

IDENTIFIKASI *BEDROCK* MENGGUNAKAN PEMODELAN 2D SEISMIC TOMOGRAFI DENGAN *SOFTWARE* GMSH DAN PHYTON DI DAERAH GUNUNG PEYEK CISEENG, BOGOR, JAWA BARAT

*(Bedrock Identification using 2D Seismic Tomography Model on GMSH
Software and Python in Peyek Mountain Area, Ciseeng, Bogor, West Java)*

Agus Abdullah, Putri Tamado B., Eka Setyaningrum, Mega Dwi A., dan Afif Fakhri S.

Universitas Pertamina
Jl. Teuku Nyak Arief, Simprug
Kebayoran Lama Jakarta Selatan 12220 - Indonesia

E-mail: thamsheregar@gmail.com

Teregistrasi I tanggal 7 Juli 2019; Diterima setelah perbaikan tanggal 8 Agustus 2019;
Disetujui terbit tanggal: 31 Desember 2019

ABSTRAK

Daerah Bogor merupakan daerah yang memiliki geomorfologi yang tersusun atas batuan yang bersifat *ductile*. Suatu bangunan seharusnya didirikan pada suatu lapisan *bedrock* yang bersifat *rigid* agar bangunan tersebut dapat berdiri dengan kokoh dan dapat meminimalisir adanya kerusakan bangunan, untuk mengukur dan memodelkan geologi dari *bedrock* dapat menggunakan metode 2D seismik tomografi dengan *irregular mesh* pada *software* GMSH lalu dilakukan inversi tomografi dengan Python. Pemodelan *forward* dan inversi dilakukan secara berulang hingga diperoleh data *traveltime* hasil perhitungan berdasarkan model terbaru yang paling sesuai dengan data *traveltime* observasi. Hasil yang diperoleh adalah pemetaan lapisan bawah permukaan bumi hingga ke *bedrock* secara detail, dan perhitungan matematis yang cepat. Maka dari itu, dengan menggunakan metode 2D tomografi dengan *irregular mesh* dapat mengetahui karakteristik lapisan dekat permukaan bumi dengan respon inversi tomografi berupa data kecepatan dan menentukan letak pondasi bangunan.

Kata Kunci: *Bedrock*, Ciseeng, tomografi, *Irregular mesh*, Software GMSH, Python

ABSTRACT

Bogor is an area that has geomorphology composed of ductile rocks. Buildings should build on a rigid bedrock layer so that the buildings could stand firmly and minimize the damage. This study was conducted to measuring and geological modeling from the bedrock using a 2D seismic tomography method with irregular mesh on GMSH software and Python for the inversion process. Forward and inversion modeling was carried out repeatedly until obtained the calculated travel time based on the latest model that best matched with observed travel time. The final results obtained are the detailed image of the subsurface layer until the bedrock with the further mathematic measurement. Therefore, using the 2D seismic tomography method with irregular mesh could identify the characteristic of the subsurface layer with the inverse response and determine the position of the building foundation.

Keywords: *Bedrock*, Ciseeng, GMSH software, irregular mesh, Python, and tomography.

I. PENDAHULUAN

Ciseeng merupakan daerah yang berada di perbatasan antara dua kabupaten, yaitu Tangerang dan Bogor. Menurut Azzam (2019) daerah ciseeng merupakan daerah yang memiliki manifestasi panas bumi berupa mata air panas bertepatan pada Gunung Peyek dan dikelilingi dengan endapan *travertine* yang bersifat karbonatan pada Gunung Panjang. Akbar dan Sudihartono (1994) berpendapat bahwa daerah Ciseeng juga merupakan daerah yang padat penduduk sehingga diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui kerentanan tanah di daerah tersebut sehingga bangunan yang dibangun di daerah tersebut dapat berdiri kokoh. Tidak kokohnya suatu bangunan dipengaruhi oleh satu faktor utama yaitu penempatan pondasi yang kurang tepat, dan lainnya. Oleh karena itu pondasi bangunan itu harus terletak di batuan dasar keras/rigid dibawah permukaan bumi. Batuan dasar ini harus dipetakan penyebarannya.

Diperlukan adanya sebuah ilmu untuk dapat mencitrakan lapisan batuan dasar bawah permukaan yang keras/rigid tersebut. Salah satu ilmu yang dapat diaplikasikan adalah ilmu geofisika yaitu metode 2D seismik tomografi dengan menggunakan *irregular mesh pada software GMSH* dan akan dilakukan *inverse modelling* menggunakan bahasa pemrograman Python.

