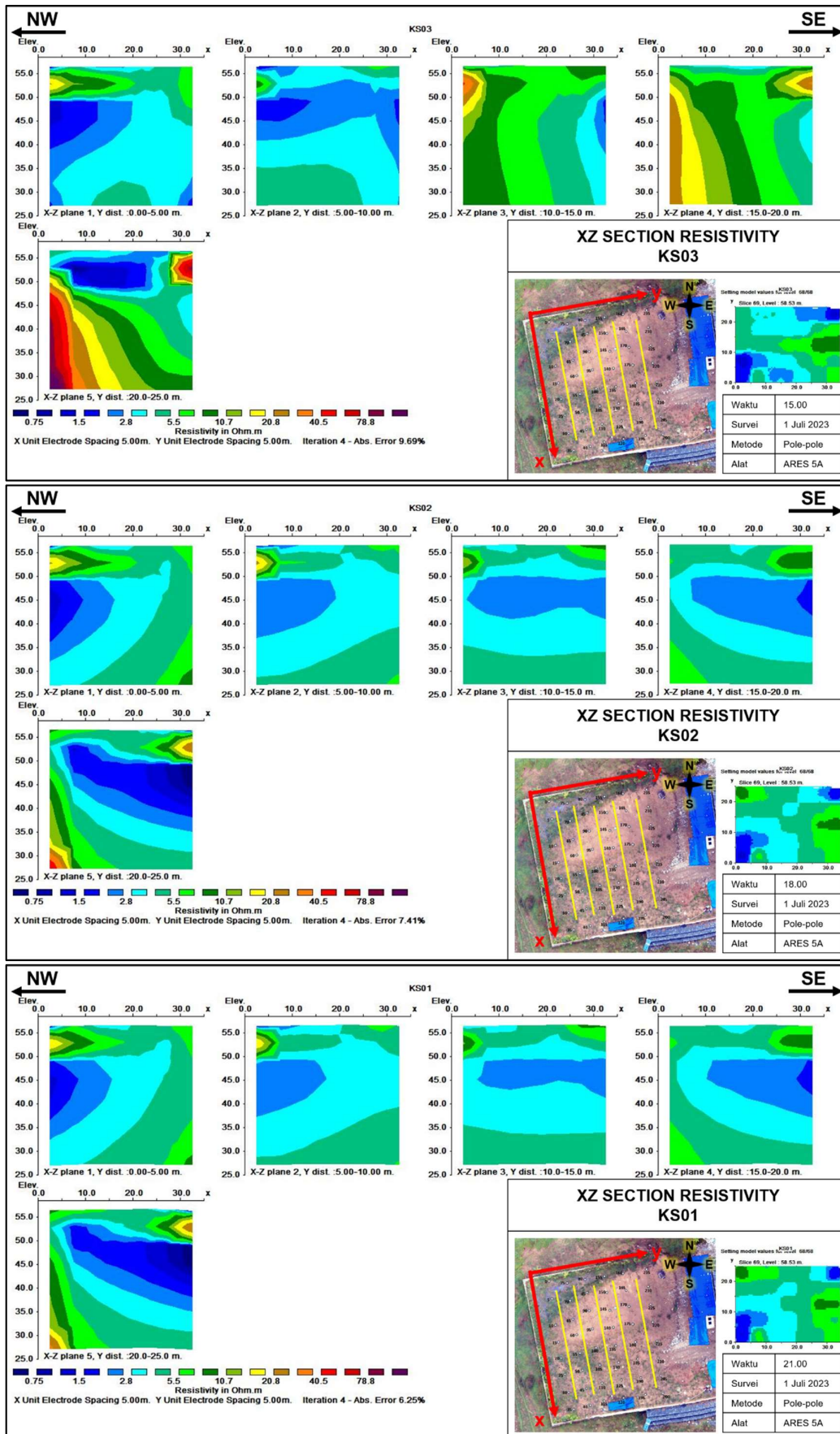
Proses *editing* hanya dilakukan pada data KS04 dengan nilai *absolute error* awal 20,1% dengan cara menghapus sebuah titik datum dengan error tertinggi sekitar 3,2437%. Adapun *contour value* menggunakan nilai resistivitas KS03 karena berada di tengah-tengah nilai resistivitas keempat data, yaitu 0,745 – 109,97  $\Omega$ m sehingga dianggap dapat mewakili *contour value* keempat data.

Tabel 1. Nilai resistivitas dan *absolute error* dari keempat data berdasarkan hasil inversi

