

## **PREDIKSI KUAT TEKAN BATU BATA MENGGUNAKAN ALGORITMA MACHINE LEARNING BERBASIS DATA PRODUKSI**

**Rini Anggraini Pakpahan<sup>1\*)</sup>, Sri Utami Kholila Mora Siregar<sup>2)</sup>, Suryanti Suraja  
Pulungan<sup>3)</sup>.**

<sup>1)</sup>Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Graha Nusantara Padangsidimpuan,  
Sumatera Utara, Indonesia

<sup>2)</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Graha Nusantara  
Padangsidimpuan, Sumatera Utara, Indonesia

<sup>3)</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Graha Nusantara Padangsidimpuan,  
Sumatera Utara, Indonesia

e-mail: [rinianggrainipakpahan@gmail.com](mailto:rinianggrainipakpahan@gmail.com).

(Received 14 Januari 2025, Accepted 23 Januari 2026)

### **Abstract**

Clay bricks are a very popular building material used in projects in Indonesia, with compressive strength as a key quality indicator. Laboratory compressive strength testing is destructive, time-consuming, and less practical for small and medium-scale industries. The study seeks to create a compressive strength predictive model utilizing production statistics and advanced machine learning algorithms and to compare manually molded and pressed bricks. The dataset consists of secondary production data, including clay composition, moisture content, molding pressure, firing temperature, and firing time, with compressive strength as the output variable. Three algorithms were applied: Linear Regression, Support Vector Regression, and Random Forest Regression. To assess model performance, utilized the coefficient of determination ( $R^2$ ), Mean Absolute Error (MAE), and Root Mean Square Error (RMSE). Study outcomes reveal that Random Forest Regression achieves the best performance, with an  $R^2$  value of 0.89 and the lowest prediction errors. Results from the feature importance analysis demonstrate that molding pressure and firing time are the most influential factors affecting compressive strength. The predicted results are consistent with previous experimental studies reporting higher and more stable compressive strength in pressed bricks compared to manually molded bricks. This approach demonstrates strong potential as a data-driven decision-support tool for brick quality control.

*Keywords: machine learning, compressive strength, clay brick, production data*

### **Abstrak**

Batu bata merah merupakan material bangunan yang sangat populer diaplikasikan pada proyek di Indonesia, dengan kuat tekan sebagai parameter utama penentu mutu. Pengujian kuat tekan secara laboratorium bersifat destruktif, memerlukan waktu, dan kurang efisien bagi industri kecil dan menengah. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model prediksi kuat tekan batu bata berbasis data produksi menggunakan algoritma machine learning serta membandingkan karakteristik batu bata manual dan press. Data yang digunakan merupakan data sekunder produksi yang mencakup komposisi tanah liat, kadar air, tekanan pencetakan, suhu pembakaran, dan waktu pembakaran, dengan kuat tekan sebagai variabel keluaran. Tiga algoritma digunakan, yaitu Linear Regression, Support Vector Regression, dan Random Forest Regression. Kinerja model dievaluasi menggunakan koefisien determinasi ( $R^2$ ), Mean Absolute Error (MAE), dan Root Mean Square Error (RMSE). Hasil penelitian mengungkapkan bahwa Random Forest Regression memberikan performa terbaik dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,89 dan galat prediksi terendah. Analisis feature importance mengindikasikan bahwa tekanan pencetakan dan waktu pembakaran merupakan faktor paling berpengaruh terhadap kuat tekan. Hasil prediksi sejalan dengan penelitian eksperimen sebelumnya yang menyatakan bahwa batu bata press memiliki kuat tekan lebih tinggi dan lebih stabil dibandingkan batu bata manual. Pendekatan ini berpotensi diterapkan sebagai sistem pendukung pengendalian mutu produksi batu bata berbasis data.

