



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 3 (2025) pp: 5218-5224

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Penggunaan Data Sondir dan Mikrozonasi untuk Interpretasi Parameter Tanah dan Perencanaan Pondasi Gedung Radar Cuaca S-Band

Maulana Putra, Hanif Cahyo Romadhon, Sigit Pramono, Hanif Andi Nugraha

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika

maulana.putra@bmgk.go.id

Abstrak

Kondisi tanah berperan penting dalam perencanaan fondasi bangunan tahan gempa. Di wilayah pesisir seperti Cilacap, Indonesia, yang memiliki potensi amplifikasi gempa tinggi, evaluasi kondisi tanah yang akurat sangat penting untuk mendukung ketahanan infrastruktur. Penelitian ini mengatasi tantangan perencanaan fondasi gedung Radar Cuaca S-Band di wilayah pesisir rawan gempa, dengan integrasi data uji sondir dan survei mikrozonasi menggunakan metode MASW dan SPAC. Hasil menunjukkan adanya lapisan tanah keras pada kedalaman 3,4 m dengan nilai qc hingga 230 kg/cm², karakteristik lempung plastis tinggi, dan nilai Vs30 yang mengklasifikasikan lokasi sebagai tanah sedang (SD). Metode terpadu ini mengungkap adanya amplifikasi lokal yang meningkatkan nilai PGA dari 0,43 g (batuan dasar) menjadi 0,50 g (permukaan tanah) dengan intensitas guncangan simulasi 6–7 MMI, menekankan pentingnya mempertimbangkan respons dinamis tanah dalam desain fondasi. Temuan ini memberikan dasar teknis untuk mendukung kebutuhan desain sistem fondasi tahan gempa pada infrastruktur penting di wilayah pesisir Indonesia. Integrasi penilaian geoteknik dan seismik ini dapat menjadi acuan dalam praktik konstruksi bangunan yang lebih aman di daerah rawan gempa.

Kata kunci: Amplifikasi Seismik, Fondasi Tahan Gempa, Mikrozonasi Seismik, Uji Sondir