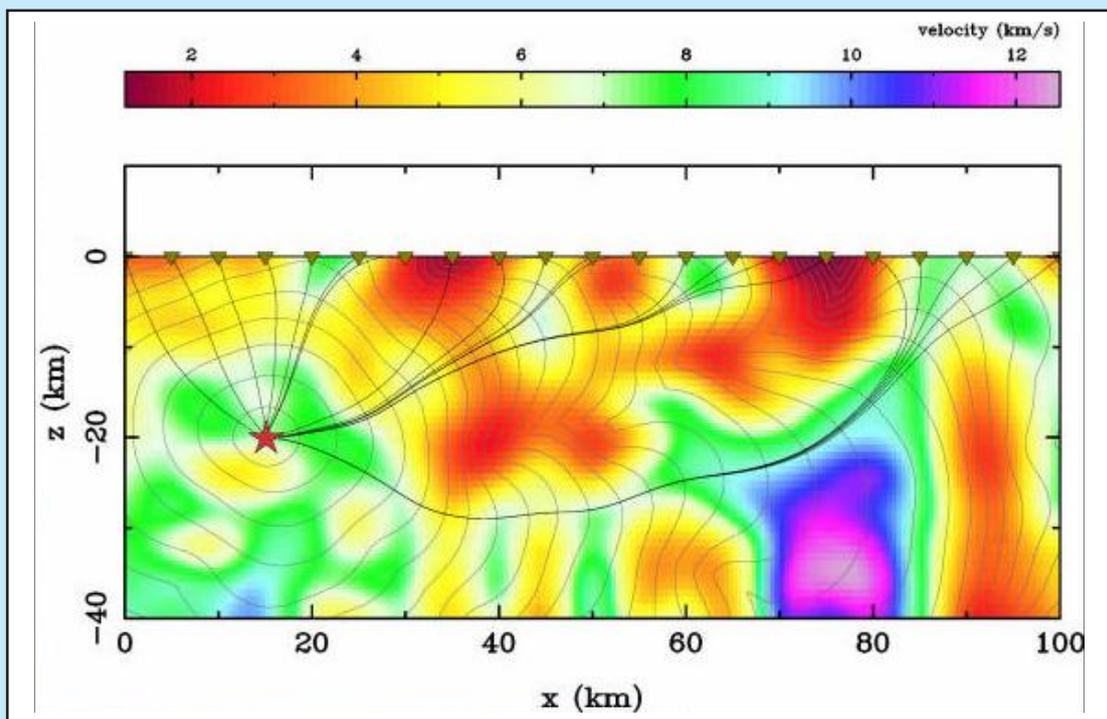
II. BAHAN DAN METODE

A. Metode Seismik

Metode seismik dikategorikan menjadi dua bagian yaitu seismik refraksi dan seismik refleksi. Studi seismik refraksi merupakan salah satu metode yang bertujuan untuk memetakan karakteristik lapisan dekat permukaan (*near surface*) seperti kedalaman lapisan lapuk (*weathering*), batuan dasar, pemetaan air tanah, lingkungan dll. Informasi geofisika yang diperoleh dari studi ini adalah model kecepatan serta kedalaman lapisan batuan bawah permukaan. Informasi tersebut didapat dari hasil *first break* serta geometri sumber penerima (Abdullah 2010). Prinsip utama metode seismik refraksi adalah penerapan waktu tiba pertama gelombang langsung maupun gelombang refraksi. Hukum fisika yang digunakan sebagai prinsip dari metode refraksi yaitu:

1. Hukum Snellius

Hukum ini menjelaskan perubahan arah berkas gelombang seismik menjalar melalui lapisan-lapisan bumi dengan kuantitas kecepatan yang berbeda-beda. Perubahan arah ini direalisasikan dalam bentuk gelombang yang terpantul (gelombang refleksi) dan gelombang yang terbias (gelombang refraksi).



Gambar 1
Prinsip Fermat (Abdullah, 2007).

2. Prinsip Huygens

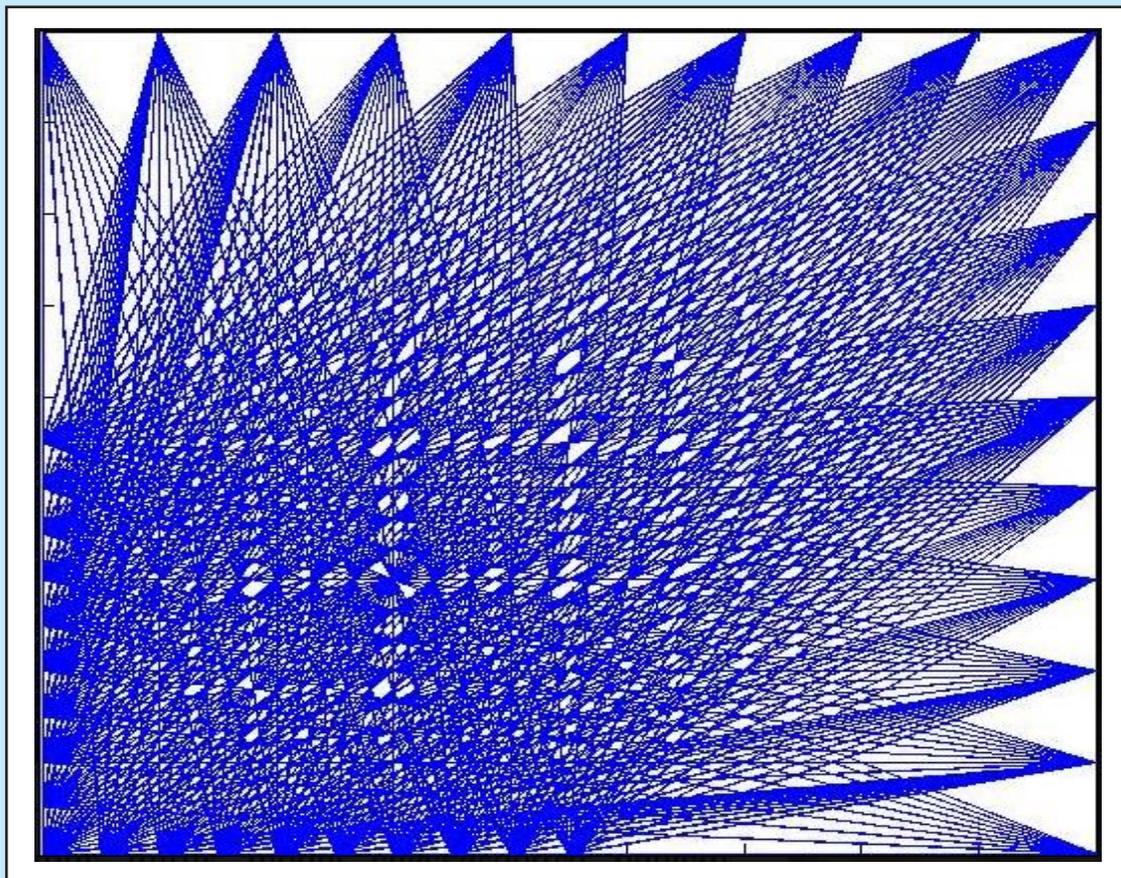
Prinsip ini menyatakan bahwa setiap titik pada muka gelombang dapat menghasilkan gelombang sekunder atau gelombang baru.

