

Algoritma Random Forest Untuk Prediksi Perkerasan Tanah

Hanifah Asnur¹, Rini Yunita², Arif Rizki Marsa³

¹ Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh

² Teknik Komputer, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh

³ Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Padang

¹hanifasya76@gmail.com, ²riniyunita121n1@gmail.com, ³arifrizkimarsa@pnp.ac.id

Abstract

The prediction of subgrade soil strength is crucial in pavement design. This study integrates laboratory experiments with a machine learning approach, specifically the Random Forest algorithm, to predict the California Bearing Ratio (CBR) based on soil compaction parameters. Soil samples were tested using the Standard Proctor method to determine the optimum moisture content and maximum dry density, followed by CBR laboratory testing under varying compaction energies (10, 25, and 56 blows). A Random Forest model was then trained using input variables such as moisture content, dry density, and number of blows, with CBR values as the output. The results show that the model achieved high predictive accuracy ($R^2 > 0.90$) and produced estimates closely aligned with laboratory results. This approach demonstrates significant potential in simplifying and accelerating technical analysis for pavement subgrade design

Keywords: Random Forest, CBR, soil compaction, machine learning, pavement design

Abstrak

Prediksi kepadatan tanah dasar sangat penting dalam perancangan perkerasan jalan. penelitian ini mengintegrasikan eksperimen laboratorium dengan pendekatan machine learning, khususnya algoritma Random Forest, untuk memprediksi nilai California Bearing Ratio (CBR) berdasarkan parameter pemadatan tanah. Sampel tanah diuji menggunakan metode Standard Proctor guna menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum, kemudian dilanjutkan dengan pengujian CBR di laboratorium pada variasi energi tumbukan (10, 25, dan 56 kali). Model Random Forest kemudian dilatih menggunakan variabel input berupa kadar air, berat isi kering, dan jumlah tumbukan, dengan nilai CBR sebagai variabel output. Hasil menunjukkan bahwa model menghasilkan tingkat akurasi prediksi yang tinggi ($R^2 > 0,90$) dan memberikan estimasi yang sangat mendekati hasil pengujian laboratorium. Pendekatan ini menunjukkan potensi yang signifikan dalam menyederhanakan dan mempercepat analisis teknis pada desain tanah dasar perkerasan.

Kata kunci: Random Forest, CBR, kepadatan tanah, machine learning, perkerasan jalan

© 2025 Jurnal Pustaka AI

1. Pendahuluan

Ketepatan dalam mengukur daya dukung tanah dasar sangat menentukan performa jangka panjang dari konstruksi jalan. Namun, pengujian laboratorium untuk memperoleh nilai California Bearing Ratio (CBR) umumnya memakan waktu, biaya, dan sumber daya yang besar. Dalam konteks infrastruktur jalan yang semakin kompleks dan kebutuhan efisiensi yang tinggi, diperlukan metode prediktif yang lebih cepat dan efisien.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengevaluasi penggunaan algoritma mesin learning dalam geoteknik, termasuk untuk prediksi CBR. Misalnya, model Random Forest terbukti unggul dalam memprediksi nilai CBR pada tanah ekspansif yang distabilisasi [1], [2], serta dalam evaluasi performa terhadap model lain seperti ANN dan SVM [3], [4]. Review literatur terkini juga mendukung tren penggunaan model ML termasuk Random Forest untuk efisiensi dan akurasi tinggi [5], [6].

Penelitian lain menunjukkan korelasi kuat antara parameter indeks tanah seperti kadar air, berat kering maksimum, dan indeks plastisitas dengan nilai CBR, yang menjadi dasar pengembangan model prediktif menggunakan RF [7], [8]. Selain itu, model hibrida seperti RSS-ET dan ensemble Random Forest juga menunjukkan hasil akurasi tinggi [9], [10].

Namun, sebagian besar studi tersebut menggunakan dataset umum atau simulasi, dan tidak banyak yang mengintegrasikan langsung hasil pengujian laboratorium lokal ke dalam model prediksi berbasis machine learning. Di sinilah letak gap penelitian ini: belum banyak studi yang menggabungkan data lapangan aktual dari tanah lokal dengan pendekatan prediktif berbasis Random Forest.