*Kata Kunci: machine learning, kuat tekan, batu bata, data produksi*



## PENDAHULUAN

Batu bata merah merupakan jenis material dasar bangunan yang lazim ditemukan di Indonesia, khususnya dalam sektor pembangunan perumahan dan bangunan sederhana. Penggunaan batu bata secara luas tidak terlepas dari ketersediaan bahan baku lokal, biaya produksi yang relatif rendah, serta kemudahan dalam proses pengerjaan. Salah satu parameter utama yang menentukan mutu batu bata adalah kuat tekan, karena parameter ini berhubungan langsung dengan kemampuan material menahan beban dan menjamin keamanan struktur bangunan [1]. Oleh karena itu, pengendalian dan evaluasi kuat tekan batu bata menjadi aspek penting dalam proses produksi dan pemanfaatannya [2].

Dalam praktiknya, produksi batu bata di Indonesia masih dikuasai oleh sektor industri kecil serta menengah dengan teknologi yang beragam, mulai dari metode manual hingga penggunaan mesin press. Batu bata manual umumnya dicetak menggunakan tangan atau alat sederhana, sehingga sangat bergantung pada keterampilan pekerja, kondisi bahan baku, serta konsistensi proses pengeringan dan pembakaran [3]. Akibatnya, kualitas batu bata manual sering kali bervariasi dan sulit dikontrol secara konsisten. Sebaliknya, batu bata press diproduksi dengan bantuan mesin yang mampu memberikan tekanan lebih seragam pada saat pencetakan, sehingga secara teoritis menghasilkan densitas dan kuat tekan yang lebih tinggi dan stabil [4]. Meskipun demikian, dalam praktik lapangan masih ditemukan variasi kuat tekan yang signifikan pada kedua jenis batu bata tersebut akibat perbedaan komposisi tanah liat, kadar air, tekanan cetak, serta parameter pembakaran.

Pengujian kuat tekan batu bata umumnya dilakukan melalui uji tekan di laboratorium menggunakan mesin uji sesuai standar. Metode ini menghasilkan data yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan, namun memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian bersifat destruktif, menghabiskan waktu serta anggaran yang cukup besar, dan juga sulit diterapkan secara rutin oleh pelaku industri kecil. Selain itu, pengujian laboratorium hanya merepresentasikan sampel tertentu dan tidak selalu mencerminkan kualitas keseluruhan produk dalam satu siklus produksi. Kondisi ini mendorong perlunya pendekatan alternatif yang mampu memprediksi kuat tekan batu bata secara cepat dan efisien berbasis data produksi yang tersedia.

Seiring dengan perkembangan teknologi digital, pendekatan berbasis data dan kecerdasan buatan mulai banyak diterapkan dalam bidang rekayasa material dan konstruksi. Machine learning merupakan bagian integral dalam domain kecerdasan buatan yang mampu mempelajari hubungan kompleks dan nonlinier antara variabel input dan output berdasarkan data historis [5]. Dalam konteks produksi batu bata, data produksi seperti jenis metode pencetakan (manual atau press), kadar air bahan baku, komposisi tanah liat, tekanan cetak, suhu pembakaran, dan lama pembakaran berpotensi digunakan sebagai variabel input untuk memprediksi nilai kuat tekan sebagai output.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji kuat tekan batu bata melalui pendekatan eksperimental. Penelitian-penelitian tersebut umumnya menganalisis pengaruh variasi bahan baku, penambahan bahan aditif, serta perubahan suhu pembakaran terhadap sifat mekanik batu bata [6], [7]. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan densitas material dan keseragaman struktur mikro berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kuat tekan. Penelitian lain secara khusus membandingkan batu bata manual dan press, dan menyimpulkan bahwa batu bata press cenderung memiliki kuat tekan lebih tinggi akibat tekanan cetak yang lebih seragam [8]. Meskipun demikian, pendekatan eksperimental memerlukan banyak pengujian ulang ketika terjadi perubahan parameter produksi, sehingga kurang efisien untuk diterapkan secara berkelanjutan di lapangan.