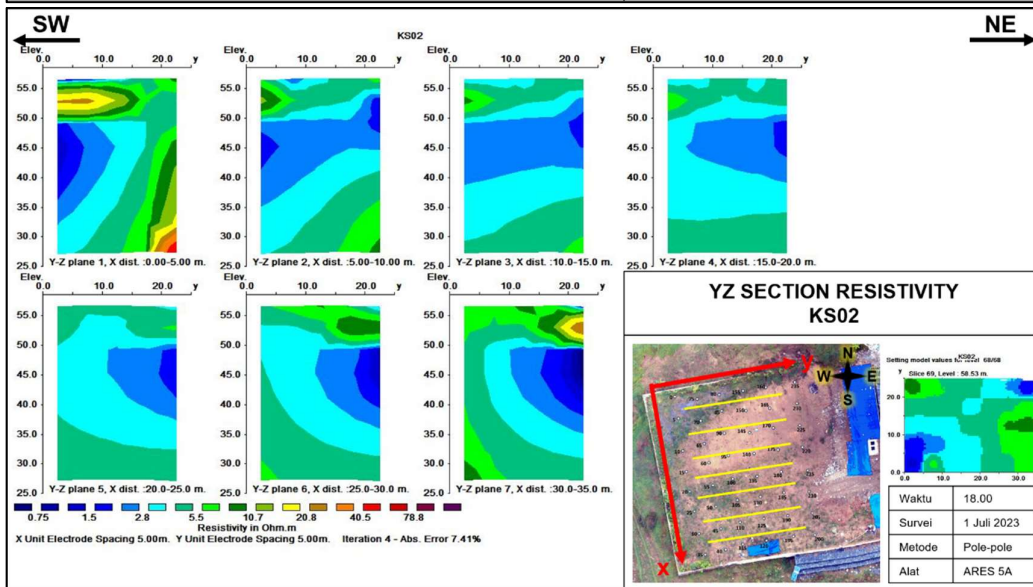
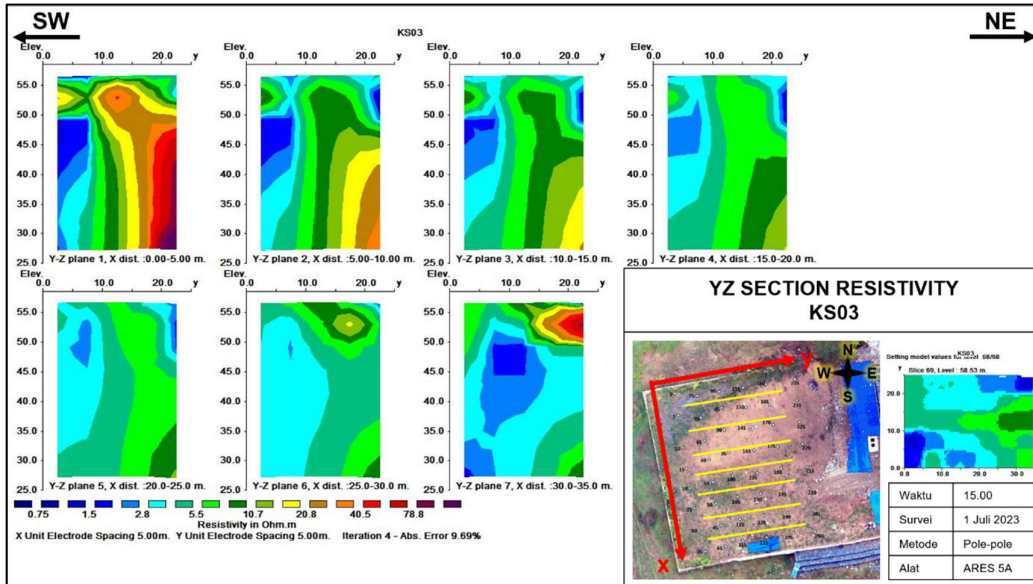
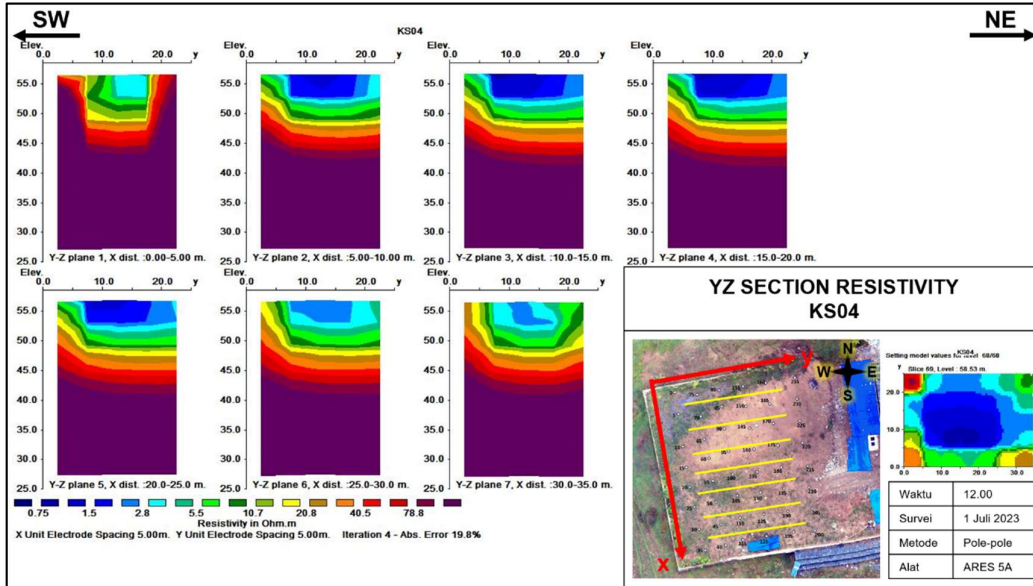
| Data | Resistivitas ( $\Omega$ m) | Absolute Error |
|------|----------------------------|----------------|
| KS04 | 1,15 – 1640,13             | 19,8%          |
| KS03 | 0,745 – 109,97             | 9,69%          |
| KS02 | 0,608 – 36,19              | 7,41%          |
| KS01 | 0,635 – 22,51              | 6,25%          |

Berdasarkan penampang resistivitas sebenarnya keempat data pada Gambar 6 dan Gambar 7, nilai resistivitas awal di bawah permukaan bernilai sangat tinggi. Perlahan-lahan nilai resistivitasnya berkurang hingga pengukuran keempat hampir di semua bagian menunjukkan kondisi bawah permukaan semakin konduktif karena air resapan hujan telah mengalir masuk.

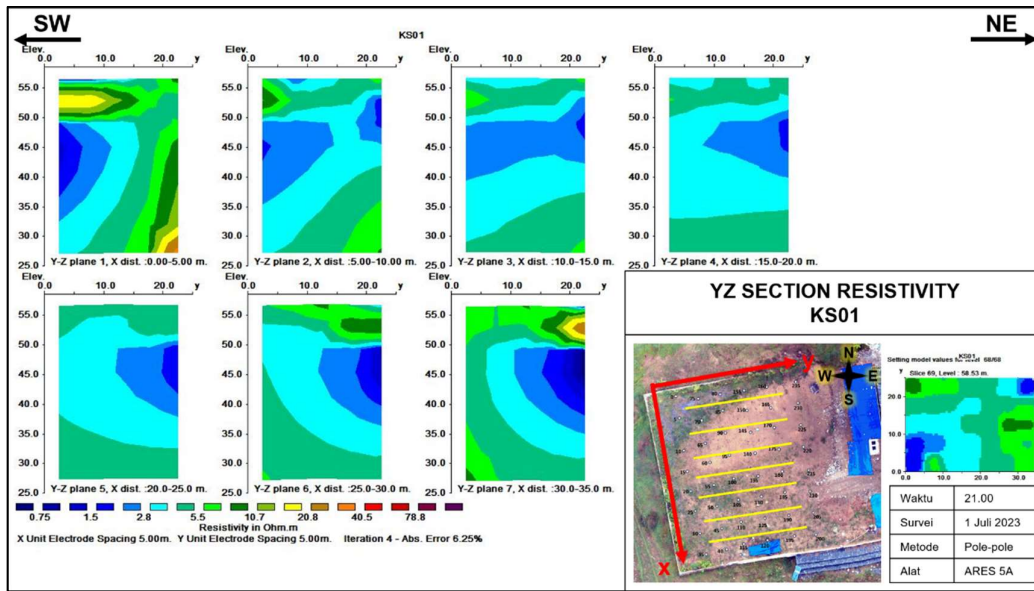




Gambar 6. Penampang XZ resistivitas sebenarnya dari pengukuran pertama hingga keempat







Gambar 7. Penampang YZ resistivitas sebenarnya dari pengukuran pertama hingga keempat

**Model Konduktivitas 4D**

Model konduktivitas 4D menggunakan batas daerah agar data resistivitas berdasarkan pengukuran di lapangan, bukan hasil interpolasi. Kontur topografi telah dimodelkan sebelumnya agar elevasi pada model menyesuaikan data koordinat dan topografi elektroda dari GPS. Model menggunakan nilai konduktivitas karena air bersifat menghantarkan arus listrik sehingga untuk mencari air lebih tepat menggunakan kemampuan menghantarkan arus listrik (konduktivitas). Adapun parameter jumlah model tambahan antara waktu pengukuran (*increment*) menggunakan sebanyak 5 model untuk menghasilkan model pergerakan air tanah yang halus, sehingga total terdapat 18 model.

