

Analisis Kawasan Pembangunan Bandara Udara Internasional Yogyakarta dalam Kajian Seismik Refraksi

Tisar Dewi Pratiwi^{(1,a)*}, Mitranikasih Laia^(2,b), Rohmawati Metaningrum^(3,c)

⁽¹⁾Program Studi Fisika, Institut Teknologi dan Sains Nahdlatul Ulama Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35143

⁽²⁾Prodi Ilmu Komputer, Universitas Nias Raya, Sumatera Utara Indonesia, 22865

⁽³⁾Prodi D3 Radiologi, Akademik Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi, Yogyakarta, 55285

Email : ^(a*)tisardp@gmail.com, ^(b)mitranikasihlaia@uniraya.ac.id, ^(c)metaningrumrohma@gmail.com

Diterima (29 Oktober 2024), Direvisi (15 Maret 2025)

Abstract. This research was conducted to determine the initial study of planning for the construction of an international airport in Temon District, Kulon Progo Regency, Yogyakarta. The construction of an airport must consider the heavy load on each aircraft that will operate in the area and be able to study the structure of the subsurface. The purpose of this study is to determine the condition of the subsurface layer based on wave velocity (V_p) using the seismic refraction method. Measurements were acknowledged as many as eleven tracks with a track length of 92 meters. The data from this research were processed using the Hagiwara method. The results obtained in this research were loose sand and sand deposits. Meanwhile, the second layer is thought to be sand which is more compact, wetter and contains a mixture of clay covered by quite thick sand. The condition of the runway construction is relatively flat from a lithological aspect. Meanwhile, the second layer, which is thought to be a more compact, wetter sand with a clay mixture covered by a fairly thick sand. Airport construction conditions, especially.

Keywords: Seismic refractive, Hagiwara Method, Subsurface Structure, Geotechnical Characterization, Lithology

Abstrak. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui studi awal dalam proses perencanaan pembangunan bandara udara internasional pada kawasan Yogyakarta khususnya di Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo. Pembangunan bandara udara seharusnya mempertimbangkan beban berat pada masing-masing pesawat terbang yang akan beroperasi di kawasan tersebut dan dapat mengkaji struktur lapisan bawah permukaan. Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu menentukan kondisi lapisan bawah permukaan berdasarkan analisis kecepatan gelombang (V_p) dengan menggunakan metode seismik refraksi. Pengukuran dilakukan sebanyak sebelas lintasan dengan panjang lintasan yang diambil sebesar 92 meter. Data dari penelitian ini diolah menggunakan metode Hagiwara. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu pasir lepas dan endapan pasir. Sedangkan lapisan kedua yang diduga sebagai *sand* yang lebih kompak, lebih basah dan terdapat campuran lempung ditutupi oleh *sand* yang cukup tebal. Kondisi pembangunan bandara udara khususnya pada landasan pacu yang relatif datar dari aspek litologinya maka kondisi tersebut kurang mendukung dalam segi pembangunan. Hal ini terjadi karena kondisi landasan pacu lebih dominan lapuk, lepas, sehingga diperlukan adanya proses pengerasan terlebih dahulu dengan kualitas yang tinggi.

Kata kunci: Seismik Refraksi, Metode Hagiwara, Struktur Bawah Permukaan, Karakterisasi Geoteknik, Litologi

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur di Indonesia akan menjadi suatu perubahan sosial dikalangan masyarakat yang dapat dilihat dalam perubahan lingkungan. Salah satu transportasi yang menjadi titik fokus dalam pembangun dan terus berkembang

dan akan menjadi pusat perhatian yaitu transportasi udara. Pada kawasan asia khususnya di Negara Indonesia menjadi salah satu negara yang akan mengalami peningkatan dalam sektor transportasi udara selama tahun 1990-an [1].

Oleh karena itu pembangunan bandara YIA merupakan suatu pembangunan yang

dapat menunjang dalam sektor sosial dan ekonomi di Daerah Istimewa Yogyakarta. Pembangunan Bandar Udara Internasional Yogyakarta dimulai pada tanggal 27 Januari 2017. Pembangunan ini membutuhkan tanah seluas 597 hektar yang ditandai dengan proses “Babat Alas Nawung Krida” atau disebut sebagai peletakan batu merah oleh Presiden Indonesia yaitu Joko Widodo di Desa Jangkran, Kecamatan Temon, Kabupaten Kulonprogo, daerah Istimewa Yogyakarta [2].

