

PEMODELAN PENGUKURAN KEPADATAN ENDAPAN PASIR PADA PERAIRAN DANGKAL

Kasmawati^{1*}, Muhammad Arsyad Thaha², Mukhsan Putra Hatta²

¹Mahasiswa Program Doktor Program Studi Ilmu Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar, Sulawesi Selatan

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar, Sulawesi Selatan

*Email: kasmawati.stmt08@gmail.com

Abstrak Penelitian ini menyusun model empiris untuk pengukuran kepadatan endapan pasir pada perairan dangkal menggunakan alat jatuh-bebas yang dirancang peneliti. Pengujian dilakukan pada tiga sampel pasir yang dikelompokkan berdasarkan ukuran D16, D50, dan D100. Setiap sampel diuji dengan beban 100 g dan tinggi jatuh tetap 40 cm, sedangkan respons yang diamati adalah kedalaman penetrasi batang uji pada kedalaman tertanam 0, 10, dan 15 cm pada posisi penetrasi tegak pada bidang miring. Pengujian awal dilakukan pada kondisi kering dengan 0, 10, dan 20 pukulan. Pengujian selanjutnya dilakukan pada media dalam kondisi jenuh air/terendam pada perairan dangkal selama 0–3 hari perendaman. Kepadatan dihitung dari massa sedimen dan volume model, lalu dikorelasikan dengan penetrasi rata-rata. Hasil menunjukkan bahwa perendaman menaikkan kepadatan dan menurunkan penetrasi. Kepadatan pasir ukuran 100 meningkat dari 1209,37 kg/m³ menjadi 1317,26 kg/m³, ukuran D50 relatif stabil pada kisaran 1267,16–1272,31 kg/m³, dan ukuran D16 meningkat dari 1107,88 kg/m³ menjadi 1148,00 kg/m³. Pendekatan empiric nilai kepadatan yang diperoleh adalah $\rho = 1154,08 + 1,66S - 18,12\delta$ dengan $R^2 = 0,689$. Model ini dapat digunakan sebagai kalibrasi awal pengukuran/pendekatan dalam menentukan kepadatan pasir pada perairan dangkal dengan alat sederhana dan tinggi jatuh konstan.

Kata kunci: kepadatan pasir, penetrasi, pemodelan empiris, perairan dangkal, tinggi jatuh

Abstract This study developed an empirical model for the measurement of sand density in shallow waters using a free-fall tool designed by the researchers. Tests were performed on three sand samples grouped based on sizes D16, D50, and D100. Each sample was tested with a load of 100 g and a fixed drop height of 40 cm, while the observed response was the depth of penetration of the test rod at embedded depths of 0, 10, and 15 cm at an upright penetration position on an inclined plane. The initial test was performed in dry conditions with 0, 10, and 20 strokes. The next test was performed on a medium in water-saturated/submerged conditions in shallow waters for 0–3 days of immersion. The density was calculated from the sediment mass and volume of the model, and then correlated with the average penetration. The results showed that immersion increased the density and decreased penetration. The density of sand size 100 increased from 1209.37 kg/m³ to 1317.26 kg/m³, the size D50 was relatively stable in the range of 1267.16–1272.31 kg/m³, and the size of D16 increased from 1107.88 kg/m³ to 1148.00 kg/m³. The empirical approach the density value obtained was $\rho = 1154.08 + 1.66S - 18.12\delta$ with $R^2 = 0.689$. This model can be used as an initial calibration of measurements/approaches in determining sand density in shallow waters with a simple tool and a constant drop height.

Keywords: density, empirical model, penetration, sand, shallow water

1. PENDAHULUAN

Pengukuran kepadatan pasir merupakan tahapan penting dalam analisis perilaku tanah, karena perubahan kerapatan berpengaruh langsung terhadap tahanan penetrasi, deformasi, dan stabilitas media granular. Pada material berbutir lepas, variasi kepadatan relatif sering dipakai untuk menjelaskan perubahan kekuatan dan respons penetrasi. Dalam praktik geoteknik, keterkaitan antara kepadatan relatif dan tahanan penetrasi telah lama menjadi dasar interpretasi pengujian lapangan pada tanah pasir [Das dan Sobhan, 2018; Lunne dkk., 1997; Robertson dan Cabal, 2022].