Air tanah pada model memiliki nilai konduktivitas 0,40948 – 1,86436 S/m (0,5364 – 2,4421 Ωm). Nilai konduktivitas ini ditentukan berdasarkan nilai resistivitas air tanah yang berkisar dari 0,5 – 150 Ωm (Telford, et al., 1990). Adapun proses interpretasi lapisan di bawah permukaan menggunakan korelasi litologi dan

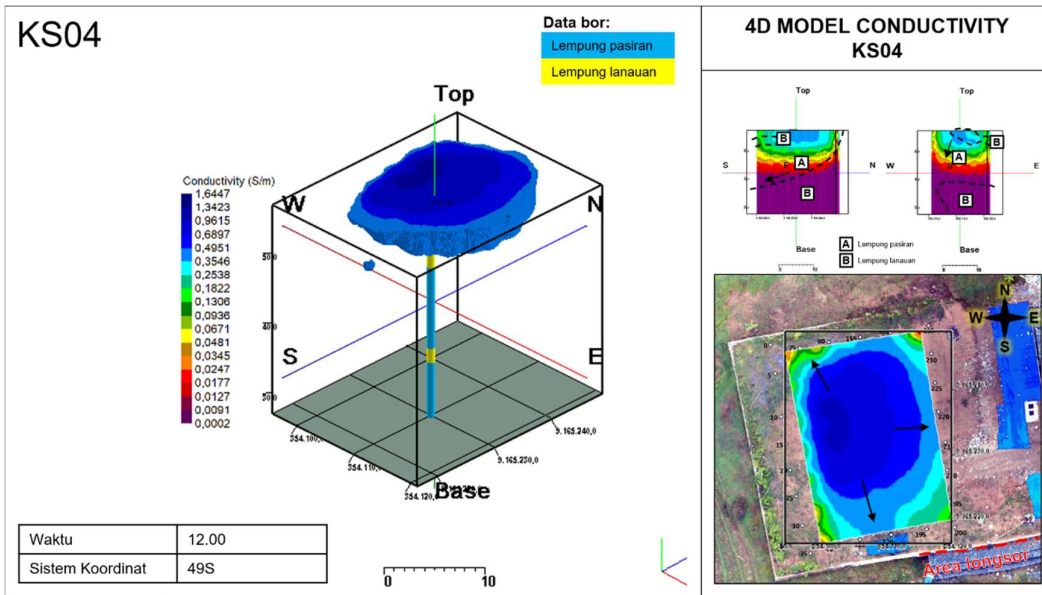
kedalaman dengan data bor yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Litologi bawah permukaan berdasarkan data bor dengan kedalaman total 30 meter.

| Kedalaman (m) | Litologi                                                   |
|---------------|------------------------------------------------------------|
| 0 - 4         | Tanah timbunan, lempung pasir, kaku - sangat kaku, plastis |
| 4 - 8,5       | Batulempung, lempung lanauan, lapuk sedang                 |
| 8,5 - 20      | Batulempung, lempung pasir                                 |
| 20 - 22       | Batulempung, lempung lanauan                               |
| 22 - 30       | Batulempung, lempung pasir, fragmen andesit dan lempung    |

Berdasarkan hasil model konduktivitas 4D, arah pergerakan air tanah di bawah permukaan adalah sebagai berikut:

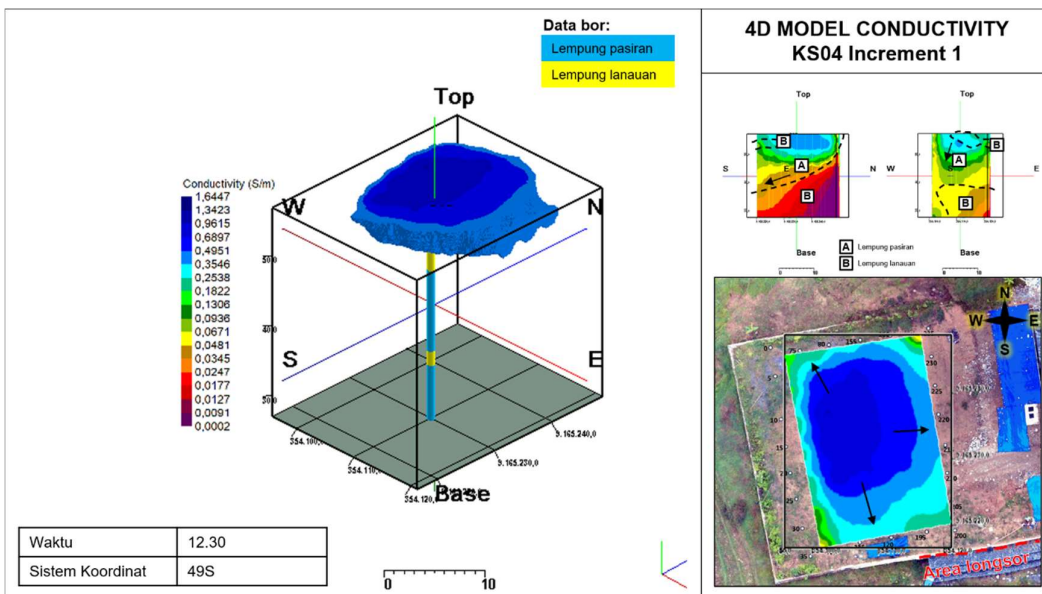
- Gambar 8 menunjukkan bahwa setelah hujan, resapan air berada di kedalaman 1,2 - 5 meter pada lapisan tanah timbunan lempung pasir yang dapat menyimpan dan mengalirkan air. Lapisan di bawah tanah timbunan merupakan batulempung yang masih dalam keadaan kering sehingga masih sangat resistif.