Pembangunan bandara di Kecamatan Temon (YIA) perlu dilakukan untuk menggantikan bandara Adisucipto yang dirasa kurang layak, karena bandara tersebut memiliki kapasitas minim. Daya tampung pesawat yang akan mendarat mengalami terkendala mengenai pergerakan pesawat yang ada dan perluasan area bandara tidak dapat dilakukan karena terbatas lahan [3].

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui studi awal dalam proses pembangunan bandar udara, dimana pembangunan bandar udara ini seharusnya mempertimbangkan beban berat terhadap pesawat yang akan melintas dengan rata-rata beban berat pesawat terbang terbesar jenis Boeng B747- 400D memiliki berat maksimum 2,72 KN dan tekanan ban 1,04 Mpa untuk pesawat yang bermuatan. Pada daerah pembangunan bandara ini tergolong rawan banjir, gempa, tsunami [4].

Adapun lokasi yang akan dibangun bandara yang berada di Kecamatan Temon. Daerah penelitian tersebut terdiri dari morfologi sub satuan daratan alluvial pantai dan sub satuan gump pasir, dengan litologi berupa endapan pasir, adapun kondisi dikawasan Kecamatan Temon berada di lapisan lapuk dengan area pemukiman. Kawasan ini merupakan kawasan tidal lapuk yang berada digumuk pasir pantai dengan nilai q_a antara diharapkan memiliki nilai dukung tanah (q_a) 0,17-5,58 kg/cm³. Sedangkan untuk pembangunan bandar udara yang akan diijinkan dalam proses pembangunan yaitu antara 0,32-5,57 kg/cm³ dengan pengerasan tanah yaitu *low rigid pavement* dan kedalaman saat pembangunan

pondasai sebesar 3,94 m. [5].

Nilai frekuensi natural gelombang sesmik V_p sebesar 0,95 Hz hingga 8,22 Hz dengan ketebalan lapisan sedimen sebesar 5,7 meter hingga 49,6 meter. Adapun nilai ketebalan lapisan sedimen berkisar antara 1,2 hingga 15,5 dengan nilai nilai *ground shear strain* sebesar $1,0 \times 10^{-4}$ hingga $1,8 \times 10^{-3}$ dan nilai PGA lapisan tanah permukaan sebesar 44,4 gal hingga 118,4 gal. Pada kawasan ini sangat beresiko dalam pembangunan bandara, karena struktur permukaan tanah tergolong dalam skala rendah hingga tingkat. Dalam skala rasio tinggi berada pada lokasi terminal penumpang, sehingga diharuskan untuk memperhatikan dalam segi keamanan [6].

Kajian dalam penelitian sangat penting untuk mengetahui informasi tentang adanya litologi struktur bawah permukaan sehingga dapat digunakan sebagai bahan acuan dalam pertimbangan kontuksi landasan pacu dan proses pembangunan gedung yang berada disekitar bandara hingga terminal yang berada dikawasan bandara. Adapun metode yang akan digunakan dalam proses pengambilan data dan pengolahan data. Proses tersebut menggunakan metode *Delay Time*, *Intercept Time* dan rekonstruksi muka gelombang. Dalam berkembangnya jaman maka terdapat metode lain yang dapat digunakan dalam proses interpretasi data. Interpretasi data yang akan dilakukan dalam penelitian ini yaitu menggunakan bentuk topografi pada suatu bidang batas, dimana menggunakan *Time Plus Minus*, Hagiwara, Matsuda selanjutnya *Reciprocal Hawkins* [7].

Nantinya, metode pemodelan yang dilakukan pada penelitian ini adalah mengetahui struktur lapisan bawah permukaan dengan menggunakan metode Hagiwara. Metode ini digunakan sebagai salah satu metode waktu tunda atau disebut sebagai (*delay time*) yang mengasumsikan bahwa undulasi bawah permukaan tidak terlalu besar. Adapun kelebihan dalam menggunakan metode ini yaitu dapat

menampilkan kontur bawah permukaan dengan mengikuti lapisan bawah permukaannya. Berbeda dengan menggunakan metode *interceptime*. Perbedaan tersebut terdapat pada lapisan bawah permukaan atau disebut dengan *flat* (bidang). Sehingga pada lapisan bawah permukaan harus lebih detail. Oleh karena itu metode Hagiwara sangat cocok dalam perhitungan dalam analisis data [8].