Pada media berpasir yang jenuh, penyusunan ulang butir dapat terjadi akibat infiltrasi dan pelepasan rongga udara, sehingga nilai kepadatan cenderung berubah terhadap waktu. Di lapangan sering dibutuhkan metode pengujian yang sederhana, cepat, dan dapat diterapkan pada kondisi pasir jenuh atau perairan dangkal. Karakteristik material berpasir yang dipengaruhi distribusi ukuran butir dan lingkungan perairan dangkal juga telah banyak dibahas dalam kajian sedimen dan mekanika pasir laut [Folk dan Ward, 1957; Soulsby, 1997; Dean dan Dalrymple, 1991].

Penelitian ini menggunakan alat uji buatan peneliti yang bekerja dengan prinsip jatuh-bebas. Beban dijatuhkan dari ketinggian tertentu, kemudian kedalaman benda uji yang masuk ke dalam pasir diukur sebagai

respons penetrasi. Pendekatan ini secara konsep sejalan dengan pemanfaatan resistansi penetrasi untuk membaca kondisi kerapatan pasir, walaupun skala alat yang digunakan lebih sederhana dibandingkan sondir atau cone penetration test konvensional (SNI 2827:2008; ASTM International, 2020; Jeong dkk., 2023).

Gap penelitian pada studi ini terletak pada belum tersusunnya model empiris sederhana yang secara langsung menghubungkan respons penetrasi alat jatuh-bebas dengan kepadatan pasir pada kondisi perairan dangkal untuk tiga kelas ukuran butiran. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan: (1) menganalisis perubahan respons penetrasi pada tiga sampel pasir, (2) mengevaluasi perubahan kepadatan akibat waktu perendaman, dan (3) menyusun model empiris pengukuran kepadatan pasir berbasis hasil penetrasi benda uji.

2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan menggunakan model wadah sedimen dengan lebar model 30 cm dan massa sedimen 30 kg pada setiap pengujian. Sampel yang digunakan terdiri atas tiga kelas ukuran pasir yang pada data pengujian diberi kode ukuran D16, d50, dan D100. Pemilihan tiga kelas ukuran ini dimaksudkan untuk mewakili variasi gradasi butiran yang berbeda, sehingga pengaruh perbedaan ukuran butir terhadap respons penetrasi dan kepadatan dapat diamati secara langsung. Alat pengujian dirancang sendiri oleh peneliti dengan komponen utama berupa beban 100 g, mekanisme tinggi jatuh tetap 40 cm, serta sistem pembacaan kedalaman penetrasi.

Tahap pertama adalah pengujian kondisi kering untuk memperoleh respons awal penetrasi terhadap perubahan tingkat pemadatan. Pada tahap ini dilakukan variasi jumlah pukulan 0, 10, dan 20 kali. Variasi tersebut dipilih untuk membentuk tiga tingkat kepadatan awal yang berbeda, mulai dari kondisi lebih lepas hingga lebih padat, sebelum media dipengaruhi oleh air. Untuk setiap sampel diukur kedalaman penetrasi rata-rata sebagai indikator perubahan kerapatan awal. Pendekatan ini digunakan sebagai kalibrasi awal karena pada material pasir, perubahan struktur butiran akibat pemadatan akan tercermin pada perubahan respons penetrasi [ASTM International, 2016a; ASTM International, 2016b; Das dan Sobhan, 2018].