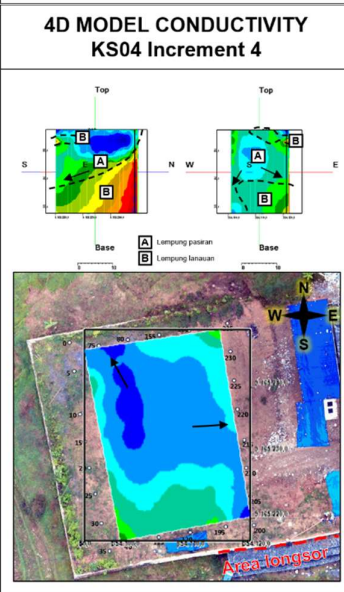
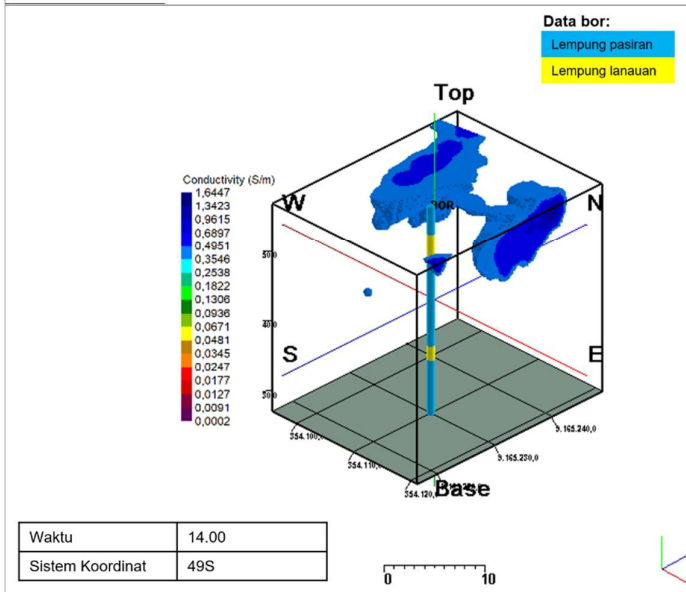
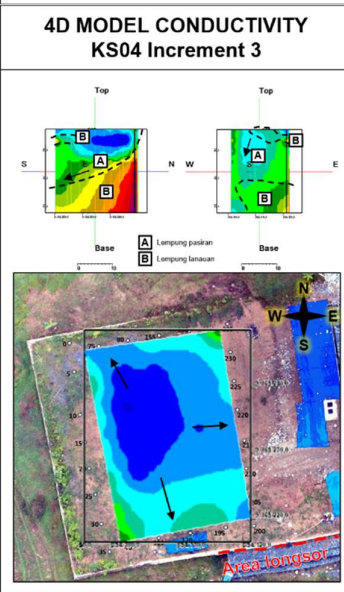
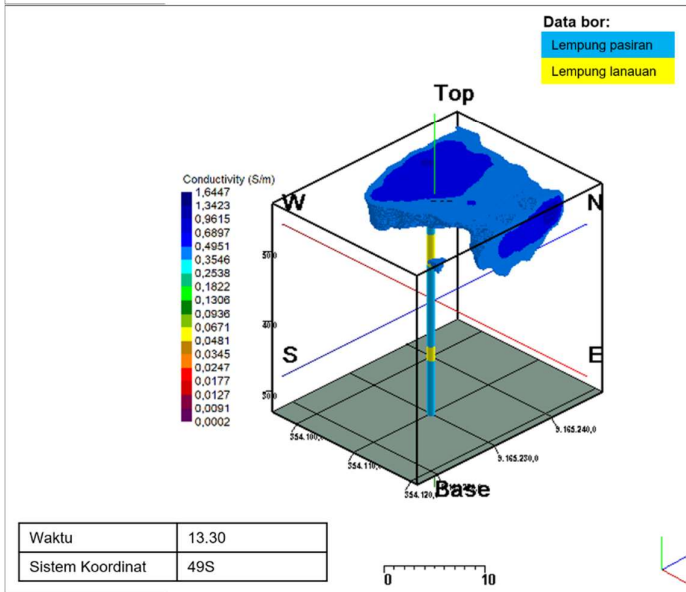
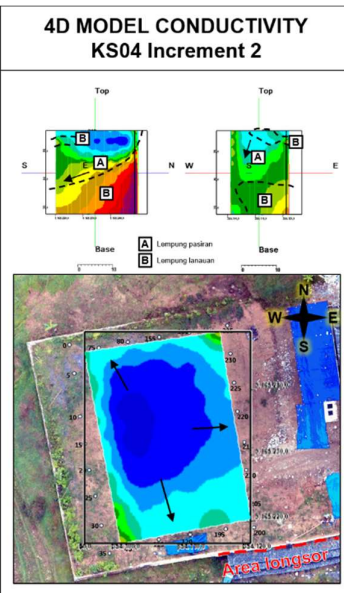
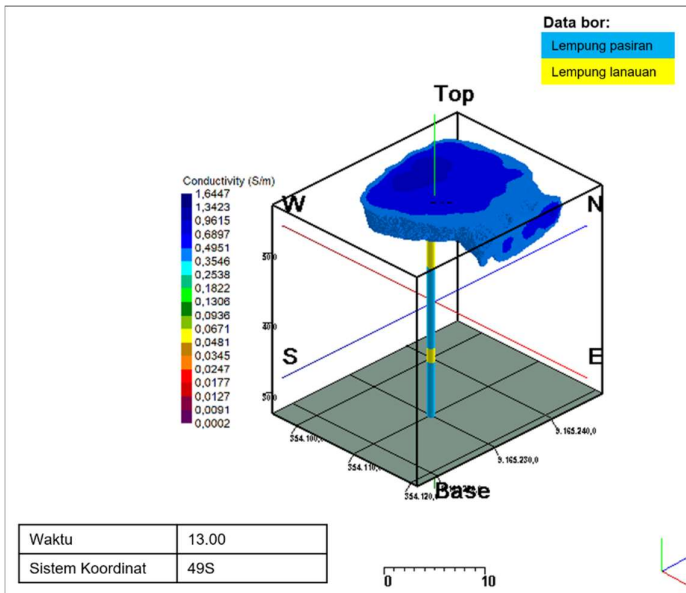


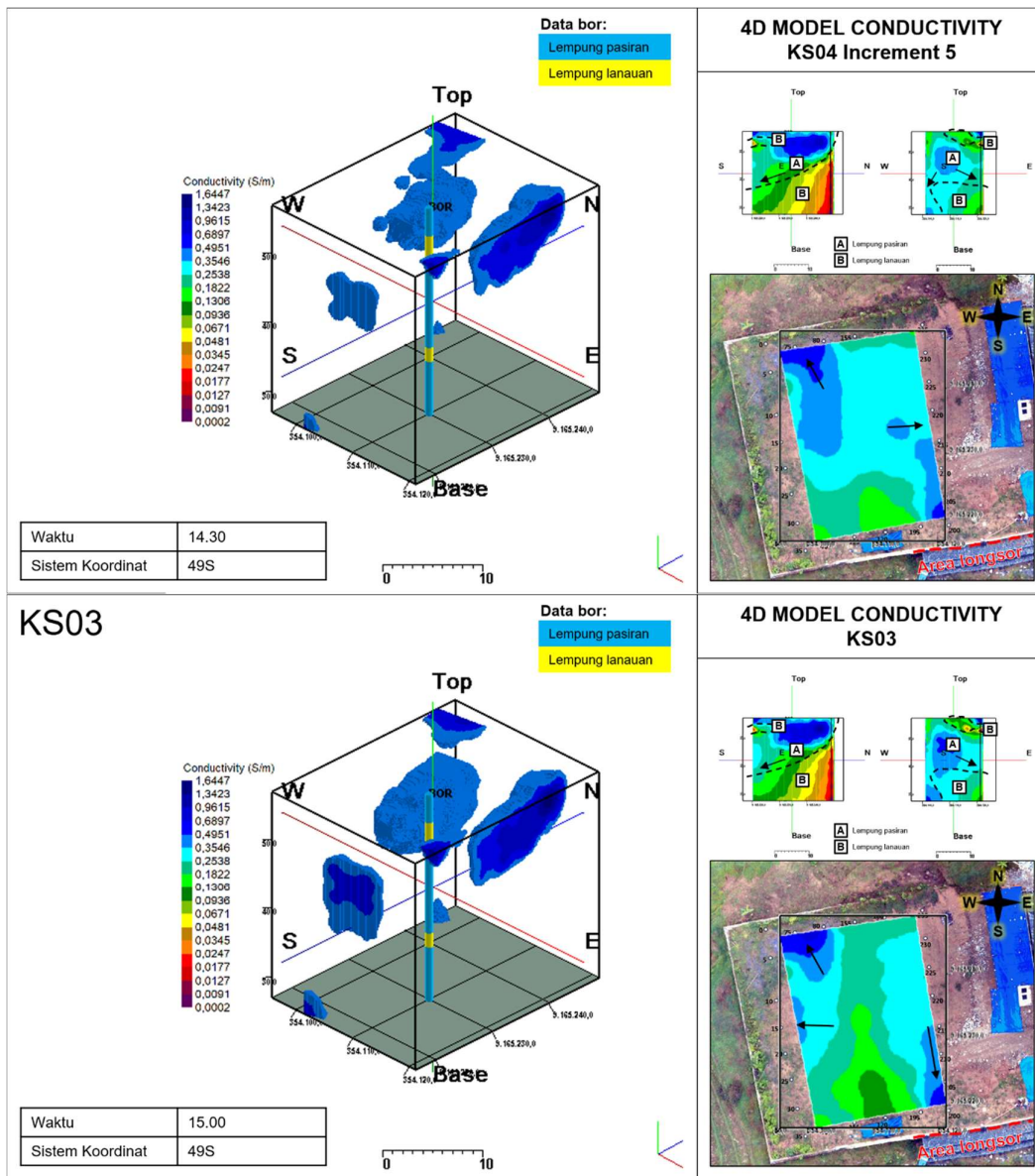
Gambar 8. Model konduktivitas 4D pada pengukuran pertama dalam kondisi awal