1. Latar Belakang

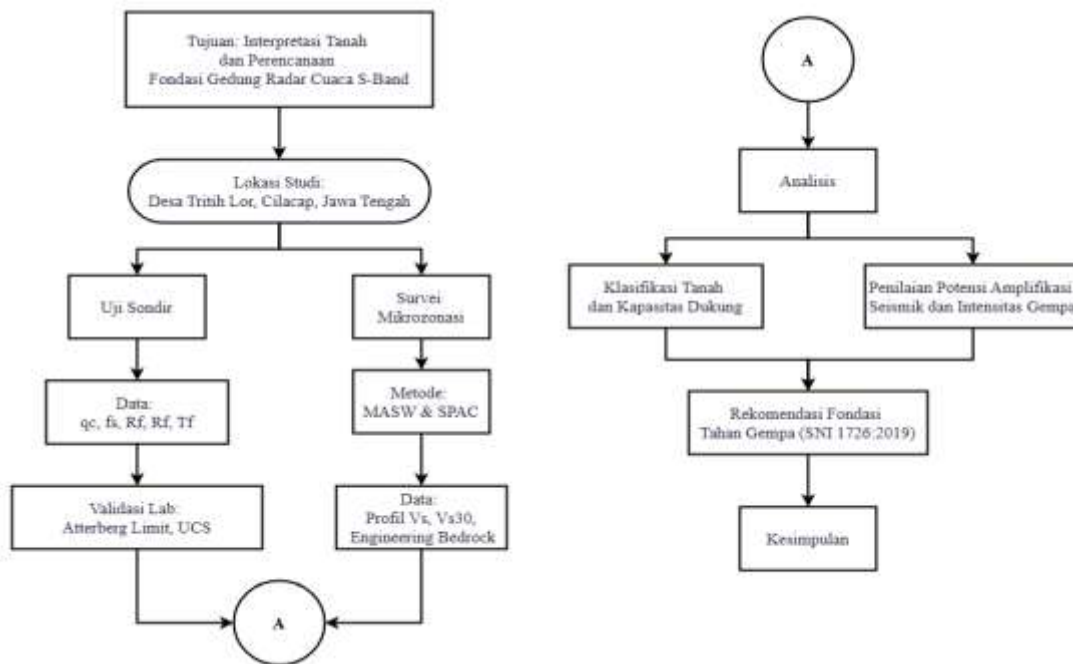
Perkembangan ilmu geoteknik modern menunjukkan bahwa karakteristik tanah memiliki peranan penting dalam perencanaan dan desain struktur fondasi. Salah satu metode investigasi tanah yang paling umum digunakan adalah uji sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) (Campo et al., 2023; Mahanta, 2011). Metode ini mampu memberikan informasi langsung mengenai ketahanan konus, gesekan lekat, dan rasio gesekan (Azhari et al., 2023; Baziw & Verbeek, 2022). Parameter-parameter ini menjadi indikator utama dalam penentuan kapasitas dukung tanah dan pemilihan jenis fondasi yang sesuai. Pendekatan berbasis CPT telah menjadi bagian dalam praktik rekayasa geoteknik, khususnya untuk mengevaluasi kondisi tanah pada zona dangkal hingga menengah. Namun demikian, pendekatan CPT ini belum sepenuhnya menjawab tantangan perencanaan fondasi di wilayah pesisir yang memiliki potensi kerentanan seismik. Di kawasan seperti Cilacap, yang didominasi oleh lapisan tanah lunak dan berisiko tinggi terhadap amplifikasi gempa (Muhaimin et al., 2016; Wachidah & Agustin, 2021), pemilihan sistem fondasi—terutama untuk bangunan penting seperti Radar Cuaca S-Band—menuntut kajian yang lebih komprehensif.

Sejumlah studi sebelumnya telah membahas analisis data uji sondir untuk klasifikasi tanah dan penentuan daya dukung fondasi (Mohammed & Aranganathan, 2018; Putra et al., 2024; Ridhayani & Saputra, 2021). Namun, pendekatan tersebut umumnya masih terbatas pada pemanfaatan data uji sondir secara tunggal tanpa dukungan informasi geoteknik tambahan dari hasil mikrozonasi. Kajian yang menganalisis parameter uji sondir dan mikrozonasi masih belum dieksplorasi dalam studi-studi sebelumnya. Penelitian ini menyajikan pendekatan terpadu pengukuran uji sondir dan mikrozonasi untuk meningkatkan akurasi klasifikasi tanah dan memberikan visualisasi kondisi tanah vertikal yang lebih komprehensif. Selain itu, penelitian ini juga akan mengidentifikasi perubahan sifat tanah terhadap kedalaman, serta mengevaluasi tingkat kerentanan seismik lokal berdasarkan hasil mikrozonasi. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah penyajian pendekatan komprehensif yang menggabungkan data uji sondir dan survei mikrozonasi dalam menghasilkan profil tanah vertikal yang akurat serta

penilaian seismik lokal. Hasil ini dapat menjadi referensi penting dalam perencanaan pondasi bangunan untuk Radar Cuaca S-Band yang tahan terhadap beban vertikal dan guncangan seismik, terutama di wilayah pesisir dengan dominasi tanah lunak seperti Cilacap.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Desa Tritih Lor, Kecamatan Jeruklegi, Kabupaten Cilacap, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia, yang secara geografis terletak pada koordinat $7,6353734^\circ$ Lintang Selatan dan $109,0364251^\circ$ Bujur Timur. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan dua metode yang digunakan, yaitu uji sondir untuk memperoleh parameter keteknikan tanah seperti daya dukung, friksi, dan klasifikasi stratigrafi dangkal, serta survei mikrozonasi seismik dengan tujuan untuk memperoleh profil kecepatan gelombang geser (V_s), nilai V_{s30} , serta estimasi kedalaman batuan dasar teknik guna menilai potensi amplifikasi seismik lokal. Gambar 1, menunjukkan diagram alur penelitian.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian.