3. Prinsip Fermat 2.2. Pemodelan 2D Tomografi

Prinsip ini menyatakan bahwa gelombang akan memilih jejak atau jalur perambatan yang lebih cepat saat sedang merambat dari suatu titik ke titik yang lain. Dengan demikian, jika gelombang melewati sebuah medium yang memiliki variasi kecepatan gelombang seismik, maka gelombang tersebut akan cenderung melalui zona-zona kecepatan tinggi dan menghindari zona-zona kecepatan rendah (Abdullah, 2007). Penerapan prinsip ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Tomografi merupakan studi tentang sifat-sifat internal material dengan mengamati perilaku sinar yang melewatinya. Tomografi seismik adalah teknik pencitraan untuk mendeterminasi variasi sifat fisis batuan seperti kecepatan gelombang P, gelombang S, atenuasi, dll (Reynolds, 2011). Teknik

yang digunakan oleh tomografi seismik untuk menggambarkan bawah permukaan bumi sama seperti Teknik pada CAT – scan. *Computer assisted tomography* (CAT) menggunakan sinar X yang disebarkan melalui tubuh pada arah yang berbeda – beda, namun yang menjadi berbeda ialah, gelombang yang dipancarkan oleh sinar X lurus, sedangkan tomografi seismik tergantung pada kecepatan struktur medium (Earthscape Education and Outreach, 2011). Menggunakan teknik tomografi seismik, peneliti memecahkan kode informasi yang terkandung pada seismogram untuk mengembangkan gambaran irisan di bawah permukaan bumi. Gambar tersebut bukan hanya digunakan untuk mengetahui komposisi dari interior Bumi, melainkan untuk membantu menjelaskan misteri geologi (IRIS). Konsep dalam tomografi seismik adalah menyajikan gambaran bawah permukaan dalam domain kecepatan. Gambar atau pencitraan ini ditampilkan dalam sel-sel yang pada satu sel dianggap merupakan satu kecepatan gelombang lokal (Justice, dkk. 1989). Tomografi seismik biasanya dirumuskan sebagai sebuah



Gambar 2

Contoh *raytracing* dengan menggunakan Teknik Bresenham yang diasumsikan bahwa jejak sinar dari sumber ke penerima berupa garis lurus (Abdullah, 2010).

inverse problem. Selain *inverse problem*, *forward problem* merupakan hal yang sangat penting dalam kesuksesan tomografi. *Forward problem* bertujuan untuk menelusuri jejak gelombang (*ray tracing*) dari sumber ke penerima di dalam medium. Terdapat beberapa teknik tomografi diantaranya *refraction travelttime tomography*, *finite-frequency travelttime tomography*, *reflection travelttime tomography* dan *waveform tomography*. Dalam *refraction travelttime tomography*, data yang diobservasi adalah *first-arrival travelttime* (t) dan parameter model *slowness* (s). Hubungan antara (t) dan (s) dirumuskan sbb:

$$t = Ls \quad (1)$$

dimana L adalah kernel matrix berupa jarak jejak sinar dalam sistem sel tomografi.

Pada tahap inversi kecepatan gelombang lokal digantikan dengan kelambanan lokal (*invers* dari kecepatan gelombang lokal) untuk memudahkan perhitungan. Hal ini dikarenakan persamaan inversi menjadi linier ketika berada dalam domain kelambanan (*slowness*) (Abdullah, 2010).

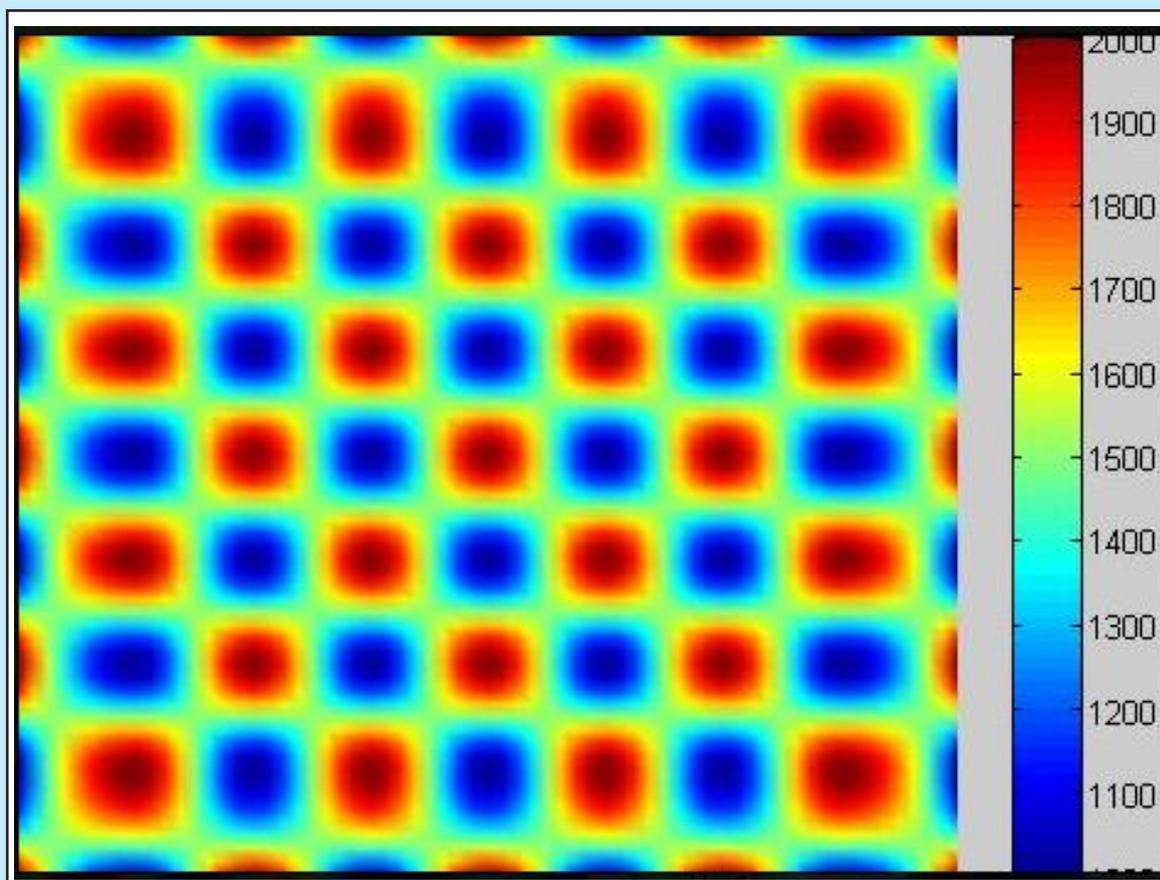
Gambar 2 merupakan contoh *ray tracing* dengan menggunakan Teknik Bresenham, diasumsikan *ray tracing* dari sumber ke penerima berupa garis lurus.