Tahap kedua adalah pengujian perairan dangkal dengan metode perendaman. Pada tahap ini tinggi jatuh beban dipertahankan konstan 40 cm agar perubahan respons hanya dipengaruhi oleh perbedaan ukuran butir, waktu perendaman, dan kedalaman tertanam. Penggunaan beban 100 g dan tinggi jatuh konstan dimaksudkan agar energi tumbukan seragam pada seluruh pengamatan, sehingga interpretasi hubungan penetrasi dan kepadatan menjadi lebih terkontrol. Kedalaman tertanam 0, 10, dan 15 cm dipilih untuk merepresentasikan perbedaan tingkat confinemen lokal dari lapisan permukaan ke lapisan yang lebih dalam, sedangkan waktu perendaman 0-3 hari digunakan untuk menangkap perubahan awal struktur butiran akibat kejenuhan. Prinsip menjaga kondisi penetrasi yang seragam juga merupakan hal penting dalam interpretasi uji penetrasi pasir [Lunne dkk., 1997; Robertson dan Cabal, 2022].

Volume media sedimen dihitung dari geometri penampang trapesium model, sedangkan kepadatan dihitung dari perbandingan massa sedimen terhadap volume. Persamaan yang digunakan dituliskan pada Persamaan (1) dan Persamaan (2). Konsep ini sejalan dengan definisi berat isi dan kerapatan media berbutir yang umum dipakai dalam rekayasa geoteknik [Das dan Sobhan, 2018].

$$V = \frac{1}{2}(b_b + b_t)L \cdot h_s \quad (1)$$

dengan:

V = volume media sedimen (m³);
b_b = lebar bawah model (cm);
b_t = lebar atas model (cm);
L = lebar model, yaitu 30 cm;
H = tinggi sedimen (cm).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

dengan:

ρ = kepadatan pasir (kg/m³);
m = massa sedimen (kg);
V = volume sedimen (m³).

Untuk menyusun model empiris, digunakan nilai penetrasi rata-rata dari tiga kedalaman tertanam pada setiap kombinasi sampel dan waktu perendaman. Pendekatan ini dipilih agar satu nilai kepadatan hasil perhitungan volume dapat dipasangkan dengan satu nilai respons penetrasi representatif. Model umum disusun dengan regresi linear antara kepadatan pasir (ρ), kode ukuran sampel (S), dan penetrasi rata-rata (ρ). Validasi dilakukan dengan membandingkan kepadatan hasil model terhadap kepadatan terukur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Respons awal pada kondisi kering

Data kondisi kering memperlihatkan bahwa peningkatan jumlah pukulan menghasilkan penurunan penetrasi rata-rata pada seluruh sampel. Hal ini menegaskan bahwa alat buatan peneliti cukup sensitif untuk membaca perubahan kondisi kepadatan awal pasir. Secara umum, hasil ini konsisten dengan konsep bahwa peningkatan kerapatan media pasir akan meningkatkan tahanan terhadap penetrasi [Baldi dkk., 1981; Bolton dkk., 1999; Sadrekarimi, 2016b].

Tabel 1. Rata-rata penetrasi pada kondisi kering untuk tiap tingkat pemadatan

Ukuran pasir	0 pukulan	10 pukulan	20 pukulan
16	6.07	3.83	1.67
50	6.57	4.20	2.07
100	5.67	3.37	2.47

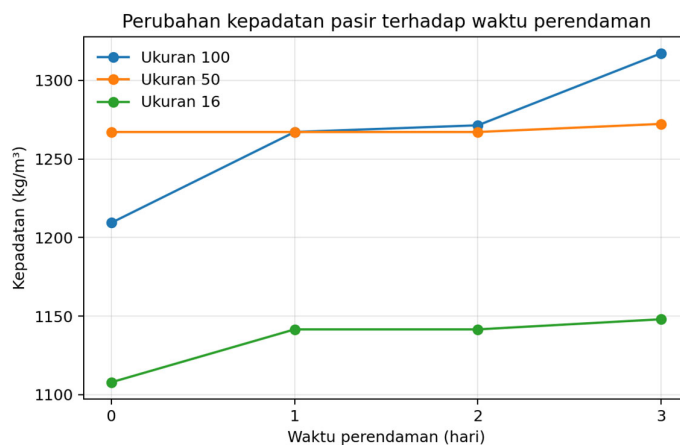
Tabel 1 menunjukkan bahwa seluruh sampel mengalami penurunan penetrasi ketika jumlah pukulan dinaikkan. Penurunan ini menunjukkan terjadinya penyusunan ulang butiran dan berkurangnya rongga, sehingga tahanan terhadap benda uji meningkat. Dengan kata lain, alat jatuh-bebas memiliki kemampuan membaca perubahan kepadatan relatif meskipun menggunakan konfigurasi yang sederhana.