Metode Pengukuran Sondir

Pengujian dilaksanakan pada titik S-01 dengan kedalaman penetrasi mencapai 3,4 meter, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Prosedur pengujian mengacu pada standar ASTM D5778-20. Data diperoleh menggunakan sistem konus digital terkalibrasi dengan kecepatan penetrasi konstan dan akuisisi data kontinu setiap interval kedalaman 0,2 meter. Hasil pengukuran ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi stratigrafi tanah, klasifikasi jenis lapisan, serta kapasitas dukung tanah secara lateral melalui parameter gaya geser dan friksi. Hasil pengukuran CPT selanjutnya akan divalidasi melalui pengujian laboratorium tanah seperti Atterberg Limit dan Uniaxial Compressive Strength (UCS) untuk mendapatkan klasifikasi tanah dan kapasitas dukung secara menyeluruh.



Gambar 2. Pengukuran sondir di lokasi penelitian.

Metode Pengukuran Mikrozonasi

Pengukuran mikrozonasi dilakukan melalui survei lapangan untuk mengkaji kondisi tanah dengan dua metode yaitu Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) dan Microtremor Array dengan pendekatan Spatial Auto-Correlation (SPAC)(Okada, 2003; Park et al., 1999). MASW digunakan untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser (V_s) pada kedalaman dangkal hingga 30 meter, sedangkan metode SPAC diaplikasikan untuk menjangkau lapisan bawah yang lebih dalam dan memperkirakan kedalaman engineering bedrock (Okada, 2003). Pengukuran dilakukan pada delapan titik dengan kombinasi bentangan pendek (kurang dari 50 meter) dan satu titik referensi dengan bentangan penuh 50 meter. Integrasi antara hasil MASW dan SPAC pendek menghasilkan model cross-section kecepatan V_s yang komprehensif pada kedalaman 0–30 meter.

Data MASW dikumpulkan menggunakan 14–20 geofon dengan jarak 2 meter, sementara pengukuran SPAC dilakukan dengan konfigurasi segitiga pada berbagai skala, baik pendek (30–100 m) maupun panjang (hingga 1000 m). Proses pengolahan data mencakup ekstraksi kurva dispersi gelombang Rayleigh, inversi profil kecepatan V_s , dan integrasi dua metode untuk menghasilkan nilai V_{s30} . Data ini selanjutnya dianalisis secara spasial untuk memetakan variasi jenis tanah dan menghitung parameter percepatan tanah puncak (PGA), spektra percepatan gempa, serta intensitas seismik skenario gempa dari sesar lokal dan subduksi. Seluruh hasil digunakan sebagai dasar teknis dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa sesuai SNI 1726:2019. Titik pengukuran dan desain survei mikrozonasi ditunjukkan pada Gambar 3.