Input model *checkerboard* untuk pasangan sumber dan penerima seperti yang sudah disebutkan ditunjukkan pada Gambar 3.

Hasil rekonstruksi tomografi menggunakan model *checkerboard* ditunjukkan pada Gambar 4.

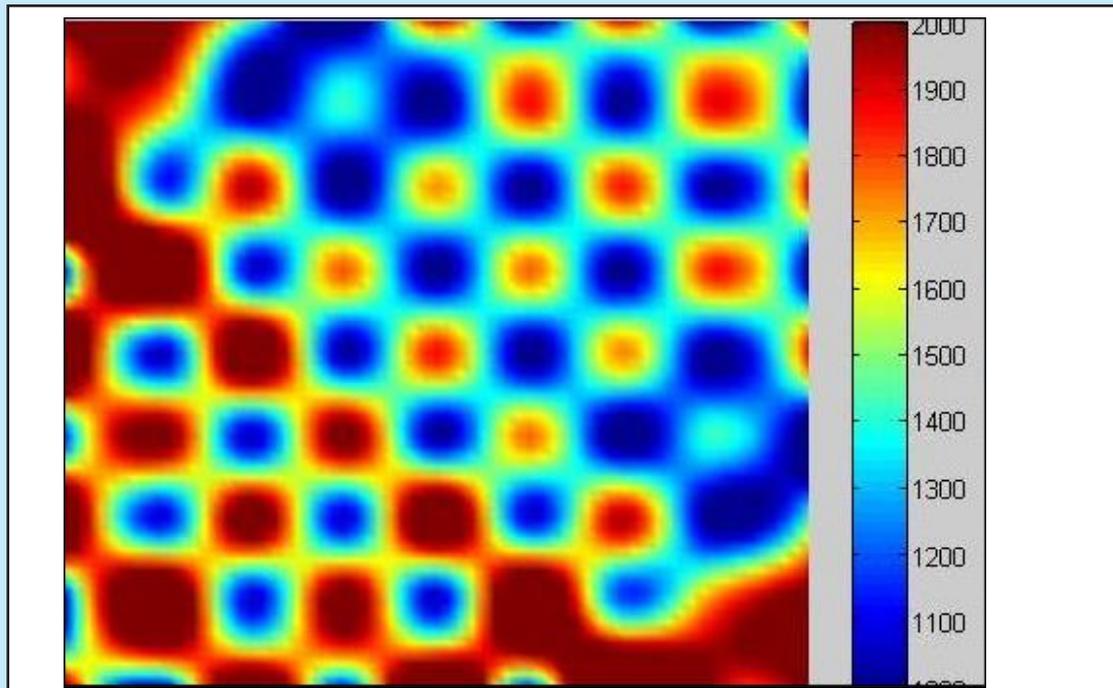
Pengambilan data seismik refraksi dilakukan pada tanggal 08 – 13 April 2019 di Gunung Peyek, Bogor, Jawa Barat. Terdapat 2 lintasan pengukuran dengan panjang masing-masing lintasan yaitu 72 meter dengan 24 *receiver* dan spasi antar *receiver* berjarak 3 meter. Terdapat 3 *source* yaitu *zero*, *mid*, dan *far*. Sebaran lintasan ditunjukkan oleh Gambar 5.

Pada penelitian ini digunakan pemodelan dengan metode tomografi seismik. Metode ini melakukan iterasi pelacakan sinar (*forward refraction raytracing*) melalui pemodelan yang kecepatan awalnya diperkirakan yang kemudian waktu tempuh yang didapatkan (hasil perhitungan) dibandingkan dengan waktu tempuh hasil pengukuran, yang kemudian diproses ulang dengan beberapa model



Gambar 3
Hasil tomografi untuk model *checkerboard* lurus (Abdullah, 2010).

2. Identifikasi *Bedrock* Menggunakan Pemodelan 2D Seismik Tomografi dengan *Software* GMSH dan *Phyton* di Daerah Gunung Peyek Ciseeng, Bogor, Jawa Barat (Abdullah, A., dkk.)



Gambar 4 Hasil rekontruksi tomografi untuk model *checkerboard* lurus (Abdullah, 2007).