Selain itu, faktor alam pun perlu menjadi perhatian khusus misalnya potensi bencana seismik akibat gempa atau pergerakan lempeng yang cukup signifikan diantaranya getaran tanah, kerusakan struktur lapisan permukaan, likuifaksi, amplifikasi, longsor dan Tsunami. Faktor tersebut dapat diketahui dengan melakukan penelitian menggunakan metode seismik bias dangkal (Seismik Refraksi) sehingga metode tersebut

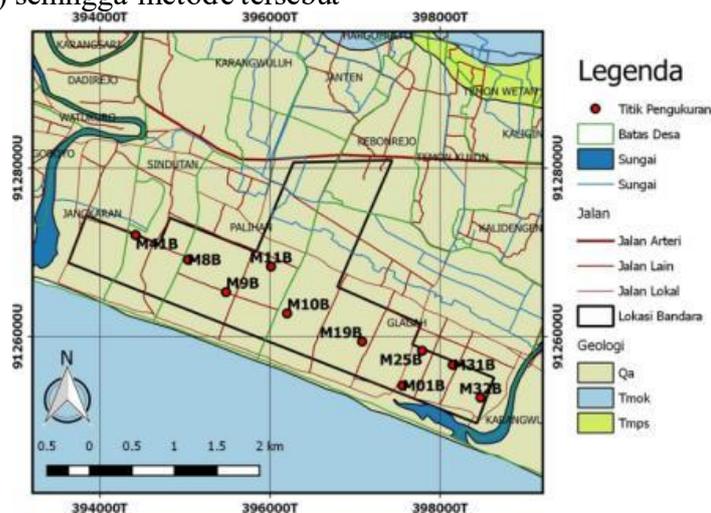
dapat mengetahui keberadaan kondisi lapisan bawah permukaan.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini yaitu di kawasan Yogyakarta khususnya pada Kecamatan Temon yang terletak pada koordinat $7^{\circ} 54' 39.20''$ Lintang Selatan dan $110^{\circ} 04' 21.11''$ Bujur Timur. Pengambilan data dilakukan pada arah lintasan mengikuti garis pantai dan sejajar dengan pelapisan (*Strike*), dimana arah tersebut berada di N 120° E dari NW-SE (barat laut-tenggara)

Gambar 1. Menunjukkan bahwa terdapat masing-masing lokasi diaplikasikan satu lintasan dengan menggunakan metode seismik refraksi.



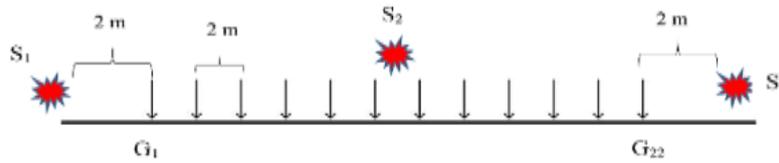
Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Proses Pengambilan Data

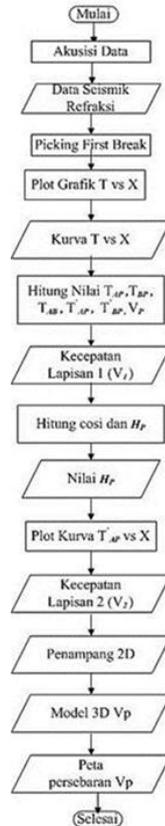
Penelitian ini dilakukan secara langsung pada tanggal 12 September-16 September 2017. Perangkat peralatan yang digunakan saat pengukuran yaitu *Seismograf Doremi*. Software yang akan digunakan yaitu (*Source Code dan Seisimager*). Proses akuisisi data dapat dilakukan berdasarkan target dan desain survei yang diinginkan. Proses akuisisi data dapat dilakukan berdasarkan target dan desain survei yang diinginkan. Lintasan penelitian berbentuk garis lurus (line) dengan spasi antar geofon 2 m,

jarak geofon dengan *source* 2 m, satu lintasan terdiri dari 2 *spread* dan 5 kali *shoot* yakni *end of spread* dan *midspeed* seperti **Gambar 2**.

Adapun proses pengolahan data berupa *short ather* dalam fungsi waktu datang gelombang vs jarak geofon (t,x) yang terekam pada seismograf kemudian diolah dengan menggunakan metode *Hagiwara*. Saat akuisisi parameter yang digunakan yaitu *recording time/delay* 0,25 s, *sampling rate/step* 0,25 s dengan jarak antar *source* sebesar 2 m. Untuk pengolahannya hanya dilakukan pada data *forward* dan *reverse* **Gambar 3**.