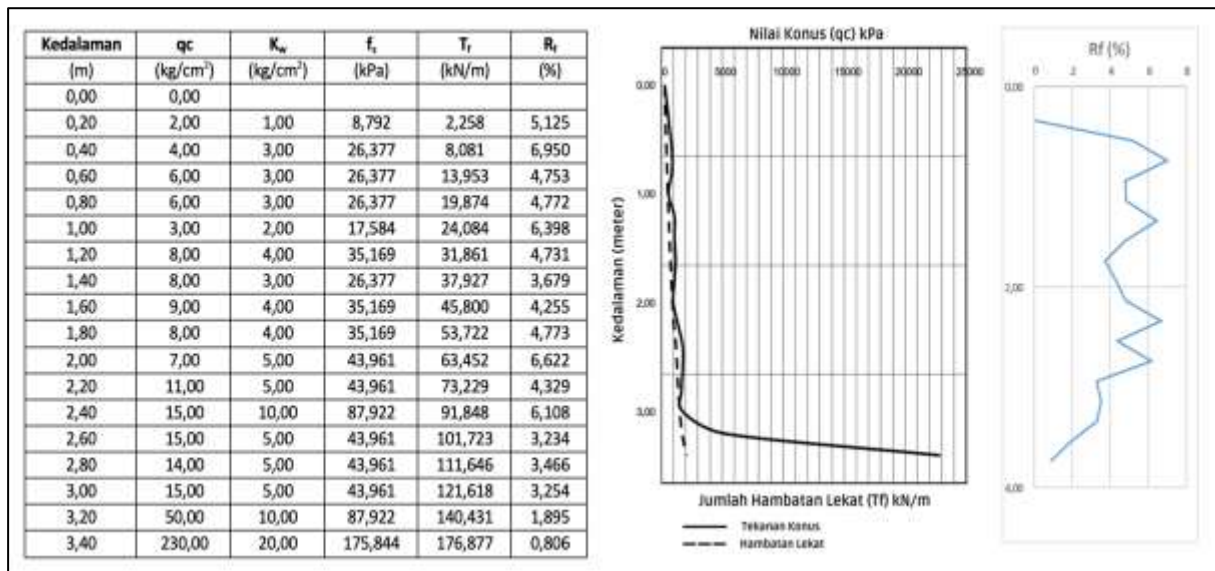


Gambar 3. Titik pengukuran dan desain survei mikrozonasi.

3. Hasil dan Diskusi

Pengukuran Sondir

Parameter utama yang diperoleh dari hasil uji sondir mencakup cone resistance (q_c), skin friction (f_s), friction ratio (R_f), dan total friction (T_f). Nilai q_c menunjukkan peningkatan signifikan dengan bertambahnya kedalaman, mencapai puncaknya sebesar 230 kg/cm² pada kedalaman 3,40 meter. Secara bersamaan, nilai f_s mencapai maksimum 175,84 kPa, yang mencerminkan adanya lapisan tanah yang sangat padat atau semi-batuan. Nilai R_f , yaitu rasio f_s terhadap q_c , digunakan untuk mengidentifikasi jenis tanah dominan di setiap lapisan. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai R_f berkisar antara 3,25% hingga 6,95% di kedalaman <2,0 m, mengindikasikan dominasi lempung plastis hingga lanauan. Namun, nilai R_f menurun drastis menjadi <1% pada kedalaman akhir, memperkuat indikasi keberadaan lapisan tanah keras atau batuan lunak (claystone). Parameter T_f yang diperoleh dari hasil sondir menunjukkan nilai puncak sebesar 176,88 kN/m pada kedalaman 3,40 meter. Nilai T_f ini merupakan hasil akumulasi gaya gesek lateral sepanjang batang konus dan mencerminkan kapasitas friksi kulit yang tersedia pada lapisan tersebut. Peningkatan T_f yang seiring dengan kenaikan f_s dan q_c pada lapisan terdalam mendukung rekomendasi teknis untuk memanfaatkan lapisan tersebut sebagai tumpuan utama pondasi tiang, mengingat daya dukung friksi yang besar dapat dimanfaatkan secara optimal. Data sondir dan grafik hasil analisis pada titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Data sondir dan grafik hasil analisis

Sebagai bagian dari verifikasi karakteristik tanah di lapangan, dilakukan pengujian laboratorium pada tiga sampel (DS-1, DS-2, DS-3) yang mewakili lapisan tanah pada kedalaman 3,5 m hingga 15 m. Hasil uji Atterberg Limit menunjukkan bahwa semua sampel termasuk ke dalam kategori Clay of High Plasticity (CH), dengan nilai Liquid Limit >60% dan Plasticity Index >58%, mengindikasikan sifat kohesif tinggi dan kompresibilitas yang signifikan. Lebih lanjut, pengujian UCS menunjukkan nilai kekuatan tekan antara 1,03 hingga 2,82 MPa, yang termasuk dalam klasifikasi tanah keras (hard clay) menurut standar geoteknik. Tabel 1. mendeskripsikan hasil pengujian laboratorium.