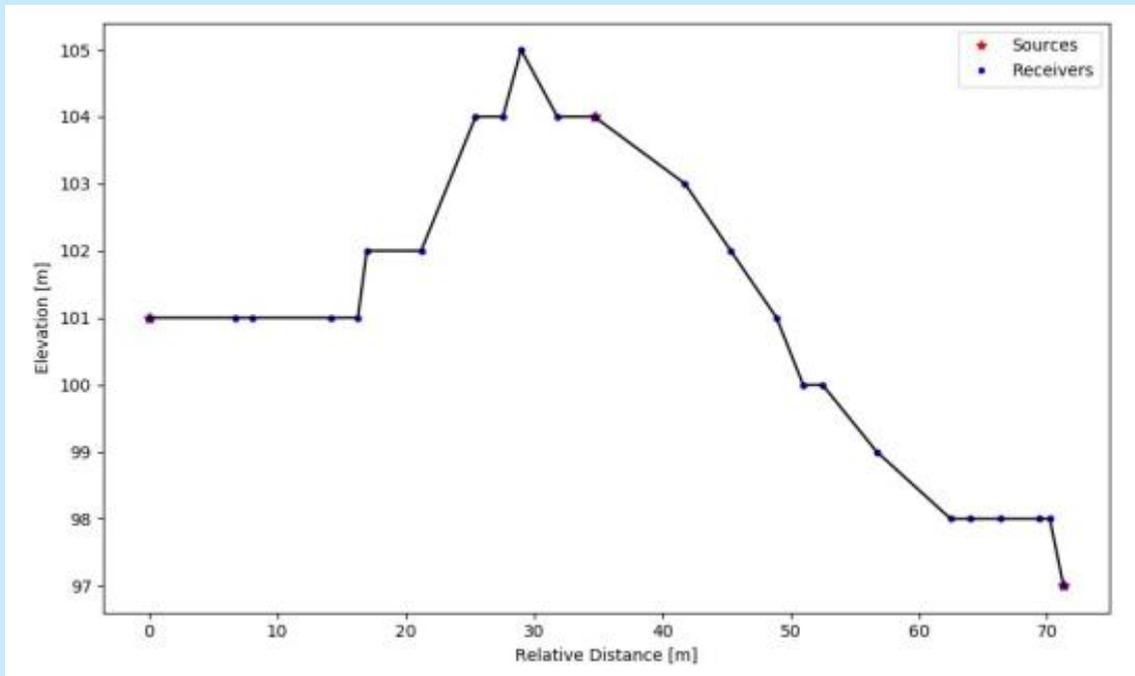


Gambar 5 Desain survei pengukuran seismik refraksi.

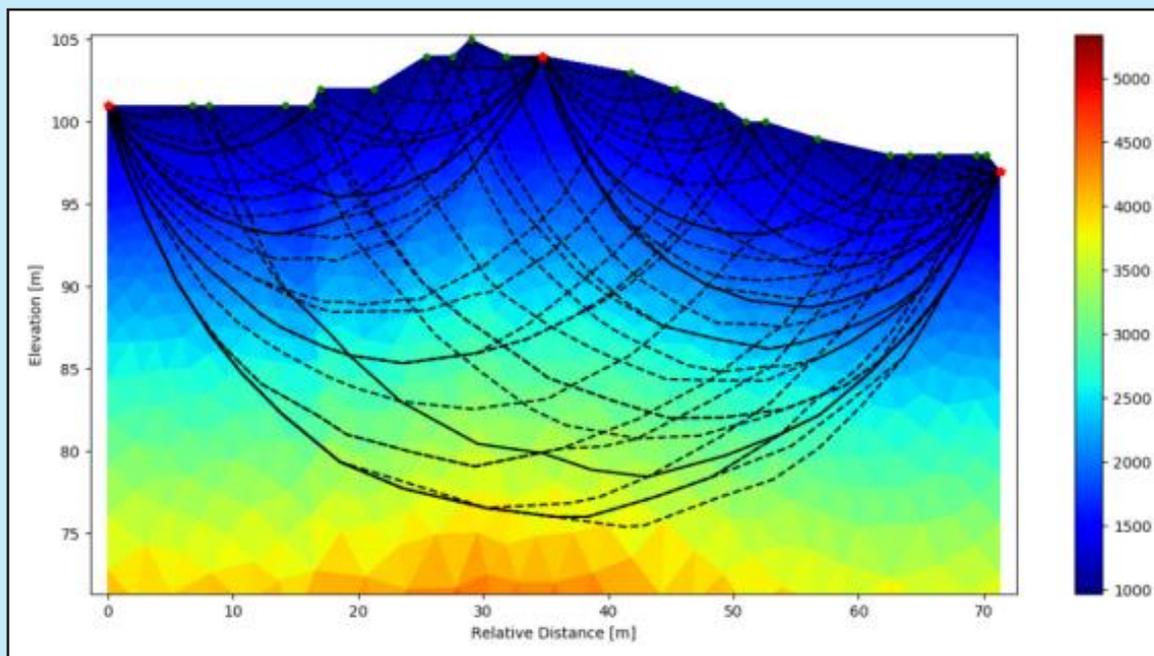
dengan tujuan dapat menemukan waktu tempuh minimum antara sumber dan penerima untuk setiap sumber dan penerima sehingga akan didapatkan model kecepatan gelombang pada setiap titiknya.

Pada penelitian ini digunakan pemodelan dengan metode tomografi seismik. Metode ini

melakukan iterasi pelacakan sinar (forward refraction raytracing) melalui pemodelan yang kecepatan awalnya diperkirakan yang kemudian waktu tempuh yang didapatkan (hasil perhitungan) dibandingkan dengan waktu tempuh hasil pengukuran, yang kemudian diproses ulang dengan beberapa model



Gambar 6
Geometri topografi.



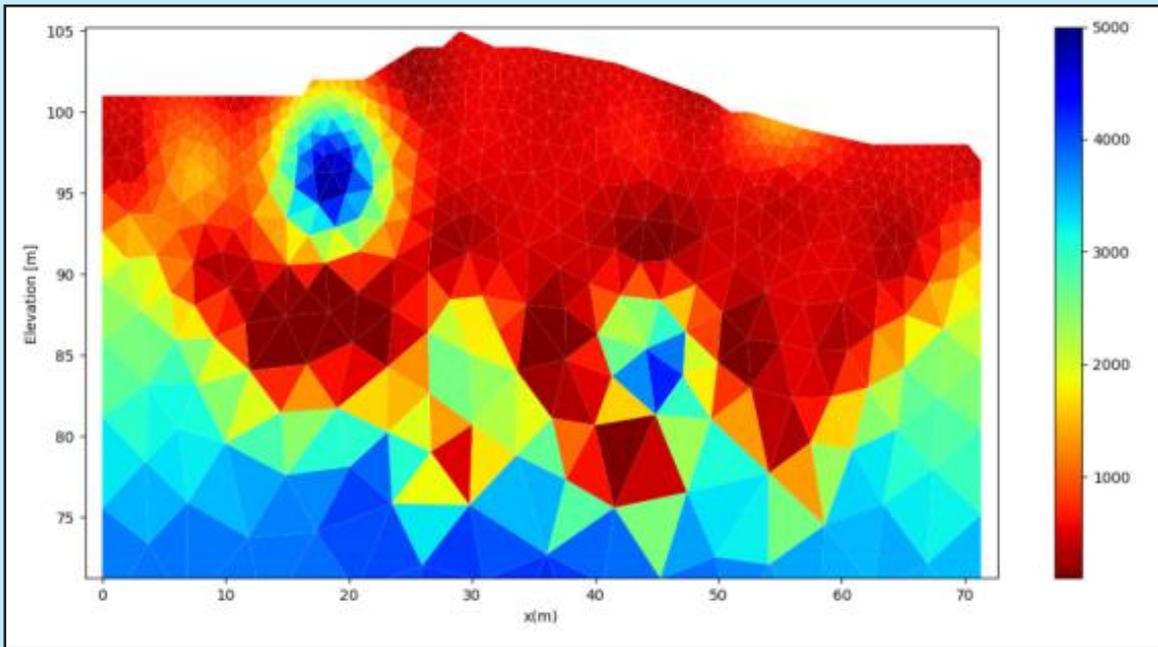
Gambar 7
Ray tracing sumber ke penerima.