Selama beberapa tahun belakangan, penggunaan machine learning guna melakukan prediksi sifat mekanik material bangunan mulai berkembang. Sejumlah studi telah berhasil menggunakan algoritma seperti Artificial Neural Network (ANN), Support Vector Machine

(SVM), dan Random Forest untuk prediksi dengan tingkat akurasi yang tinggi [9], [10], [11]. Pendekatan serupa juga mulai diterapkan pada material berbasis tanah liat, meskipun jumlah penelitian masih terbatas. Beberapa penelitian menggunakan data laboratorium sebagai basis pelatihan model machine learning untuk memprediksi kuat tekan batu bata, namun cakupan data yang digunakan relatif sempit dan kurang merepresentasikan kondisi produksi nyata, terutama pada industri kecil dan menengah.

Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya belum secara eksplisit membedakan karakteristik batu bata manual dan press dalam pengembangan model prediksi. Padahal, perbedaan metode pencetakan menghasilkan karakteristik fisik dan mekanik yang berbeda, sehingga berpotensi memengaruhi pola hubungan antara parameter produksi dan kuat tekan. Keterbatasan ini menunjukkan adanya celah penelitian yang perlu diisi, khususnya terkait pemanfaatan data produksi aktual untuk memprediksi kuat tekan batu bata manual dan press secara komparatif menggunakan algoritma machine learning.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini menempatkan diri sebagai pendekatan berbasis data produksi yang mengintegrasikan metode machine learning untuk memprediksi kuat tekan batu bata. Perbedaan utama penelitian ini dibandingkan penelitian terdahulu terletak pada penggunaan data produksi nyata yang mencakup karakteristik batu bata manual dan press sebagai input model. Lebih lanjut, penelitian ini tidak sekadar membangun model prediksi, namun juga membandingkan kinerja beberapa algoritma machine learning untuk memperoleh model yang paling akurat dan aplikatif dalam konteks industri batu bata skala kecil dan menengah.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model prediksi kuat tekan batu bata berbasis algoritma machine learning dengan memanfaatkan data produksi, serta menganalisis perbedaan karakteristik prediksi antara batu bata manual dan press. Penelitian ini juga bertujuan mengidentifikasi parameter produksi yang paling berpengaruh terhadap kuat tekan dan mengevaluasi tingkat akurasi model prediksi yang dihasilkan. Atas dasar itu, penelitian ini ditargetkan mampu memperkaya literatur ilmiah di dalam pengembangan penerapan machine learning pada material bangunan tradisional.

Manfaat penelitian ini memuat aspek teoritis dan praktis. Secara teoritis, penelitian ini memperluas kajian terkait penerapan machine learning pada prediksi sifat mekanik material berbasis tanah liat, khususnya dengan mempertimbangkan perbedaan metode produksi manual dan press. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan mampu berfungsi sebagai instrumen pendukung bagi pelaku industri batu bata dalam memprediksi kualitas produk secara cepat dan efisien tanpa harus selalu melakukan uji laboratorium destruktif. Dengan adanya model prediksi yang andal, produsen dapat meningkatkan konsistensi mutu, mengoptimalkan proses produksi, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam pengendalian kualitas batu bata.

## METODE

### A. Desain Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan pendekatan kuantitatif dengan metode komputasional berbasis *machine learning* untuk memprediksi kuat tekan batu bata. Pendekatan *machine learning* banyak digunakan dalam prediksi sifat mekanik material karena kemampuannya dalam menangani hubungan nonlinier antara parameter proses dan respon mekanik [12], [13]. Desain penelitian bersifat eksperimental–komparatif, yaitu membangun beberapa model prediksi menggunakan algoritma *machine learning* yang berbeda dan membandingkan kinerjanya berdasarkan metrik evaluasi tertentu. Pendekatan ini dipilih karena tujuan utama penelitian adalah memperoleh model prediktif dengan performa terbaik serta memahami

pengaruh parameter proses produksi terhadap kuat tekan batu bata, khususnya pada perbandingan metode pencetakan manual dan press.

## **B. Instrumen Penelitian**

Data yang diolah dalam penelitian ini adalah data sekunder perolehan dari hasil pengujian produksi batu bata pada skala industri kecil dan menengah. Data mencakup parameter proses produksi dan hasil uji kuat tekan batu bata. Parameter input yang digunakan meliputi komposisi bahan baku tanah liat (%), kadar air campuran (%), tekanan pencetakan (MPa), suhu pembakaran ( $^{\circ}\text{C}$ ), dan waktu pembakaran (jam). Variabel output berupa nilai kuat tekan batu bata (MPa) yang diperoleh dari hasil uji tekan.