Tabel 1. Hasil Uji Laboratorium

No	Sample Code	Depth (m)	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plastic Index (%)
1	DS-1	3,5 - 4	71,20	3,25	67,95
2	DS-2	9,5 - 10	61,93	2,67	59,26
3	DS-3	14,5 - 15	60,42	1,93	58,49

Pengukuran Mikrozonasi

Hasil akuisisi menggunakan metode MASW pada delapan titik pengukuran menunjukkan bahwa kecepatan gelombang geser (V_s) bervariasi secara signifikan pada kedalaman dangkal. Profil MASW 1, yang menggunakan bentangan kabel 50 meter sebagai titik referensi, menunjukkan nilai V_{s30} sebesar 440,56 m/s. Sementara tujuh titik lainnya yang memiliki bentangan kurang dari 50 meter menunjukkan nilai V_{s30} antara 209,59–254,09 m/s. Nilai V_s yang rendah (< 180 m/s) pada kedalaman 0–1,67 meter mengindikasikan keberadaan tanah lunak, yang secara umum didominasi oleh lempung jenuh air.

Hasil SPAC konfigurasi panjang memperlihatkan peningkatan nilai V_s secara bertahap hingga mencapai lebih dari 750 m/s pada kedalaman 60,5 meter, yang diinterpretasikan sebagai kedalaman engineering bedrock. Integrasi data MASW dan SPAC pada titik-titik berdekatan menghasilkan profil V_s yang lebih utuh dan reliabel hingga kedalaman 30 meter. Nilai V_{s30} hasil integrasi menunjukkan bahwa lokasi penelitian tergolong dalam klasifikasi tanah sedang (SD) berdasarkan SNI 1726:2019, dengan sebagian area memiliki nilai V_s mendekati ambang batas tanah lunak (SE).

Berdasarkan peta bahaya gempa Indonesia, nilai percepatan tanah puncak (PGA) di lokasi pembangunan diperkirakan sebesar 0,43 g pada batuan dasar, yang mengalami amplifikasi menjadi 0,50 g pada permukaan tanah akibat kondisi lapisan lunak-sedang. Nilai spektra percepatan gempa (SA) untuk periode pendek mencapai 1,05 g, sedangkan untuk periode panjang mencapai 0,81 g. Simulasi skenario gempa dari sesar Ajibarang dan subduksi segmen M8 menghasilkan intensitas guncangan 6–7 MMI di lokasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Hal ini mengindikasikan perlunya desain struktur radar yang memperhitungkan respons dinamik tanah terhadap gempa, termasuk evaluasi gaya gempa rencana dengan faktor amplifikasi lokal yang diperoleh dari hasil mikrozonasi.



Gambar 5. Simulasi skenario gempa di lokasi pengukuran.

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i3.2761>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi metode uji sondir (CPT) dan survei mikrozonasi (MASW dan SPAC) mampu memberikan gambaran vertikal tanah yang lebih komprehensif dan akurat untuk mendukung perencanaan pondasi bangunan penting seperti gedung Radar Cuaca S-Band. Hasil uji sondir menunjukkan keberadaan lapisan tanah keras pada kedalaman 3,4 meter dengan nilai cone resistance mencapai 230 kg/cm² dan friksi lekat maksimum 175,84 kPa (ASTM International, 2020). Sementara itu, hasil uji laboratorium mengindikasikan bahwa tanah tergolong lempung plastis tinggi (CH) dengan nilai Plasticity Index >58% dan kekuatan tekan bebas (UCS) hingga 2,82 MPa. Survei mikrozonasi menunjukkan nilai Vs30 berkisar antara 209,59–254,09 m/s, dengan klasifikasi lokasi sebagai tanah sedang (SD) berdasarkan SNI 1726:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Nilai percepatan tanah puncak (PGA) mencapai 0,50g di permukaan akibat amplifikasi lokal, dengan intensitas guncangan mencapai 6–7 MMI berdasarkan simulasi skenario gempa dari sesar Ajibarang dan zona subduksi (PVMBG & PUSGEN, 2017). Kondisi ini menunjukkan potensi amplifikasi lokal yang signifikan dan mendukung perlunya desain pondasi yang mempertimbangkan beban vertikal serta respon seismik lokal (Kramer, 1996). Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan dasar teknis yang kuat untuk perencanaan fondasi tiang atau fondasi dalam lainnya yang ditumpukan pada lapisan tanah keras dengan daya dukung tinggi (Badan Standardisasi Nasional, 2008). Rekomendasi teknis ini penting untuk memastikan kestabilan struktur terhadap beban statis dan dinamis, khususnya di wilayah pesisir dengan kerentanan seismik seperti Cilacap.