dengan tujuan dapat menemukan waktu tempuh minimum antara sumber dan penerima untuk setiap sumber dan penerima sehingga akan didapatkan model kecepatan gelombang pada setiap titik nya.

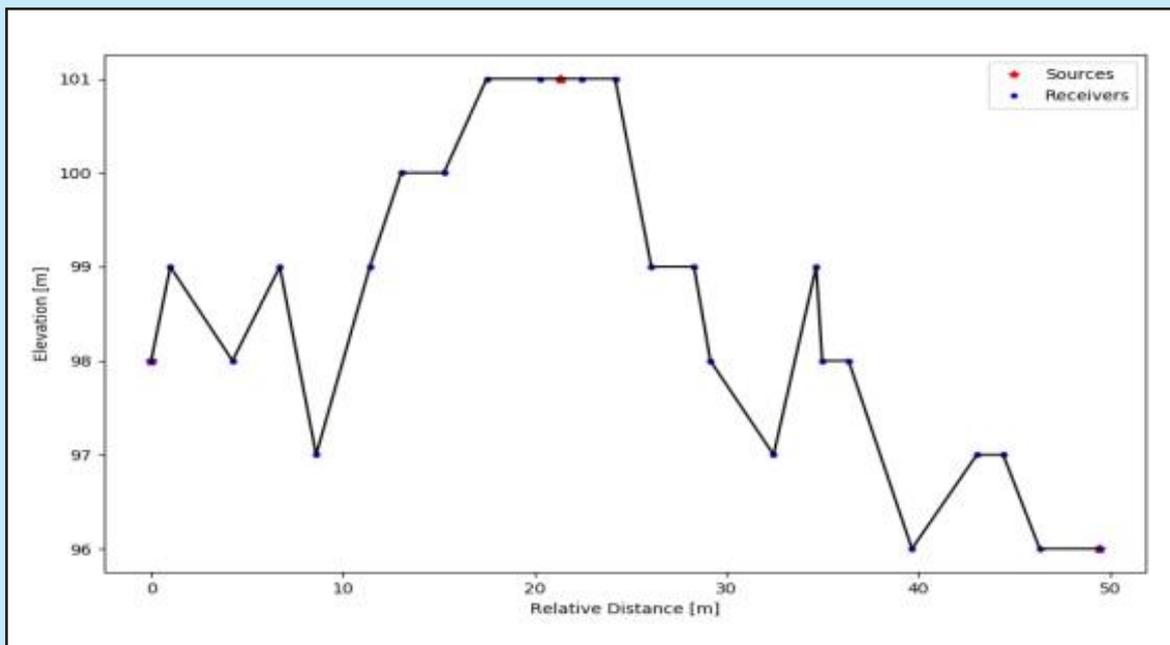
Software yang digunakan adalah GMSH dan Bahasa pemrograman Python untuk memodelkan dengan melakukan irisan secara vertikal.

III. HASIL DAN DISKUSI

Target dari penelitian ini yaitu dapat mengidentifikasi kedalaman lapisan *bedrock* di daerah Ciseeng, Jawa Barat. Gambar 6 merupakan geometri dari hasil pengukuran yang dilakukan pada lintasan 1. Data geometri memberikan informasi mengenai koordinat *source*, *receiver* dan topografi



Gambar 8 Hasil 2D tomografi menggunakan Python pada lintasan 1.



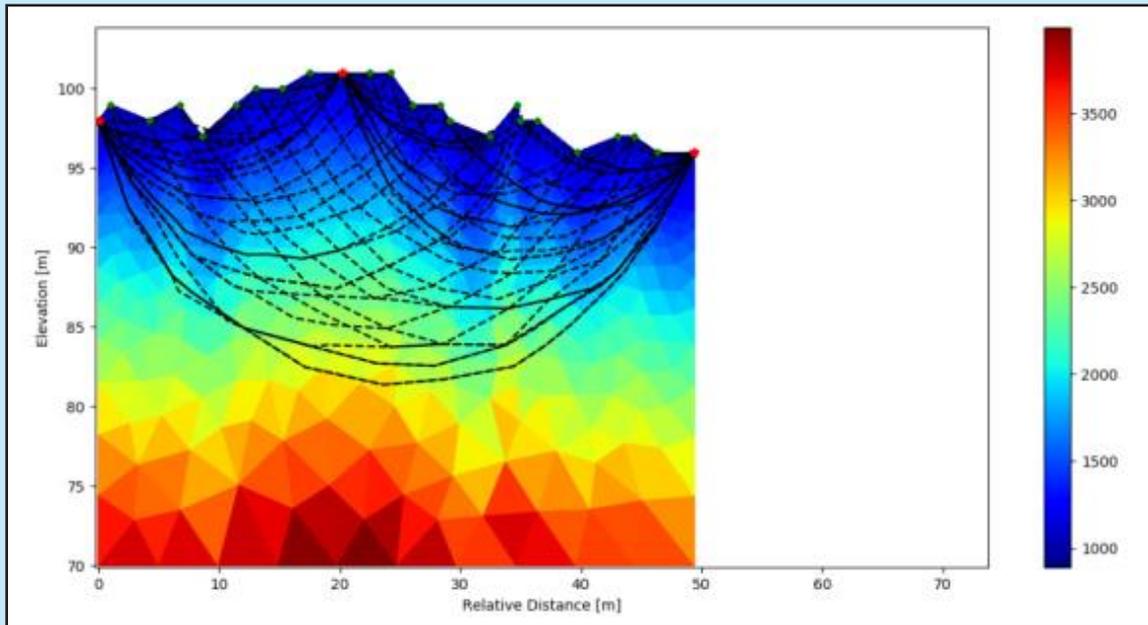
Gambar 9 Geometri topografi.

lintasan. *Source* berjumlah 3 yang ditandai dengan bintang berwarna merah dan *receiver* berjumlah 24 yang ditandai dengan lingkaran berwarna biru.