2. Gambar 9 menunjukkan bahwa hingga pengukuran kedua, air mengalir ke arah barat laut, selatan, dan timur. Pergerakan ini menunjukkan persebaran lapisan lempung lanauan di kedalaman 4 - 8,5 meter menyebabkan air tidak dapat mengalir turun

ke tengah melainkan ke tiga arah tersebut. Per lapisan bawah permukaan mulai terlihat semakin konduktif, tetapi masih resistif di bagian timur laut pada kedalaman 16 - 30 meter mengindikasikan keberadaan bidang gelincir yang tidak dapat mengalirkan air.



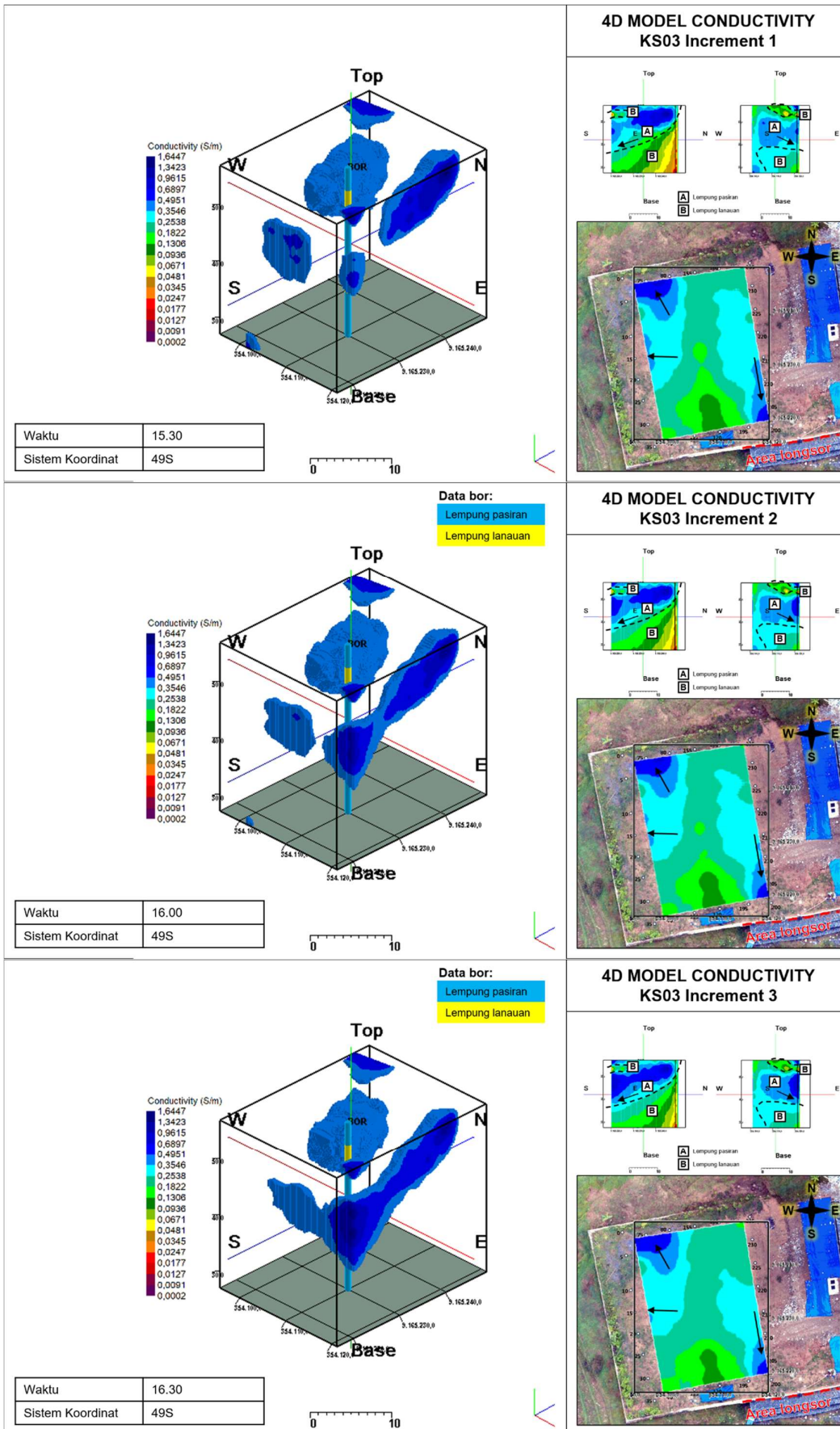


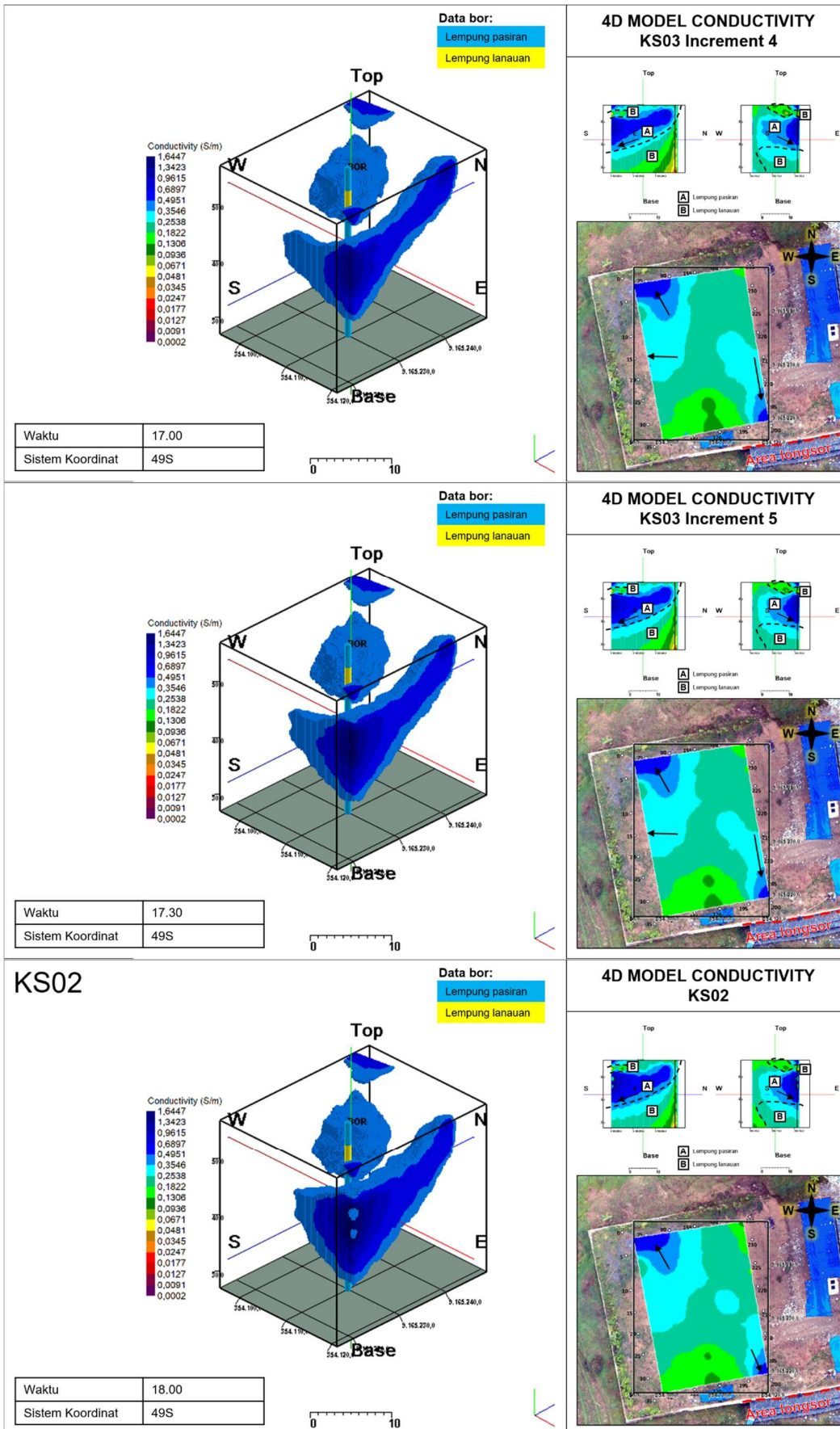


Gambar 9. Model konduktivitas 4D pada jarak waktu antara pengukuran pertama hingga pengukuran kedua

3. Pada model pada jarak antara waktu pengukuran kedua dan ketiga yang ditunjukkan oleh Gambar 10, air dari arah selatan mengalir bersama air dari timur menuruni bidang gelincir lempung lanauan berbentuk cekung, berkumpul di tenggara

pada kedalaman 4 - 20 meter yang merupakan zona yang sebelumnya mengalami longsor, sedangkan air di arah barat laut mengalir turun hingga kedalaman 8 - 23 meter;