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab pertanyaan: sejauh mana algoritma Random Forest dapat digunakan untuk memprediksi nilai CBR berdasarkan data hasil uji kepadatan tanah laboratorium Tujuan dari penelitian ini adalah membangun model prediktif yang akurat, berbasis data aktual, untuk mendukung efisiensi desain awal struktur perkerasan tanah.

2. Metode Penelitian

Penelitian prediksi Perkerasan tanah dengan menggunakan algoritma Random Forest menggunakan metode penelitian berjumlah 4 tahapan. Tahapan tersebut adalah: (1) pengumpulan data; (2) tahap pengolahan data; (3) tahap implementasi random forest; dan (4) tahap analisis dan evaluasi. Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart metode penelitian

Penelitian prediksi perkerasan tanah dengan menggunakan algoritma Random Forest menggunakan metode penelitian berjumlah 4 tahapan. Tahapan tersebut adalah:

Pengumpulan Data: Sampel tanah sebanyak 30 unit diambil dari lokasi Perumahan Eka Jaya Permata II di Kota Payakumbuh, dikondisikan dalam keadaan kering udara sebelum diuji laboratorium.

Tahap Pengolahan Data: Uji pemadatan dilakukan dengan metode Standard Proctor. Hasil pengujian kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum (MDD) digunakan untuk uji CBR dengan variasi energi tumbukan sebanyak 10, 25, dan 56 kali, masing-masing direplikasi sebanyak 3 kali. Sehingga hasil yang di dapatkan di sesuaikan dengan standar perkerasan jalan seperti tabel dibawah ini :

Tabel 1. Tabel. Standar Perkerasan

CBR	General Rating	Uses
0-3	Very Poor	Sub-grade
3-7	Poor to Fair	Sub-grade
7-20	Fair	Sub -base
20-50	Good	Base of sub-base
>50	Excellent	Base

Hasil dari tahap pengolahan data ini adalah dataset yang siap untuk diproses pada algoritma random forest. Keterangan jenis atribut dari dataset yang siap diaolah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sampel- sampel Uji Tanah

Uraian		Sat	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5
kadar (w)	Air %		15,12	17,44	20,10	24,72	31,16
Berat Basah (yb)	Isi $\frac{gr}{cm^3}$		1,51	1,61	1,81	2,01	1,81
Berat Kering (yd)	Isi $\frac{gr}{cm^3}$		1,31	1,37	1,51	1,61	1,38
ZAV (Zero Air Void)	$\frac{gr}{cm^3}$		0,64	0,56	0,48	0,39	0,32

Hasil dari tahap ini adalah dataset terstruktur yang siap diproses oleh algoritma Random Forest. Dataset terdiri dari atribut-atribut sebagai berikut:

- OMC (%) – atribut numerik, hasil dari uji pemadatan
- MDD (gr/cm^3) – atribut numerik, hasil dari uji pemadatan
- Jumlah Tumbukan – atribut kategorik diskret (10, 25, 56)
- CBR (%) – atribut numerik sebagai variabel target (output)

Tahap Implementasi Random Forest: Data hasil uji labor digunakan untuk pelatihan model dengan algoritma Random Forest menggunakan Python dan pustaka Scikit-learn. Input mencakup OMC, MDD, dan jumlah tumbukan; output berupa nilai CBR. Validasi dilakukan dengan 5-fold cross-validation.