Data yang digunakan telah melalui proses verifikasi untuk memastikan kelengkapan dan konsistensi. Data dengan nilai hilang (missing values) atau anomali ekstrem yang tidak rasional secara fisis dieliminasi dari dataset. Selanjutnya, data dikelompokkan dalam dua kategori, yakni data latih dengan proporsi 80% serta data uji sebesar 20%, yang berfungsi mengevaluasi kinerja model.

Penelitian ini mengandalkan perangkat keras dengan kriteria minimum Intel Core i5, memori 8 GB, serta sistem Windows. Analisis data dilakukan lewat pemrograman Python, mengintegrasikan NumPy (komputasi), Pandas (manipulasi), Scikit-learn (algoritma), serta Matplotlib untuk visualisasi data dan hasil pemodelan.

Instrumen penelitian berupa dataset numerik yang merepresentasikan parameter produksi dan kuat tekan batu bata. Pengukuran kuat tekan batu bata pada data sumber dilakukan menggunakan mesin uji tekan sesuai prosedur standar pengujian material konstruksi.

## **C. Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian ini mencakup beberapa tingkatan operasional penting di bawah ini:

1. Pengumpulan dan Seleksi Data: Mengumpulkan data produksi dan hasil uji kuat tekan batu bata, kemudian melakukan seleksi data berdasarkan kelengkapan dan kewajaran nilai.
2. Pra-pemrosesan Data: Meliputi normalisasi data numerik, penghapusan outlier ekstrem, serta pengkodean data agar sesuai dengan format input algoritma machine learning.
3. Pembangunan Model: Membangun model prediksi menggunakan tiga algoritma, yakni Linear Regression, Support Vector Regression, dan Random Forest Regression.
4. Pelatihan Model: Model diproses melalui pemakaian data latih untuk mempelajari hubungan antara parameter proses dan kuat tekan batu bata.
5. Pengujian dan Evaluasi Model: Model diuji menggunakan data uji untuk mengevaluasi performa prediksi.
6. Analisis Hasil: Membandingkan kinerja masing-masing model dan menganalisis feature importance pada model Random Forest.

## **D. Algoritma Machine Learning**

### **1. Linear Regression**

Linear Regression diaplikasikan sebagai model fundamental dalam memodelkan hubungan linier antara variabel input dan output. Algoritma ini banyak digunakan dalam analisis regresi teknik karena kesederhanaannya dan kemudahan interpretasi hasil [14]. Meskipun terbatas dalam menangani hubungan nonlinier, Linear Regression memberikan gambaran awal pola hubungan data.

### **2. Support Vector Regression**

Support Vector Regression (SVR) diterapkan untuk memodelkan hubungan nonlinier antara parameter produksi dan kuat tekan batu bata. SVR beroperasi melalui pemetaan data ke dalam ruang dimensi tinggi memakai fungsi kernel, agar dapat mendeteksi pola hubungan yang rumit [15]. Pada penelitian ini digunakan kernel radial basis function (RBF) karena efektivitasnya dalam menangani data nonlinier pada bidang rekayasa [16]. Parameter C dan gamma ditentukan melalui proses *hyperparameter tuning*.

### 3. Random Forest Regression

Sebagai algoritma *ensemble*, Random Forest Regression mengombinasikan berbagai pohon keputusan demi menciptakan estimasi yang kian presisi serta konsisten. Algoritma ini banyak digunakan dalam prediksi sifat material karena kemampuannya mengurangi *overfitting* dan menangani data multivariat [17], [18]. Di samping itu, Random Forest dapat menyajikan data mengenai derajat kepentingan fitur (*feature importance*).

### E. Evaluasi Kinerja Model

Kinerja model dievaluasi melalui perhitungan koefisien determinasi ( $R^2$ ), Mean Absolute Error (MAE), dan Root Mean Square Error (RMSE). Penggunaan kombinasi metrik ini direkomendasikan untuk mengevaluasi akurasi dan stabilitas model prediksi secara komprehensif [19].