Gambar 2. Ilustrasi akuisi data



Gambar 3. Diagram alir dalam proses pengolahan data dengan menggunakan metode Hagiwara

Proses Pengolahan Data

Dalam proses pengolahan data tahap pertama yang perlu dilakukan adalah *picking first break*. Proses tersebut menggunakan metode seismik refraksi dilakukan pada sinyal gelombang primer yang pertama kali terekam oleh geofon. Pada proses picking dilakukan menggunakan *software* Geogiga. Hasil rekaman untuk data yang baik akan mudah dibaca *first break*-nya. Setelah data waktu tiba (*first break*) dipicking/ditentukan untuk setiap posisi geofon lalu ditabelkan dalam kolom posisi geofon atau jarak (X) dan waktu tiba (T). Grafik T (*travel time*) vs X (jarak) diplot untuk memisahkan antara *trend* data *direct* atau *refract* kemudian *trendline* linier masing-masing data dimunculkan ke dalam grafik.

Trendline kurva tersebut antara lain *direct forward*, *direct reverse*, *refract forward* dan *refract reverse*. Tahap selanjutnya, nilai *travel time* pada data *direct* dihitung dengan menggunakan persamaan *trendline refract* dimana X merupakan data jarak. Setelah dihitung, akan mendapatkan nilai *travel time* yaitu T_{AP} dan T_{BP} . Nilai T_{AB} (*source to source travel time*) dihitung dengan persamaan *trendline refract* dimana X merupakan data *shot point*. Nilai T_{AB} berdasarkan data *forward* dan *reverse* dirata-rata dan menjadi nilai T_{AP} (7). Perhitungan nilai T_p dan T'_{AP} dengan persamaan berikut.

$$T_p = T_{AP} + T_{BP} - T_{AB} \quad (1)$$

$$T'_{AP} = T_{AP} - \frac{(T_{AP} + T_{BP} - T_{AB})}{2} \quad (2)$$

$$T'_{AP} = \frac{h_A \cos i}{V_1} + \frac{x}{V_2} \quad (3)$$

Jika dilihat pada persamaan (3) diatas maka persamaan tersebut menunjukkan bahwa T'_{AP} adalah linier terhadap x , misalkan dipilih x maka x tersebut sebagai absis dan T'_{AP} adalah koordinat, selanjutnya diplot maka terdapat titik-titik yang sesuai dengan garis lurus dapat terlihat. Jika *short* atau disebut sebagai bentuk baru lebih pendek dari kurva *travel time* dihubungkan maka terdapat titik-titik yang berhubungan. Adapun nilai dari T'_{AP} , nilai tersebut mudah dihitung dengan menggunakan persamaan (3) dan kecepatan V_2 sebagai lapisan bawah permukaan maka dapat diperoleh kemiringan (*slope*) garis lurus, sehingga T'_{AP} yang diperoleh dari persamaan (2), maka suatu besaran ini menunjukkan adanya kecepatan lapisan bawah (*veleocity-travel time*) dengan cara sama, yang dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$T'_{BP} = T_{BP} - \frac{T_{AP} + T_{BP} - T_{AB}}{2} \quad (4)$$

Jika, terdapat jarak antar titik terhadap penerima yaitu x_m dengan mengambil salah satu titik B maka titik berikutnya sebagai titik asal, oleh karena itu persamaan yang diperoleh sebagai berikut:

$$T'_{BP} = \frac{h_B \cos i}{V_1} + \frac{x}{V_2} \quad (5)$$

Kedalaman lapisan bawah permukaan pada titik A (h_A) dan titik B (h_B) dapat dilihat dalam persamaan 5 menjadi kecepatan pertama sehingga dapat dihitung dengan menggunakan nilai gradien persamaan trenline direct dari grafik T vs X , dimana $V_1=1/m$ dan nilai yang didapatkan dari data *forward* dan *reverse* dirata-ratakan menjadi V_1 . Tahap keempat plot grafik T'_{AP} terhadap jarak geofon (X), gradien persamaan *trendline* grafik digunakan untuk menghitung V_2 dan $V_2 =1/m$. Selanjutnya menghitung ketebalan lapisan (h_p) dengan menggunakan persamaan.