3.2. Perubahan kepadatan pada kondisi perairan dangkal

Setelah media direndam, kepadatan pasir menunjukkan kecenderungan meningkat terhadap waktu, walaupun besar kenaikannya berbeda antar sampel. Kenaikan ini dapat dipahami sebagai akibat dari penggantian udara pori oleh air dan proses penyesuaian ulang susunan butiran selama perendaman. Pada sedimen berpasir, respons seperti ini dipengaruhi oleh distribusi ukuran butir, konfigurasi rongga, dan dinamika fluida di sekitar butiran [Soulsby, 1997; van Rijn, 1993].

Tabel 2. Kepadatan pasir selama perendaman

Hari	Ukuran 100	Ukuran 50	Ukuran 16
0	1209.37	1267.16	1107.88
1	1267.16	1267.16	1141.55
2	1271.42	1267.16	1141.55
3	1317.26	1272.31	1148.00



Gambar 1. Perubahan kepadatan pasir terhadap waktu perendaman. (hasil analisis)

Gambar 1 memperlihatkan bahwa waktu perendaman berperan dalam meningkatkan kepadatan, terutama pada sampel ukuran D100 dan D16. Pada ukuran D50, kurva cenderung hampir datar. Hal ini

menunjukkan bahwa konfigurasi susunan butir pada sampel tersebut lebih cepat mencapai kondisi stabil dibandingkan dua sampel lainnya.

3.3. Hubungan penetrasi terhadap kedalaman tertanam dan waktu perendaman

Pada seluruh sampel, kedalaman penetrasi menurun seiring bertambahnya kedalaman tertanam dan waktu perendaman. Penurunan paling nyata terjadi pada sampel ukuran D100. Rata-rata penetrasi sampel ini turun dari 5,77 cm pada hari ke-0 menjadi 0,50 cm pada hari ke-3, atau berkurang sekitar 91.33%. Sampel ukuran D50 turun dari 1,87 cm menjadi 0,57 cm, sedangkan ukuran D16 turun dari 1,53 cm menjadi 0,60 cm. Pola ini menunjukkan bahwa media yang semakin rapat memberikan tahanan yang semakin besar terhadap gerakan masuk benda uji.

Tabel 3. Rata-rata penetrasi selama perendaman

Hari	Ukuran 100	Ukuran 50	Ukuran 16
0	5.77	1.87	1.53
1	0.73	0.83	0.87
2	0.57	0.60	0.73
3	0.50	0.57	0.60

Jika dilihat lebih rinci, kedalaman tertanam 0 cm selalu menghasilkan penetrasi terbesar, sedangkan kedalaman 15 cm menghasilkan penetrasi terkecil. Kondisi ini logis karena semakin dalam posisi pengujian, semakin besar tahanan pasif dan confinemen lokal yang harus dilawan oleh benda uji. Secara konseptual, pengaruh peningkatan tahanan akibat kondisi confinemen dan perubahan state parameter pada pasir juga sejalan dengan temuan pengujian penetrasi pada material pasir [Been dkk., 1986; Sadrekarimi, 2016a].