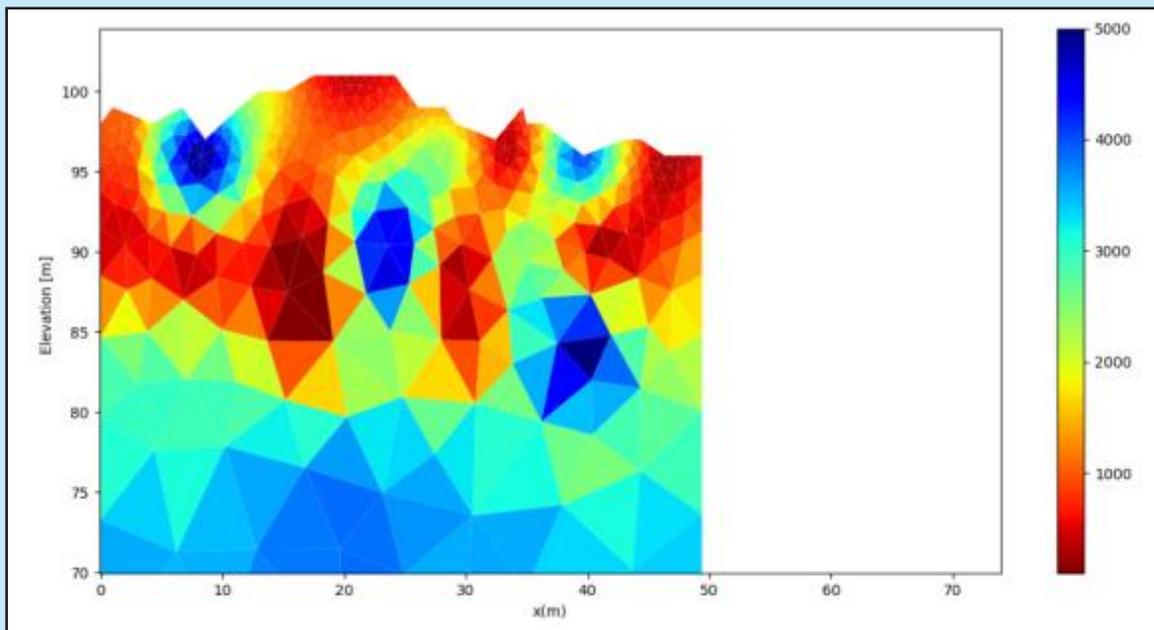
Pada Gambar 7 menunjukkan penyebaran raytracing dengan gelombang yang dipancarkan dari *source* pertama akan merambat sesuai dengan hukum Fermat. Jika sebuah gelombang merambat dari satu titik ke titik yang lain, maka gelombang tersebut akan memilih jejak yang tercepat melalui lapisan bawah

permukaan dan terekam oleh *receiver*. Gelombang yang dipancarkan oleh satu *source* akan terekam ke seluruh *receiver*.

Selanjutnya, Gambar 8 merupakan hasil citra tomografi seismik refraksi lintasan 1, menunjukkan keadaan bawah permukaan hingga kedalaman 35 meter (elevasi 70 – 105 m). Pemodelan tersebut memiliki variasi kecepatan yang berbeda-beda mulai dari 1000 – 5000 m/s. Besarnya kecepatan ditandai



Gambar 10
Ray tracing sumber (source) ke penerima (receiver).



Gambar 11
Hasil 2D tomography menggunakan software Python pada lintasan 2.

dengan warna yang bervariasi. Variasi kecepatan digunakan untuk melihat respon gelombang pada setiap sel yang nantinya akan diselidiki untuk mengetahui letak *bedrock* yang digunakan sebagai pondasi suatu bangunan. Terlihat perbedaan kecepatan mulai dari kecepatan rendah hingga kecepatan tinggi. Kecepatan rendah menunjukkan adanya suatu lapisan lapuk sedangkan kecepatan tinggi menunjukkan adanya lapisan *bedrock*.

Gambar 8. Hasil 2D tomografi menggunakan Python pada lintasan 1 Hasil tomografi lintasan 1 menunjukkan bahwa daerah tersebut didominasi lapisan lapuk karena melewati area pesawahan. Lapisan lapuk ditandai dengan kecepatan sangat rendah yaitu kurang dari 1000 m/s tersebar pada elevasi 85 – 105 meter. Selain itu, terdapat selingan endapan *travertine* diduga memiliki kecepatan yang berkisar sekitar 2000 – 5000 m/s. Kecepatan *Bedrock* berasosiasi antara kecepatan sangat tinggi (4000 – 5000 m/s) dan terdapat pada elevasi 92 – 97 meter untuk permukaan dangkal dan 70 – 85 meter untuk bawah permukaan yang dalam. Daerah tersebut dapat digunakan sebagai pondasi, akan tetapi pada elevasi 92 – 97 meter hanya dapat digunakan sebagai pondasi untuk bangunan semi permanen. Pengukuran selanjutnya dilakukan pada lintasan 2 dengan informasi geometri berupa koordinat source, receiver dan topografi. Source berjumlah 3 yang ditandai dengan bintang berwarna merah dan receiver berjumlah 24 yang ditandai dengan lingkaran berwarna biru, dapat dilihat pada

Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan persebaran *raytracing* dengan gelombang yang dipancarkan dari *source* terekam oleh semua *receiver*.