$$H_p = \frac{V_1 \times T_p}{2 \cos i} \quad (6)$$

$$\cos i = \sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2} \quad (7)$$

Selanjutnya melakukan interpolasi data dengan menggunakan metode interpolasi linear. Interpolasi dilakukan agar dapat memprediksi nilai yang terdapat diantara dua nilai yang lainnya. Tujuan dari interpolasi data pada perhitungan agar model bawah permukaan terlihat lebih *smooth*. Dalam proses perhitungan interpolasi perlu diperhatikan gelombang langsung dan gelombang refraksi. Pertama input data jarak geofon dan *travel time* untuk *reverse* dan *forward*, selanjutnya melakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$y = y_1 + \left(\frac{x-x_1}{x_1-x_2}\right) x(y_2 - y_1) \quad (8)$$

Setelah melakukan perhitungan tersebut masukan data hasil interpolasi linear dan lakukan pengulangan dengan menghitung nilai T'_{AP} , T_{BP} , T_{AB} dan T_p . Tahap keenam melakukan perhitungan lapisan pertama dengan cara menggabungkan data *reverse* dan *forward* dengan data tengah. Saat pengambilan data shoot ditembakkan di awal, tengah dan akhir. *Picking* data terlebih dahulu, selanjutnya buat grafik hubungan antara *travel time* (ms) dengan jarak geofon (m) untuk data *reverse*, *forward* dan *center*. Selanjutnya hitung rata-rata nilai kecepatan gelombang P dengan menggunakan persamaan 6.

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{4} \quad (9)$$

Tahap terakhir pengolahan data yaitu membuat model penampang bawah permukaan dibuat berdasarkan data kedalaman dan jarak (*offset*) yang nantinya akan menunjukkan topografi bawah permukaan. Model penampang tersebut menggambarkan lapisan tanah pertama dengan kecepatan gelombang V_1 dengan kedalaman lapisannya untuk tiap jarak lintasan dan lapisan tanah kedua dengan kecepatan gelombang

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari akuisisi di lapangan diproses dengan menerapkan metode Hagiwara (dua lapisan) untuk mengetahui model lapisan bawah permukaan berdasarkan nilai V_p pada setiap titik *shot* nya. Pada lapisan pertama kecepatan gelombang P (V_1) diperoleh dari kurva waktu penjalaran gelombang

langsung dan T_{AP} , T_{BP} , dan T_{AB} . Sedangkan untuk lapisan ke dua (V_2) diperoleh dari persamaan yaitu dengan mencari waktu koreksi dari waktu pengamatan. Kecepatan gelombang P yang merambat melalui medium kemudian diinterpretasikan untuk mendapatkan litologi batuan penyusun bawah permukaan setiap lintasan survei. Kecepatan gelombang P dan kedalaman reflektor seperti **Tabel 1**.

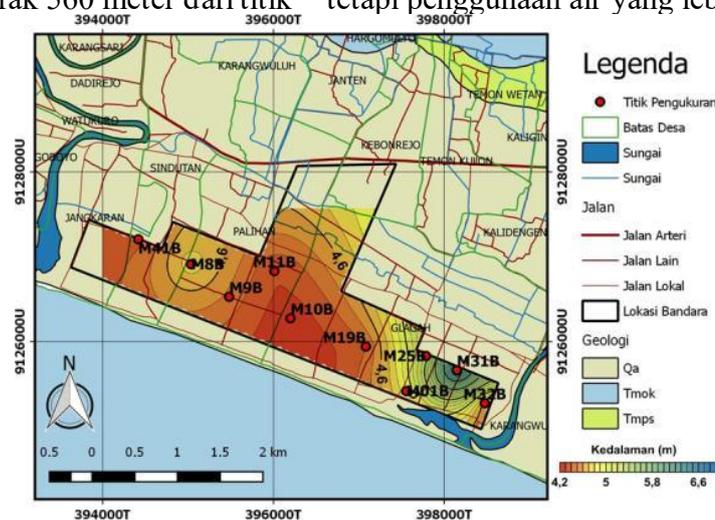
Tabel 1. Kecepatan gelombang P pada masing-masing lintasan

| Lintasan | V_p Lapisan 1 (m/s) | V_p Lapisan 2 (m/s) | h rata-rata (m) | Panjang Lintasan |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| M01 | 355,37 | 1657,85 | 5 | 74 meter |
| M41 | 318,70 | 1390,43 | 4,8 | 76 meter |
| M8 | 291,05 | 1449,13 | 4,7 | 80 meter |
| M9 | 355,69 | 1680,42 | 4,7 | 78 meter |
| M10 | 307,68 | 1795,77 | 4,9 | 80 meter |
| M11 | 242,24 | 1709,60 | 4,8 | 80 meter |
| M25 | 291,73 | 1681,21 | 5,8 | 72 meter |
| M32 | 331,92 | 1649,45 | 6,8 | 80 meter |
| M31 | 315,71 | 1664,36 | 7,8 | 74 meter |
| M19 | 339,62 | 1462,39 | 4,8 | 72 meter |