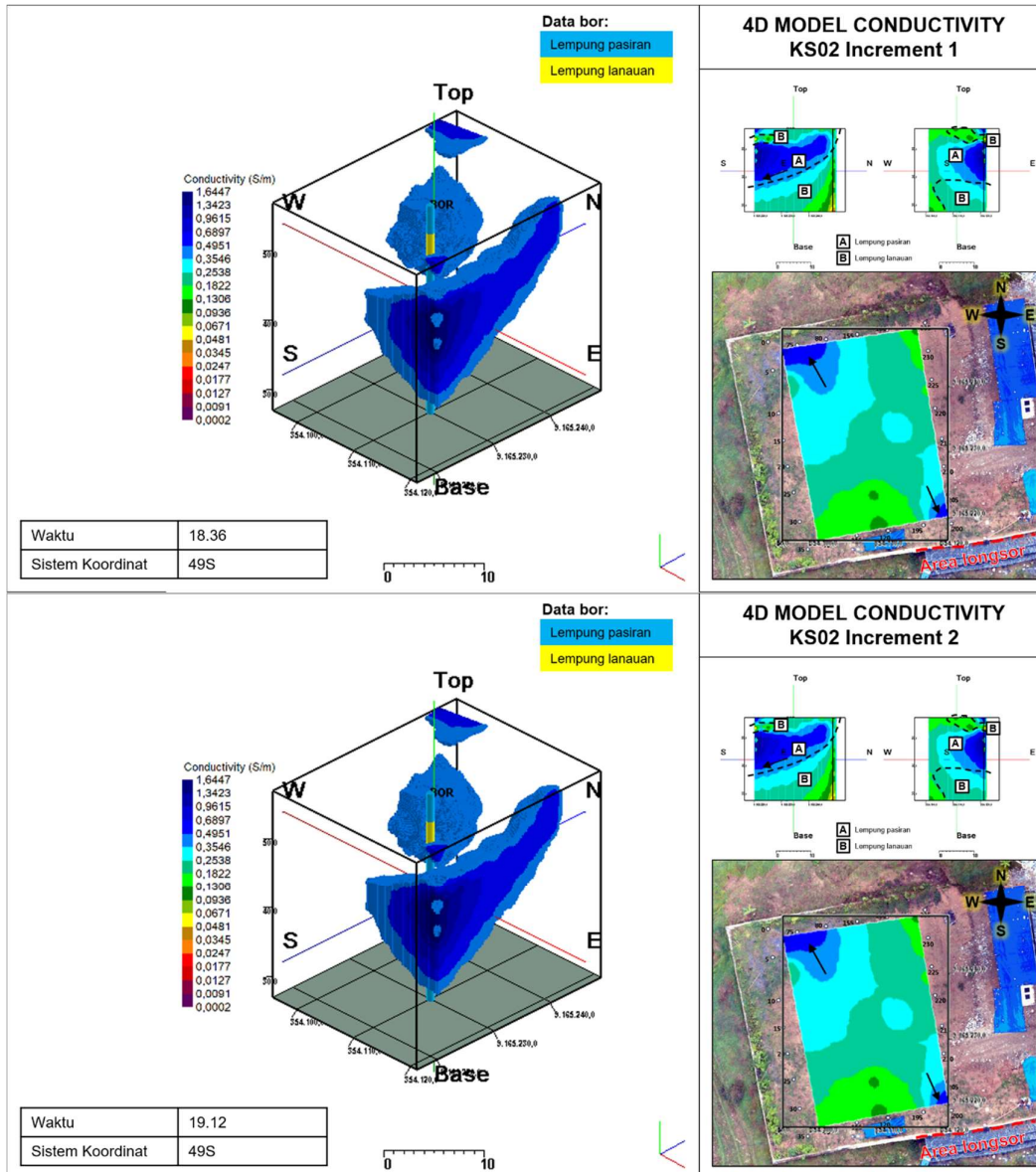


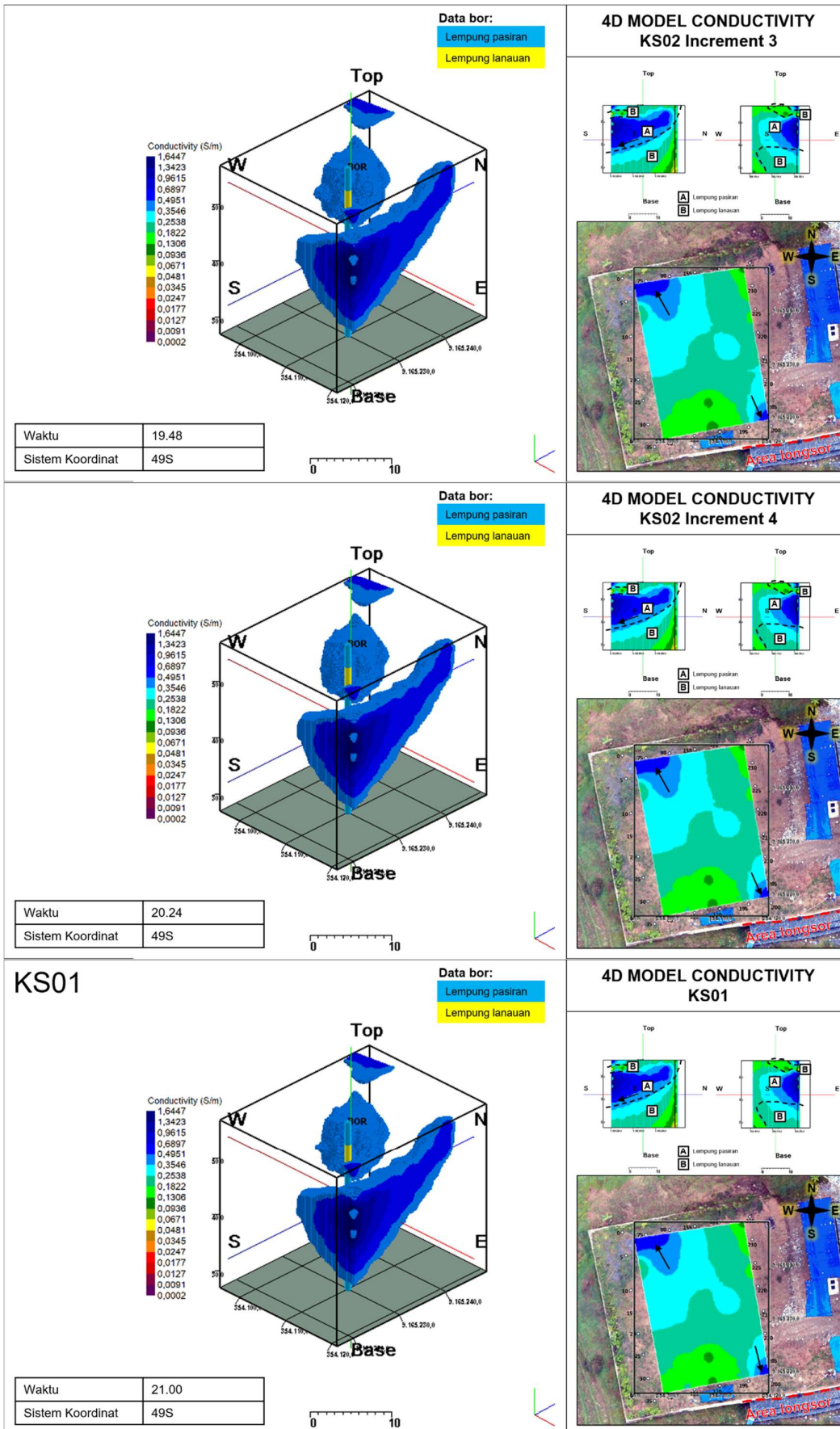


Gambar 10. Model konduktivitas 4D pada jarak waktu antara pengukuran kedua hingga pengukuran ketiga

4. Berdasarkan Gambar 11, air di tenggara dan barat laut masih berada pada posisi yang sama karena terperangkap di atas persebaran lapisan lempung lanauan.

Adanya penyedotan air di arah selatan pada saat pengukuran menyebabkan muka air tanah turun sehingga volume air di arah tenggara berkurang perlahan.





Gambar 11. Model konduktivitas 4D pada jarak waktu antara pengukuran ketiga hingga pengukuran keempat

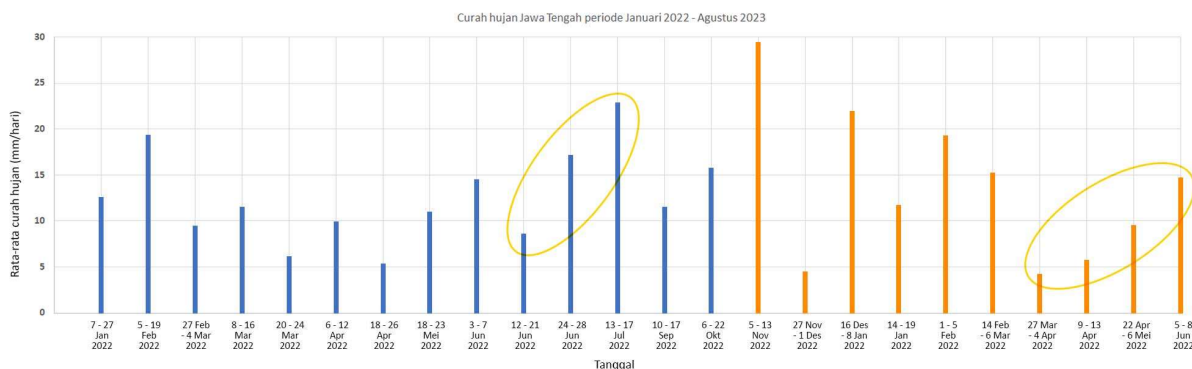


### Interpretasi Data

Air resapan hujan lama kelamaan akan mengalir paling banyak ke arah tenggara yang mendekati zona longsor yang kemudian terperangkap di atas bidang gelincir lempung lanauan dari timur ke selatan di kedalaman 16 - 30 meter karena kedap air. Menurut Karnawati (2000), jenis hujan yang dapat menyebabkan longsor pada lereng yang kedap air seperti lempung adalah hujan ringan yang berlangsung lama. Hujan ringan yang berlangsung lama dapat menjenuhkan tanah hingga kekuatan geser tanah hilang, dan menyebabkan terjadinya longsor (Subiyanti, et al., 2011). Ketika kekuatan geser tanah hilang, maka struktur tanahnya akan melemah dan mudah bergeser, sehingga longsor dapat terjadi (Das & Sobhan, 2018). Oleh karena itu, data curah hujan diperlukan untuk membuktikan longsor di bulan

Agustus 2022 dapat terjadi karena sumber kandungan air yang tinggi di atas lapisan lempung lanauan berasal dari hujan ringan yang berlangsung lama dengan curah hujan kurang dari 20 mm.