3.4. Model empiris pengukuran kepadatan

Berdasarkan rata-rata penetrasi tiap kombinasi sampel dan waktu perendaman, diperoleh pendekatan empirik nilai kepadatan pada Persamaan (3). Pada model ini, S adalah kode ukuran sampel (D16, D50, atau D100) dan δ adalah penetrasi rata-rata (cm) dari tiga kedalaman tertanam.

$$\rho = 1154,08 + 1,66S - 18,12\delta \quad (3)$$

dengan:

ρ = kepadatan pasir terprediksi (kg/m^3);

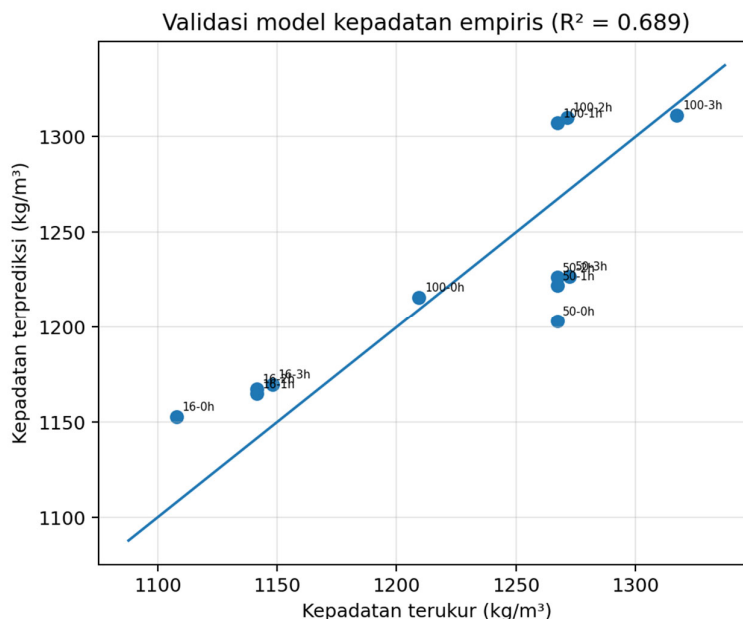
S = kode ukuran sampel pasir;

δ = penetrasi rata-rata (cm).

Pendekatan empirik tersebut menghasilkan koefisien determinasi $R^2 = 0.689$, RMSE = 37.31 kg/m^3 , dan MAPE = 2.74%. Nilai ini menunjukkan bahwa model umum sudah mampu menangkap kecenderungan hubungan antara ukuran butir dan penetrasi terhadap kepadatan, walaupun tingkat kesesuaiannya tidak seragam pada setiap kelas pasir. Oleh karena itu, model umum perlu dibaca bersama model spesifik untuk masing-masing ukuran sampel agar terlihat apakah penyederhanaan lintas-sampel masih representatif atau justru menutupi karakter respons tertentu. Secara prinsip, hasil ini sejalan dengan literatur yang menunjukkan bahwa respons penetrasi dapat dipakai untuk memperkirakan kerapatan atau kondisi state pasir, tetapi akurasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik material dan skala alat yang digunakan [Lunne dkk., 1997; Robertson dan Cabal, 2022; Sadrekarimi, 2016b].

Tabel 4. Ringkasan model empiris kepadatan pasir

Model	Persamaan	R ²
Umum	$\rho = 1154,08 + 1,66S - 18,12\delta$	0.689
Ukuran 100	$\rho = 1294,54 - 14,93\delta$	0.762
Ukuran 50	$\rho = 1270,22 - 1,83\delta$	0.190
Ukuran 16	$\rho = 1175,21 - 43,36\delta$	0.979



Gambar 2. Perbandingan kepadatan terukur dan kepadatan hasil model umum. (hasil analisis)

Tabel 4 dan Gambar 2 memperlihatkan bahwa model spesifik sampel memberikan tingkat kesesuaian yang berbeda. Ukuran 16 memiliki kesesuaian paling tinggi ($R^2 = 0,979$), selanjutnya ukuran 100 ($R^2 = 0,762$). Pada kedua sampel ini, penetrasi rata-rata cukup peka terhadap perubahan kepadatan sehingga model spesifik lebih sesuai digunakan ketika kelas pasir sudah diketahui. Sebaliknya, ukuran 50 menunjukkan hubungan yang jauh lebih lemah dengan $R^2 = 0,190$.