Peta distribusi persebaran kecepatan gelombang P (V_p) lapisan kedua mempunyai nilai V_p sebesar sebesar 1380 m/s hingga 1800 m/s berupa lempung berpasir (mengacu pada Burger dalam Setiawan, 2008). Sebelah barat nilai V_p terendah sebesar 1300 m/s hingga 1400 m/s pada titik lintasan M41B, M8B, M9B dan M11B berada di Desa Jangkar, Sindutan dan Glagah. Sedangkan nilai V_p sedang berada sebelah timur pada titik M25B, M01B, M31B dan M32B berada di Desa Glagah mempunyai nilai lapisan bawah permukaan (V_p) yaitu 1510 m/s hingga 1600 m/s.

Sedangkan pada jarak 560 meter dari titik

M9B mempunyai nilai lapisan bawah permukaan (V_p) tertinggi pada titik lintasan M19B dan M11B dan nilai V_p yang diperoleh sebesar 1700 m/s hingga 1800 m/s berada di Desa Palihan dan Glagah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa lapisan kedua diduga sebagai *sand* yang lebih kompak dengan kenampakan material sudah tidak terlihat dan memiliki kenampakan berwarna kecoklatan akibat pemanfaatan lahan yang tinggi didominasi oleh penggunaan air yang lebih banyak ini menjadi kontrol perubahan kenampakan fisik sedimen tersebut, akan tetapi penggunaan air yang lebih tinggi.



Gambar 4. Peta distribusi persebaran kecepatan gelombang P (V_p) berdasarkan kedalaman (m)

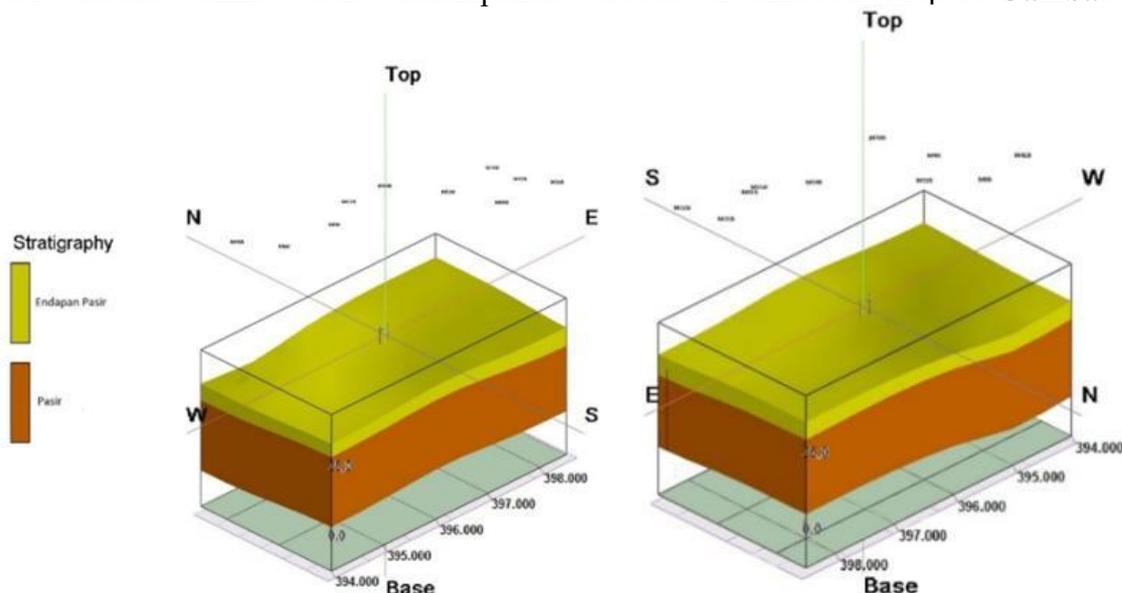
Peta distribusi kecepatan rambat gelombang P berdasarkan kedalaman (**Gambar 4**) menunjukkan kedalaman yang didapatkan sebesar 4,7 meter hingga 4,8 meter titik lokasi M41B, M8B, M9B dan M11B yang berada di Desa Jangkar, Sindutan dan Glagah. Sedangkan titik lokasi M25B, M01B, M31B dan M32B memiliki kedalaman 5 meter hingga 6,8 meter berada di Desa Glagah. Sedangkan 560 meter dari titik M9 memiliki kedalaman 4,7 meter hingga 4,9 meter yang berada di Desa Palihan dan Glagah. Hal ini menunjukkan kedalaman yang diperoleh relatif dangkal dengan nilai kedalaman rata rata sebesar 5-7 meter.