Gambar 11 merupakan hasil citra tomography seismik refraksi lintasan 2, menunjukkan keadaan bawah permukaan hingga kedalaman 30 meter (elevasi 70 – 100 meter). Pemodelan tersebut memiliki variasi kecepatan yang berbeda-beda mulai dari 1000 – 5000 m/s. Besarnya kecepatan ditandai dengan warna yang bervariasi.

Hasil tomografi pada Gambar 11 menunjukkan bahwa terdapat lapisan lapuk yang tersebar sepanjang offset dengan kecepatan yang rendah (< 1000 m/s) dan terdapat pada elevasi 85 – 100 meter. Pada sebaran lapisan lapuk diselingi oleh lapisan dengan kecepatan yang relatif tinggi. Lapisan tersebut diduga sebagai *travertine* dan/atau *bedrock*. Lapisan *travertine* diperkirakan memiliki kecepatan berkisar 2000 – 5000 m/s. Sedangkan lapisan *bedrock* berasosiasi dengan kecepatan tinggi, yaitu berkisar antara 4000 – 5000 m/s pada elevasi 94 – 98 meter,

93 – 97 meter, dan 85 – 94 meter untuk permukaan dangkal; 82 – 87 meter dan 70 – 80 meter untuk bawah permukaan yang dalam.

Pada kedua pemodelan 2D tomografi, permukaan lapisan yang dalam tidak sepenuhnya terkena gelombang seismik, maka pada elevasi dalam ini kurang dipercaya sebagai adanya anomaly berupa *bedrock*.

Setelah dilihat dari hasil tomografi kedua lintasan, *bedrock* yang lebih layak digunakan untuk pondasi bangunan adalah pada lintasan 2. Dengan mengetahui karakteristik suatu lapisan dekat permukaan bumi tersebut, dapat ditentukan letak suatu pondasi bangunan, seberapa dalam pondasi tersebut diletakkan, dan dapat dilakukannya antisipasi atau mitigasi untuk mencegah pembangunan di daerah yang berdampak likuifaksi atau pada lapisan lapuk. Maka dari itu, jika ingin melakukan pembangunan di daerah tersebut maka harus meletakkan pondasi pada elevasi sekitar 98 – 94 meter, 97 – 93 meter, dan 94 – 85 meter di bawah permukaan agar bangunan tetap kokoh dan terhindar dari kerusakan akibat kesalahan meletakkan pondasi suatu bangunan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pemodelan yang sudah dilakukan, pada lintasan pertama keberadaan *bedrock* diidentifikasi oleh kecepatan tinggi berkisar antara 4000 – 5000 m/s dan terdapat pada elevasi 92 – 97 meter, pada permukaan dangkal dan 70 – 85 meter untuk bawah permukaan yang dalam. Namun dikarenakan keberadaan *bedrock* sangat dangkal yaitu pada elevasi 92 – 97 meter, maka lapisan tersebut hanya dapat digunakan pondasi untuk bangunan semi permanen.

Pada lintasan kedua didapatkan kecepatan tinggi yang menandakan posisi *bedrock* pada elevasi 94 – 98 meter, 93 – 97 meter, dan 85 – 94 meter untuk permukaan dangkal; 82 – 87 meter dan 70 – 80 meter untuk bawah permukaan yang dalam. Namun, dikarenakan permukaan yang dalam tidak seluruhnya terkena gelombang seismik, maka pada elevasi dalam ini kurang dipercaya sebagai adanya anomaly berupa *bedrock*.

Kedua lintasan juga terlihat adanya endapan *travertine* yang tersebar dibawah permukaan bumi, dengan kecepatan sekitar 2000 – 5000 m/s.

Yang cocok untuk dijadikan pondasi berada pada lintasan kedua, dikarenakan kedalaman *bedrock* mencapai elevasi 5 – 10 meter dan tidak banyak terdapat lapisan lapuk di bawahnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada dosen Universitas Pertamina, Bapak Agus Abdullah atas bimbingannya sehingga penulisan karya ini menjadi lebih baik.

Serta ucapan terimakasih kepada dosen, asisten, dan teman-teman program studi teknik geofisika Universitas Pertamina yang telah mengizinkan menggunakan data penelitian daerah Ciseeng, Bogor, Jawa Barat.

KEPUSTAKAAN

- Abdullah, A.**, 2007, *Fermat Principle*, dilihat pada 28 Juni 2019, dari <http://ensiklopediseismik.blogspot.com/2007/07/prinsip-fermat-fermats-principle.html>
- Abdullah, A.**, 2010, *Seismic Tomography*, dilihat pada 30 Juni 2019, dari <http://ensiklopediseismik.blogspot.com/2010/03/seismic-tomography.html>
- Abdullah, A.**, 2010, *Seismik Refraksi*, dilihat pada 30 Juni 2019, dari <https://ensiklopediseismik.blogspot.com/search?q=seismik+refraksi>
- Akbar, N., Sudihartono. K.**, 1994, Geologi Daerah Air Panas Ciseeng, Kecamatan Parung, Daerah TK.II Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Departemen Pertambangan dan Energi
- Azzam, Izzudin**, 2019, Pemodelan Geokimia Daerah Panasbumi Ciseeng dan Sekitarnya, Kecamatan Parung, Kabupaten Bog
- Earthscope Education & Outreach**, 2011, *Seismic Tomography*, dilihat pada 19 Juli 2020, dari http://www.usarray.org/files/docs/Education/es_tomography.pdf
- Incorporated Research Institutions for Seismology**, *Seismic Tomography*, dilihat pada 28 Juni 2019, dari http://www.iris.edu/hq/inclass/fact-sheet/seismic_tomography,
- Justice, J. H., Vassiliou, A. A., Singh, S., Logel, J. D., Hansen, P. A., Hall, B. R., & Solanki, J. J.**, 1989, *Acoustic tomography for monitoring enhanced oil recovery. The Leading Edge*, 8(2), 12-19
- M. D. Poetri**, 2011, *Analisis Model Kecepatan Berdasarkan Tomografi Refleksi Waktu Tempuh (Travel-TIME Tomography Reflection)*, Universitas Indonesia: Jakarta
- Reynolds, J. M.**, 2011, *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons. pp. 342-343