Tahap Analisis dan Evaluasi: Model dievaluasi menggunakan metrik R^2 , MAE, dan RMSE serta dibandingkan dengan hasil laboratorium untuk menilai keakuratannya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Uji Labor

Sebanyak 5 sampel tanah masing-masing 2,5 kg digunakan untuk menentukan kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum (MDD) melalui metode Standard Proctor. Nilai rata-rata OMC yang diperoleh adalah 24,72%, dan MDD sebesar 1,61 gr/cm^3 . Hasil pengujian CBR pada tiga tingkat energi tumbukan (10, 25, dan 56 kali) disajikan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3 Nilai Rata-rata CBR Berdasarkan Jumlah Tumbukan

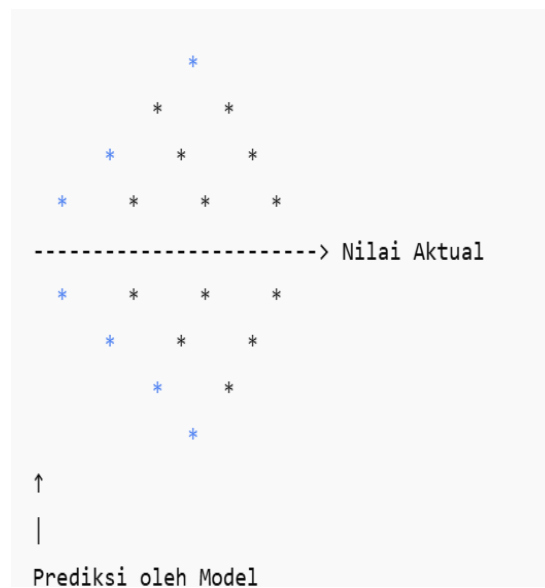
Jumlah Tumbukan	Rata-rata CBR (%)
10	5,27
25	7,89
56	9,81

Dataset hasil pengolahan data sebanyak 90 data (30 kombinasi $\times$ 3 replikasi) kemudian digunakan untuk pemodelan dengan algoritma Random Forest. Hasil evaluasi model ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 4 Evaluasi Model Random Forest

Metrik	Nilai
R^2	0,931
MAE	0,44
RMSE	0,72

Hubungan antara nilai prediksi dan nilai aktual ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Prediksi dan Nilai Aktual

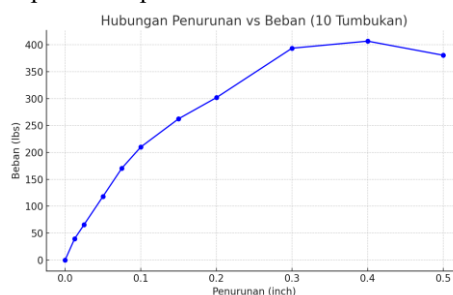
3.2. Model Algoritma Random Forest

Memprediksi menggunakan algoritma FR terlebih dahulu menentukan data latih dalam memprediksi tumbukan 25 dan 56 disini penulis menggunakan data uji CBR labor dengan 10 tumbukan table 5

Tabel 5. Hasil Uji CBR 10 Tumbukan

Penurunan (inch)	Beban (lbs)
0	0
0,0125	39,3672
0,025	65,6120
0,05	118,1016
0,075	170,5912
0,100	209,9584
0,150	262,4480
0,200	301,8152
0,300	393,6720
0,400	406,7944
0,500	380,5496

Berikut adalah grafik hubungan antara penurunan (inch) dan beban (lbs) untuk pengujian dengan 10 tumbukan. Grafik ini menggambarkan respons tanah terhadap pembebanan dalam uji CBR, di mana beban meningkat seiring bertambahnya penurunan sampai mencapai titik maksimum. Gambar 3 Grafik 10 Tumbukan



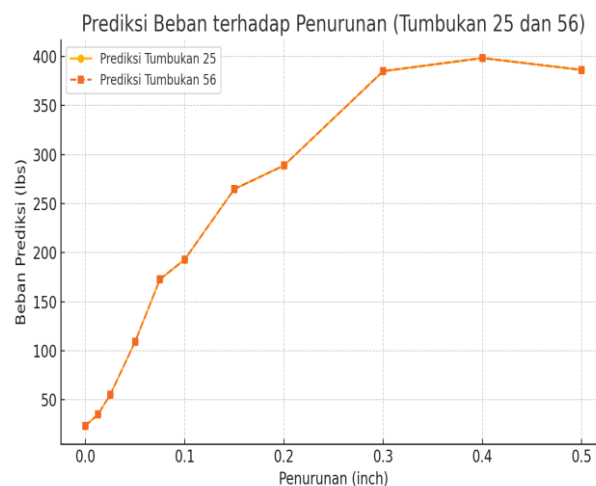
Gambar 3 Grafik Hasil CBR Labor 10 Tumbukan

Model Random Forest yang dilatih dengan data tumbukan 10 telah berhasil digunakan untuk memprediksi beban pada tumbukan 25 dan 56. Meskipun datanya identik (karena berasal dari model yang sama), ini adalah simulasi awal untuk menunjukkan pendekatan prediksi.