Berdasarkan grafik curah hujan pada Gambar 12, hujan ringan berlangsung lama pada periode Januari - November 2022 terjadi sebanyak 14 kali dengan curah hujan yang meningkat dari bulan Juni hingga puncaknya pada tanggal 13 – 17 Juli 2022 sebesar 22,65 mm/hari. Adapun pada periode November 2022 - Agustus 2023, hujan ringan berlangsung lama terjadi 10 kali yang curah hujannya meningkat mulai dari April 2023 hingga puncaknya pada tanggal 5 – 8 Juni 2023 sebesar 14,48 mm/hari. Oleh karena itu, terbukti penyebab tanah longsor di daerah penelitian adalah hujan normal yang berlangsung lama.



Gambar 12. Grafik curah hujan ringan yang berlangsung lama periode Januari 2022 – Agustus 2023 berdasarkan data curah hujan Stasiun Klimatologi Jawa Tengah dimodifikasi dari (BMKG, 2023). Lingkaran kuning menunjukkan peningkatan curah hujan hingga mencapai puncaknya.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka berikut beberapa kesimpulan yang dapat ditarik:

- Proses pergerakan aliran air tanah dengan nilai resistivitas 0,5364 – 2,4421  $\Omega$ m diawali dengan air dari curah hujan yang meresap di lapisan tanah timbunan pada kedalaman 1,2 – 5 meter yang kemudian mengalir ke arah barat laut, timur, dan selatan karena adanya lapisan

lempung lanauan di kedalaman 4 – 8,5 meter. Selanjutnya, air dari arah barat laut mengalir turun hingga kedalaman 8 – 23 meter, sedangkan air dari arah timur mengalir menuruni bidang gelincir bersamaan dengan air dari arah selatan menuju arah tenggara pada kedalaman 4 – 20 meter. Kemudian air di arah tenggara dan barat laut berada di posisi yang

sama karena terperangkap di atas lapisan lempung lanauan bersifat kedap air.

- b. Tanah longsor di daerah penelitian pada Agustus 2022 dan Agustus 2023 dapat terjadi karena curah hujan ringan yang berlangsung lama yang mengalami peningkatan curah hujan dari bulan Juni hingga puncaknya di bulan Juli 2022 dan periode kedua dari April hingga puncaknya di bulan Juni 2023. Air resapan hujan akan paling banyak mengalir ke bawah permukaan zona rawan longsor. Keberadaan bidang gelincir lempung lanauan dari arah timur ke selatan di kedalaman 16 – 30 meter menyebabkan air tanah di bawah permukaan zona rawan longsor terperangkap dan tidak dapat dialirkan. Oleh karena itu, muka air tanah akan meningkat, yang kemudian menyebabkan tanah jenuh, hingga kehilangan kekuatan gesernya.

#### Sumber Data

BMKG. (2023). Data Curah Hujan Provinsi Jawa Tengah. Jakarta: Data Online - Pusat Database. Diambil kembali dari <https://dataonline.bmkg.go.id/data iklim>

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Yayasan Geologi ITB Karangsembung yang telah memberikan fasilitas tempat untuk penelitian, khususnya Pak Istanto dan Refaldo, geologist di Yayasan tersebut yg telah membantu selama penelitian di lapangan serta terima kasih kepada PT Geoscan Eksplorasi Utama (GEU) yang telah memfasilitasi penelitian penulis dan terima kasih kepada personil PT GEU yg telah membantu selama di lapangan.

#### Referensi

- Asikin, S. (1974). Evolusi geologi Jawa Tengah dan sekitarnya Ditinjau dari Segi Teori Tektonik Dunia yang Baru. Bandung: Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Asikin, S., Handoyo, A., Busono, H., & Gafoer, S. (1992). Peta Geologi Lembar Kebumen, Jawa Skala 1:100.000. Geomap ESDM. Diambil

kembali dari <https://geologi.esdm.go.id/geomap/pages/previ ew/peta-geologi-lembar-banyumas-jawa>

- Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). Principles of Geotechnical Engineering (9th ed.). Cengage Learning.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2007). Pedoman Penataan Ruang: Kawasan Rawan Bencana Longsor. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta: Direktorat Jenderal Penataan Ruang.
- Feng, Z.-y., Lin, B.-S., Liu, H.-C., & Sun, C.-T. (2015). Four-dimensional electrical resistivity tomography of the groundwater in a landslide. 10th Asian Regional Conference of IAEG, (hal. 1-4).
- Geotomo Software. (2010). RES2DINV ver. 3.59. Penang: Author.
- Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides. Reston: U.S. Geological Survey Circular.
- Holmes, J., Chambers, J., Wilkinson, P., Dashwood, B., Gunn, D., Cimpoias, M., . . . Donohue, S. (2022). 4D Electrical Resistivity Tomography for Assessing The Influence of Vegetation and Subsurface Moisture on Railway Cutting Condition. Engineering Geology.
- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides, 11(2), 167-194.
- Karnawati, D. (1996). Rain-Induced Landslides Problems in West Java. Jurnal Media Teknik, XVIII(3).
- Karnawati, D. (2000). The Importance Of Low Intensity Rainfall On Landslide Occurrence. Forum Teknik, 24(1).
- Kuswanto, A. (2015). Pengembangan Metode Geolistrik 4D untuk Perembesan Bawah Tanah. Prosiding Pertemuan Ilmiah Nas BPPT.
- Loke, M. H. (1999). Electrical imaging surveys for Environmental and Engineering Studies - A practical guide to 2-D and 3-D surveys.
- Loke, M. H. (2004). Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys.
- Loke, M. H., & Barker, R. D. (1996). Practical Technique for 3D Resistivity Surveys and Data Inversion. Geophysical Prospecting, 499-523.

- Naryanto, H. S., & Zahro, Q. (2020). Penilaian Risiko Bencana Longsor di Wilayah Kabupaten Serang. *Majalah Geografi Indonesia*, 34(1), 1-10.
- Presiden Republik Indonesia. (2004). UU No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics - 2nd edition*. New Delhi: Wiley-Blackwell.
- Robain, H., Albouy, Y., Dabas, M., Descloitres, M., Camerlynck, C., Mechler, P., & Tabbagh, A. (1999). The Location of Infinite Electrodes in Pole-Pole Electrical Surveys: Consequences for 2D imaging. *Journal of Applied Geophysics*, 313-333.
- Subiyanti, H., Rifa'i, A., & Jayadi, R. (2011). Analisis Kelongsoran Lereng Akibat Pengaruh Tekanan Air Pori di Saluran Induk Kalibawang Kulonprogo. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 14, 15-25.
- Tarback, E. J., & Lutgens, F. K. (2015). *Earth Science (14th ed.)*. New Jersey: Pearson Education.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Todd, D. K., & Mays, L. W. (2005). *Groundwater Hydrology (3rd ed.)*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Wattlet, A., Thirugnanam, H., Singh, B., Kumar M., N., Brahmanandan, D., Inauen, C., . . . Ramesh, M. V. (2023). 4D Electrical Resistivity to Monitor Unstable Slopes in Mountainous Tropical Regions: An Example from Munnar, India. *Landslides*, 20, 1031-1044