Referensi

1. ASTM International. (2020). *ASTM D5778-20: Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils*.
2. Azhari, J., Vilda, Oktaviana, I. S., & Irdhani. (2023). Study of Liquefaction Potential Using Cone Penetration Test at Balaroa Village Palu. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1157(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1157/1/012019>
3. Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 8460:2008 - Tata Cara Perencanaan Pondasi untuk Bangunan Gedung*.
4. Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 - Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*.
5. Baziw, E., & Verbeek, G. (2022). Methodology for obtaining true cone bearing estimates from blurred and noisy measurements. *Cone Penetration Testing 2022 - Proceedings of the 5th International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT 2022*, 115–120. <https://doi.org/10.1201/9781003308829-9>
6. Campo, B., Bruno, L., & Amorosi, A. (2023). Sedimentary facies characterization through CPTU profiles: An effective tool for subsurface investigation of modern alluvial and coastal plains. *Sedimentology*, 70(4), 1302–1327. <https://doi.org/10.1111/sed.1307>
7. Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice-Hall.
8. Mahanta, R. (2011). CONE PENETRATION TEST-ITS IMPORTANT ROLE IN DESIGN AND INSTALLATION OF OFFSHORE FOUNDATIONS IN SOFT CLAYS. *Proceedings of Indian Geotechnical Conference*, 162–165.
9. Mohammed, Y., & Aranganathan, S. M. (2018). Bearing Capacity of Foundation Soils using Analytical Methods. *IJARIE*, 4, 241–247. www.ijarjie.com
10. Muhaimin, Tjahjono, B., & Darmawan. (2016). ANALISIS RISIKO GEMPABUMI DI CILACAP PROVINSI JAWA TENGAH. *J. Il. Tan. Lingk.*, 18(1), 28–34.
11. Okada, H. (2003). *The Microtremor Survey Method*. Society of Exploration Geophysicists.
12. Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3), 800–808. <https://doi.org/10.1190/1.1444590>
13. Putra, M. S. G. P., Amalia, K. R., Syahira, N. A., Praditya, N., & Marpen, R. (2024). Analisa Perhitungan Daya Dukung Fondasi Minipile pada Rumah Trafo PT. Pertamina Plaju. *Jurnal Talenta Sipil*, 7(1), 224. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v7i1.455>
14. PVMBG, & PUSGEN. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia*.
15. Ridhayani, I., & Saputra, I. (2021). STUDI ANALISIS DAYA DUKUNG TANAH BERDASARKAN DATA SONDIR DI KAMPUS PADHANG-PADHANG UNIVERSITAS SULAWESI BARAT. *BANDAR: JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING*, 3(2), 37–42.
16. Wachidah, S. F., & Agustin, N. (2021). ANALISA KERENTANAN TANAH DI KECAMATAN ADIPALA KABUPATEN CILACAP MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR SEBAGAI UPAYA MITIGASI BENCANA GEMPA BUMI. *Berkala Fisika*, 24(1), 1–9.