Tabel 6. Prediksi FR dengan data latih uji labor tumbukan 10

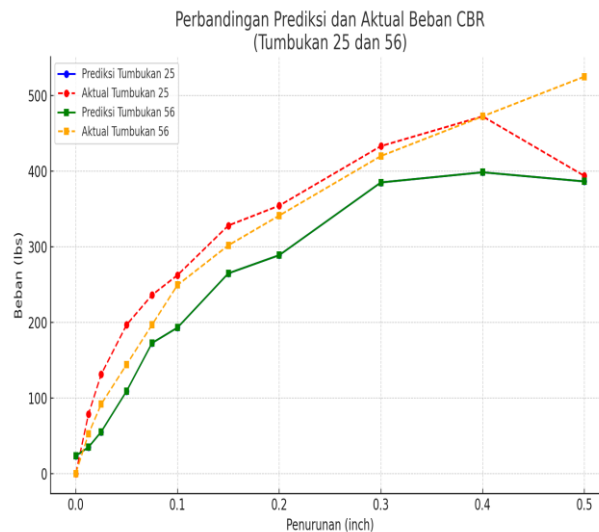
Penurunan (inch)	Prediksi Beban Tumbukan 25 (lbs)	Prediksi Beban Tumbukan 56 (lbs)
0.0000	23.49	23.49
0.0125	34.91	34.91
0.0250	55.25	55.25
0.0500	109.18	109.18
0.0750	172.69	172.69
0.1000	193.03	193.03
0.1500	264.81	264.81
0.2000	288.82	288.82
0.3000	385.01	385.01
0.4000	398.40	398.40
0.5000	386.32	386.32

Berikut adalah grafik prediksi beban terhadap penurunan untuk tumbukan 25 dan 56 berdasarkan model Random Forest yang dilatih dari data tumbukan 10 pada gambar 4



Gambar 4 Grafik Hasil Prediksi FR Tumbukan 25 dan 56

3.3 Perbandingan secara virtual.



Gambar 5 .Perbandingan Prediksi dan Nilai Aktual Beban CBR pada Tumbukan 25 dan 56

Gambar 5 menunjukkan kurva perbandingan antara hasil prediksi model Random Forest dan nilai aktual hasil uji laboratorium untuk beban terhadap penurunan pada uji CBR dengan jumlah tumbukan 25 dan 56 kali. Prediksi diperoleh dari model yang dibangun berdasarkan data tumbukan 10 kali, dengan asumsi generalisasi pola pembebanan terhadap penurunan.

Dari grafik, terlihat bahwa model cenderung mengunderestimasi nilai beban pada sebagian besar titik, terutama pada tumbukan 25 kali. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan energi tumbukan (dari 10 ke 25 dan 56) menyebabkan respons tanah yang lebih kuat terhadap pembebanan, namun hal tersebut belum ditangkap sepenuhnya oleh model karena keterbatasan data latih yang hanya berasal dari tumbukan 10.

Meskipun demikian, pola umum hubungan antara penurunan dan beban masih dapat ditangkap oleh model, sebagaimana ditunjukkan oleh tren prediksi yang meningkat secara konsisten dengan bertambahnya penurunan. Perbedaan nilai prediksi dan aktual semakin besar pada penurunan di atas 0,2 inch, menandakan bahwa model memiliki keterbatasan dalam melakukan ekstrapolasi pada zona beban tinggi.