Berdasarkan hasil perhitungan V_p dengan menggunakan metode hagiwara menunjukkan bahwa pada lapisan satu dan lapisan kedua tidak ditemukan adanya lapisan keras karena dilihat dari kenampakan

dilapangan terdapat gumpul pasir cukup tebal pada kedalaman 12 meter sehingga diduga bahwa lapisan keras (*bedrock*) berada dikedalaman yang cukup dalam.

Tahap selanjutnya yaitu melakukan model 2D dengan menggunakan *software rockwork*. Pemodelan 2D seismik refraksi, dibuat terlebih dahulu model stratigrafi daerah pengukuran sebanyak dua lapisan yang menganalogikan lapisan lapuk (*top soil*) dan *bedrock*. Selanjutnya input data berupa koordinat lokal dari tiap geofon berserta nilai kedalaman lapisan lapuk dan *bedrock*.

Hasil model 2D lapisan bawah permukaan berdasarkan topografi menunjukkan terdapat dua lapisan dalam pengukuran ini yaitu lapisan pertama dengan kontur berwarna kuning sedangkan lapisan kedua berwarna coklat seperti **Gambar 5**.



Gambar 5. Model 3D berdasarkan nilai kecepatan gelombang P yang diperoleh saat pengambilan data di kawasan *runway* dilihat dari arah NW-SE.

Sedangkan untuk lapisan pertama diduga merupakan pasir lepas atau endapan pasir (mengacu pada Burger dalam Setiawan, 2008) dengan nilai lapisan bawah permukaan (V_p) sebesar 190 m/s hingga 210 m/s. Sedangkan untuk lapisan kedua yang diduga sebagai *sand* yang lebih kompak, lebih basah dan terdapat campuran lempung ditutupi oleh *sand* yang cukup tebal sehingga kedalaman yang ditempuh hanya pada kedalaman 5 meter hingga 11 meter (yang mengacu pada

Burger dalam Setiawan, 2008) dengan nilai V_p bekisar 1390,43 m/s hingga 1795,77 m/s.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil interpretasi data seismik refraksi (V_p) yang diperoleh dari satu lintasan memperlihatkan adanya dua litologi utama yaitu pasir lepas atau endapan pasir, *sand* yang lebih kompak. Berdasarkan nilai V_p yang diperoleh dapat diasumsikan bahwa