Dibandingkan model spesifik, model umum ($R^2 = 0,689$) berfungsi sebagai pendekatan lintas-sampel yang lebih praktis karena dapat dipakai untuk estimasi awal pada tiga kelas pasir sekaligus. Namun model umum cenderung merata-ratakan karakter tiap ukuran pasir. Pada D16 dan D100, model spesifik memberikan akurasi yang lebih tinggi daripada model umum sehingga lebih tepat dipakai untuk kalibrasi per kelas sampel. Pada D50, model spesifik justru kurang kuat karena rentang perubahan kepadatan selama perendaman sangat kecil, yaitu hanya sekitar 1267,16-1272,31 kg/m³, sementara jumlah titik pengamatan terbatas. Kondisi ini menyebabkan variasi penetrasi yang terukur tidak diikuti perubahan kepadatan yang cukup besar, sehingga koefisien determinasi menjadi rendah. Implikasinya, model spesifik D50 tidak sebaik D16 dan D100 jika digunakan sebagai prediktor tunggal kepadatan. Meskipun demikian, hal ini tidak membatalkan hasil penelitian secara keseluruhan, karena tren utama penelitian tetap konsisten: perendaman meningkatkan kepadatan, penetrasi menurun, dan ukuran butir memengaruhi kualitas pemodelan. Secara detail, hasil ini mendukung gagasan bahwa pengukuran kepadatan pasir pada perairan dangkal dapat dilakukan melalui respons penetrasi alat sederhana, asalkan parameter pengujian dijaga konstan. Dengan demikian, alat jatuh-bebas yang digunakan berpotensi menjadi alternatif pengukuran awal pada skala laboratorium atau survei sederhana, meskipun belum dimaksudkan untuk menggantikan pengujian penetrasi standar di lapangan (SNI 2827:2008; ASTM International, 2020).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa alat jatuh-bebas buatan peneliti dapat digunakan untuk membaca perubahan kepadatan pasir pada perairan dangkal melalui pengukuran kedalaman penetrasi benda uji. Pada kondisi kering, peningkatan jumlah pukulan dari 0 ke 20 kali menurunkan penetrasi rata-rata seluruh sampel, yang menandakan meningkatnya kerapatan awal media. Pada kondisi jenuh/perendaman, kepadatan cenderung meningkat terhadap waktu, sementara kedalaman penetrasi menurun. Pola ini mendukung teori umum bahwa media pasir yang lebih rapat akan memberikan tahanan penetrasi yang lebih tinggi [Das dan Sobhan, 2018; Sadrekarimi, 2016b]. Model umum yang diperoleh adalah dengan $R^2 = 0,689$. Model ini cukup baik untuk estimasi awal kepadatan pasir pada pengujian dengan tinggi jatuh tetap 40 cm. Untuk akurasi yang lebih tinggi, penggunaan model spesifik per kelas pasir lebih direkomendasikan, terutama untuk ukuran D16 dan D100. Pada ukuran D50, nilai $R^2 = 0,190$ menunjukkan bahwa variasi penetrasi belum cukup kuat

menjelaskan variasi kepadatan, sehingga model spesifiknya perlu digunakan secara hati-hati dan lebih tepat diposisikan sebagai model dengan kemampuan prediksi terbatas pada konfigurasi uji ini.

Keterbatasan penelitian ini adalah tinggi jatuh belum divariasikan sehingga pengaruh energi jatuh belum dapat dimodelkan secara langsung. Penelitian lanjutan perlu menambah variasi tinggi jatuh, massa beban, dan parameter hidrodinamika agar model dapat diperluas menuju kondisi lapangan yang lebih kompleks, termasuk pada lingkungan pantai atau perairan dangkal yang dipengaruhi gelombang dan transport sedimen [Dean dan Dalrymple, 1991; Soulsby, 1997; van Rijn, 1993].