Validasi ini menunjukkan pentingnya memasukkan variasi jumlah tumbukan sebagai variabel masukan eksplisit pada model, atau melatih model dengan representasi data yang lebih luas agar mampu menangkap karakteristik tanah pada kondisi energi pemadatan yang berbeda.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma Random Forest mampu digunakan secara efektif untuk memodelkan dan memprediksi nilai California Bearing Ratio (CBR) berdasarkan parameter hasil uji pemadatan tanah, yakni kadar air optimum (OMC), berat isi kering maksimum (MDD), dan jumlah tumbukan. Model yang dikembangkan menghasilkan tingkat koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,931, yang mengindikasikan tingkat kesesuaian prediksi terhadap data aktual sangat tinggi. Hasil ini membuktikan bahwa pendekatan berbasis machine learning dapat dimanfaatkan sebagai alternatif prediksi nilai CBR secara efisien tanpa perlu sepenuhnya bergantung pada uji laboratorium yang bersifat konvensional dan memakan waktu. Meskipun model mampu menangkap kecenderungan umum hubungan antara penurunan dan beban, akurasi menurun pada kondisi energi pemadatan yang lebih tinggi (tumbukan 25 dan 56 kali), sehingga menunjukkan bahwa model masih memiliki keterbatasan generalisasi lintas kondisi. Implikasi dari penelitian ini adalah bahwa penggunaan model prediktif semacam ini berpotensi mendukung efisiensi proses desain awal perkerasan jalan, khususnya pada tahap eksplorasi awal. Untuk meningkatkan performa model, disarankan penelitian lanjutan memasukkan jumlah tumbukan sebagai variabel input eksplisit serta memperluas cakupan data pelatihan dengan variasi jenis tanah dan kondisi lapangan yang lebih representatif.

Daftar Rujukan

- [1] Ikeagwuani, C. C. (2021). Estimation of modified expansive soil CBR with multivariate adaptive regression splines, random forest and gradient boosting machine. *Innovative Infrastructure Solutions*, 6(4), 199.
- [2] Doan, D. Q., Vu, H. C., Nguyen, V. T., Vu, T. Q., Tran, V. T., & Chu, V. T. (2024). An atomic-scale insight into mechanical enhancement and frictional properties of amorphous/graphene multilayers. *Tribology International*, 197, 109783.
- [3] Hasan, S., & Ansary, M. A. (2024). Development of Empirical Correlations Between CPT and Other Soil Parameters Within DMDP Area, Bangladesh. *Indian Geotechnical Journal*, 1-16.
- [4] Kassa, S. M., Wubineh, B. Z., Geremew, A. M., Azmatch, T. F., & Kumar, N. D. (2023, August). Prediction of Compaction Parameters Based on the Atterberg Limit by Using a Machine Learning Approach. In *International Conference on Advances of Science and Technology* (pp. 133-146). Cham: Springer Nature Switzerland.
- [5] Pule, B. B., & Yendaw, J. A. (2024). The effect of geotechnical soil properties on cbr value. *AI in Civil Engineering*, 3(1), 1-11.
- [6] Tamassoki, S., Daud, N. N. N., Wang, S., & Roshan, M. J. (2023). CBR of stabilized and reinforced residual soils using experimental, numerical, and machine-learning approaches. *Transp Geotech* 42: 101080.
- [7] Trong, D. N., Dang, P. N., Țălu, Ș., & Long, V. C. (2022). A molecular dynamics study concerning the effect of high-temperature and high-pressure on the structure and phase transition of Fe₂O₃ material. *AIMS Materials Science*, 9(3), 406-429.
- [8] Iqbal, M., Onyelowe, K. C., & Jalal, F. E. (2021). Smart computing models of California bearing ratio, unconfined compressive strength, and resistance value of activated ash-modified soft clay soil with adaptive neuro-fuzzy inference system and ensemble random forest regression techniques. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design*, 4(3), 207-225.
- [9] JHo, L. S., & Tran, V. Q. (2022). Machine learning approach for predicting and evaluating California bearing ratio of stabilized soil containing industrial waste. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133587.
- [10] Sapta, W., Harianto, Y., & Gofar, N. (2023). CBR Correlation with Index and Compaction Properties of Soil. *Indonesian Geotechnical Journal*, 2(3), 179-188.