semakin bertambah kedalaman memperlihatkan batuan dan tanah dasar terletak dikedalaman yang tinggi. Oleh karena itu, Bandara Internasional Yogyakarta yang berada di Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo, berada pada gumpuk pasir hitam tebal yang berada dikawasan pantai. Kondisi pembangunan bandara udara khususnya pada landasan pacu yang relatif datar dari aspek litologinya maka kondisi tersebut kurang mendukung dalam segi pembangunan. Hal ini terjadi karena kondisi landasan pacu lebih dominan lapuk, lepas, sehingga diperlukan adanya proses pengerasan terlebih dahulu dengan kualitas yang tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Seluruh Desa Palihan, Desa Sindutan, Desa Glagah dan Desa Jangkar, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang telah bersedia memberikan izin dalam proses pengambilan data penelitian berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chang, Y., C., 2010, The development of regional airports in Asia. *WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering*, 38.
- [2] Publik, B., K., 2017, *Kementrian Perhubungan Republik Indonesia*. Retrieved from dphub.go.id/post/read/pembangunana-bandara-internasional-yogyakarta-di-kulon-progo-resmi-dimulai.
- [3] Alfiansyah, Diva, and Eddy Hartantyo. "Kajian Inversi Tomografi Seismik Refraksi Menggunakan Kode PROFIT." *Jurnal Fisika Indonesia*, vol. 23, no. 2, 2019, p. 15, <https://doi.org/10.22146/jfi.46842>.
- [4] Amelia, R., 2011, *Penyelidikan Geologi Teknik Lokasi Bandara Baru di Daerah Istimewa Yogyakarta*, Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [5] Supriyatno., 2017, *Analisis Mikrotremor Dalam Kawasan Rencana Pembangunan Bandar Udara di Kabupaten Kulon Progo Yogyakarta*, Tesis, Program Studi Geofisika, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [6] Linus, A. P., 2006, *Penafsiran Data Seismik Bias Dangkal dengan Metode Hagiwara*, Jurusan Fisika, ITB.
- [7] Haryanto, E. *Metode Seismik Bias dan Pantul*. Universitas Gadjah Mada, 2004.
- [8] Artono, Vicho Yugho, et al. "Identifikasi Lapisan Lapuk Bawah Permukaan Menggunakan Seismik Refraksi Di Desa Lengkeka Kecamatan Lore Barat Kabupaten Poso." *Natural Science: Journal of Science and Technology*, vol. 6, no. 3, 2017, pp. 291–300, <https://doi.org/10.22487/25411969.2017.v6.i3.9204>.
- [9] Azis, Besse Nurul Luthfiani, et al. "Integrasi Metode Resistivitas, Seismik Refraksi, Geologi Berbasis Geospasial Untuk Identifikasi Potensi Longsor Di Srimartani, Yogyakarta." *Indonesian Journal of Earth Sciences*, vol. 1, no. 2, 2021, pp. 109–22, <https://doi.org/10.52562/injoes.v1i2.251>.
- [10] Burger, H. Robert. *Introduction to Applied Geophysics: Exploring the Shallow Subsurface*. 1992, p. 660.
- [11] Hudha, Saiful Nurul, et al. "Penentuan Struktur Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi Di Lapangan Panas Bumi Diwak Dan Derekan, Kecamatan Bergas, Kabupaten Semarang." *Youngster Physical Journal*, vol. 3, no. 3, 2014, pp. 263–68.
- [12] J. Milsom, *Field Geophysics*, 3 th Ed. England: Wiley, 2002.

- [13] Mufida, Asmaul, et al. *928X Print) B-76*. no. 2, 2013. University Press, 2013.
- [14] Muhardi, Muhardi, et al. "Identifikasi Ketebalan Lapisan Lapuk Pada Area Rawan Longsor Menggunakan Metode Seismik Refraksi (Studi Kasus: Desa Kalirejo Kabupaten Kulonprogo)." *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, vol. 8, no. 2, 2020, pp. 141–50, <https://doi.org/10.23960/jtaf.v8i2.2454>
- [15] Nurdiyanto, Boko, et al. "Penentuan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi." *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, vol. 12, no. 3, 1, <https://doi.org/10.31172/jmg.v12i3.103>.
- [16] Refrizon, et al. "Penentuan Struktur Bawah Permukaan Daerah Pantai Panjang Kota Bengkulu Dengan Metode Seismik Refraksi." *Gradien*, vol. 4, no. 2, 2008, pp. 337–41.
- [17] Sulystyaningrum, Endah, et al. "Aplikasi Metode Seismik Refraksi Untuk Identifikaso Pergerakan Tanah Di Perumahan Bukit Manyaran Permai (BMP) Semarang." *Unnes Physics Journal*, vol. 3, no. 2, 2014, pp. 15–21, <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujp>.
- [18] Sismanto, Pengantar Survei dengan Menggunakan Gelombang Seismik. Yogyakarta: Gerbang Media Aksara, 2016.
- [19] Utami, Binar, et al. "Analisa Lapisan Keras (Bedrock) Dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi." *Jurnal Fisika FLUX*, vol. 6, no. 2, 2009, pp. 132–39.
- [20] W. M. Telford, L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, *Applied Geophysics*, 2 th Ed. New York: Cambridge University Press, 1990.
- [21] M. E. Everett, *Near-Surface Applied Geophysics*. New York: Cambridge
- [22] Zawawi, A. F., et al. "Penentuan Klasifikasi Tanah Dengan Menggunakan Metode Multi-Channel Analysis of Surface Waves Di Kapanewon Pleret, Kabupaten Bantul." *Jurnal Stasiun Geofisika ...*, vol. 1, no. 2, 2023, pp. 1–5, <https://jurnal.stageofsleman.id/index.php/jsgs/article/view/6>.