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI) dan semua pihak yang telah mendukung pelaksanaan eksperimen, penyediaan material, dan penyusunan alat pengujian pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International, 2016a, Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table, ASTM D4253-16e1, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM International, 2016b, Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density, ASTM D4254-16, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM International, 2020, Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils, ASTM D5778-20, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Baldi, G., Bellotti, R., Pasqualini, E., Ghionna, V.N., dan Jamiolkowski, M., 1981, Cone Resistance of a Dry Medium Sand, *Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Stockholm, Vol. 2, 427-432.
- Been, K., Crooks, J.H.A., Becker, D.E., dan Jefferies, M.G., 1986, The cone penetration test in sands: Part I, state parameter interpretation, *Géotechnique*, 36(2), 239-249, doi: 10.1680/geot.1986.36.2.239.
- Bolton, M.D., Gui, M.W., Garnier, J., Corte, J.F., Bagge, G., Laue, J., dan Renzi, R., 1999, Centrifuge cone penetration tests in sand, *Géotechnique*, 49(4), 543-552, doi: 10.1680/geot.1999.49.4.543.
- Das, B.M. dan Sobhan, K., 2018, *Principles of Geotechnical Engineering*, Ed. 9, Cengage Learning, Boston.
- Dean, R.G. dan Dalrymple, R.A., 1991, *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, World Scientific, Singapore.
- Folk, R.L. dan Ward, W.C., 1957, Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Jeong, S., Moon, M., dan Kim, D., 2023, Applicability of Mini-Cone Penetration Test Used in a Soil Box, *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, 22(4), 83-92.
- Lunne, T., Robertson, P.K., dan Powell, J.J.M., 1997, *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*, Taylor dan Francis, London.
- Robertson, P.K. dan Cabal, K., 2022, *Guide to Cone Penetration Testing*, Ed. 7, P.K. Robertson Consulting, California.
- Sadrekarimi, A., 2016a, Evaluation of CPT-based characterization methods for loose to medium-dense sands, *Soils and Foundations*, 56(3), 460-472, doi: 10.1016/j.sandf.2016.04.012.
- Sadrekarimi, A., 2016b, Estimating relative density of sand with cone penetration test, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement*, 169(4), 253-263, doi: 10.1680/jgrim.15.00017.
- SNI 2827:2008, 2008, Cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Soulsby, R.L., 1997, *Dynamics of Marine Sands: A Manual for Practical Applications*, Thomas Telford, London.
- van Rijn, L.C., 1993, *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas*, Aqua Publications, Amsterdam.

LAMPIRAN

Lampiran ini memuat ringkasan penetrasi detail pada tiga kedalaman tertanam untuk setiap waktu perendaman. Tabel ini dapat dipakai sebagai data kalibrasi awal bila alat akan digunakan kembali pada konfigurasi pengujian yang sama.

Tabel A1. Penetrasi detail menurut ukuran pasir, waktu, dan kedalaman tertanam

Ukuran pasir	Hari	Kedalaman tertanam (cm)	Penetrasi (cm)
100	0	0	12.10
100	0	10	4.20
100	0	15	1.00
100	1	0	0.90
100	1	10	0.70
100	1	15	0.60
100	2	0	0.80
100	2	10	0.50
100	2	15	0.40
100	3	0	0.60
100	3	10	0.50
100	3	15	0.40
50	0	0	4.00
50	0	10	1.00
50	0	15	0.60
50	1	0	1.10
50	1	10	0.90
50	1	15	0.50
50	2	0	0.90
50	2	10	0.50
50	2	15	0.40
50	3	0	0.90
50	3	10	0.50
50	3	15	0.30
16	0	0	2.90
16	0	10	0.90
16	0	15	0.80
16	1	0	1.20
16	1	10	0.80
16	1	15	0.60
16	2	0	1.00
16	2	10	0.70
16	2	15	0.50
16	3	0	0.90
16	3	10	0.50
16	3	15	0.40