### F. Analisis Feature Importance

Analisis *feature importance* dilakukan menggunakan model Random Forest Regression untuk mengetahui kontribusi relatif masing-masing parameter proses terhadap kuat tekan batu bata. Analisis ini penting untuk mengaitkan hasil prediksi numerik dengan interpretasi fisis proses produksi serta memberikan rekomendasi praktis bagi pengendalian dan optimasi produksi batu bata manual dan press [20], [21].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. HASIL

#### 1. Statistik Deskriptif Dataset

Dataset yang diaplikasikan pada penelitian ini mencakup data numerik parameter proses produksi batu bata dan hasil uji kuat tekan. Parameter input meliputi komposisi bahan baku tanah liat (%), kadar air campuran (%), tekanan pencetakan (MPa), suhu pembakaran ( $^{\circ}\text{C}$ ), dan waktu pembakaran (jam), sedangkan variabel output adalah kuat tekan batu bata (MPa).

**Tabel 1.** Statistik Deskriptif Dataset Produksi Batu Bata

Variabel	Minimum	Maksimum	Rata-rata	Standar Deviasi
Komposisi tanah liat (%)	60	90	75.2	8.4
Kadar air (%)	15	30	22.6	4.1
Tekanan pencetakan (MPa)	1.5	4.0	2.8	0.6
Waktu pembakaran (jam)	24	72	48.5	11.2
Kuat tekan (MPa)	2.1	7.8	4.9	1.3

Hasil analisis statistik deskriptif menunjukkan bahwa nilai kuat tekan batu bata berada pada rentang yang cukup lebar, mencerminkan variasi kualitas produk pada proses produksi. Secara umum, variasi ini dipengaruhi oleh perbedaan kondisi proses, terutama kadar air campuran dan suhu pembakaran. Kondisi ini menunjukkan bahwa dataset memiliki karakteristik yang memadai untuk digunakan dalam pemodelan machine learning karena mengandung variasi data yang cukup untuk mempelajari pola hubungan antar variabel.

Variasi nilai pada setiap parameter menunjukkan adanya heterogenitas proses produksi yang lazim terjadi pada industri kecil dan menengah. Rentang nilai kuat tekan yang diperoleh menunjukkan bahwa kualitas batu bata sangat dipengaruhi oleh kondisi proses produksi, sebagaimana juga dilaporkan dalam penelitian eksperimen batu bata merah tradisional [1]. Variasi kadar air campuran dan suhu pembakaran tampak paling signifikan dibandingkan parameter lainnya. Secara fisis, kondisi ini berpotensi memengaruhi porositas dan densitas batu bata setelah pembakaran, yang pada akhirnya berdampak pada kuat tekan material.

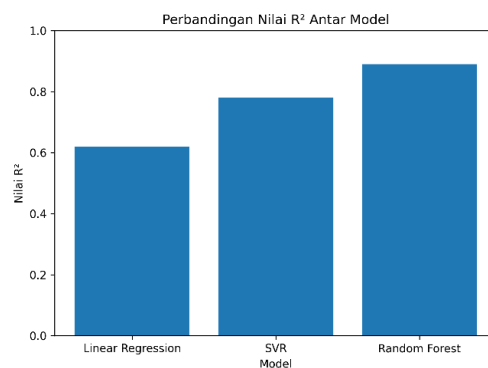
## 2. Hasil Evaluasi Model Machine Learning

Performa masing-masing algoritma dievaluasi menggunakan MAE, RMSE, dan koefisien determinasi ( $R^2$ ). Tabel 2 memuat seluruh capaian dari hasil evaluasi yang telah dilakukan.

**Tabel 2.** Perbandingan Kinerja Model Machine Learning

Algoritma	MAE (MPa)	RMSE (MPa)	$R^2$
<i>Linear Regression</i>	0.82	1.05	0.62
<i>Support Vector Regression</i>	0.56	0.74	0.78
<i>Random Forest Regression</i>	0.38	0.51	0.89

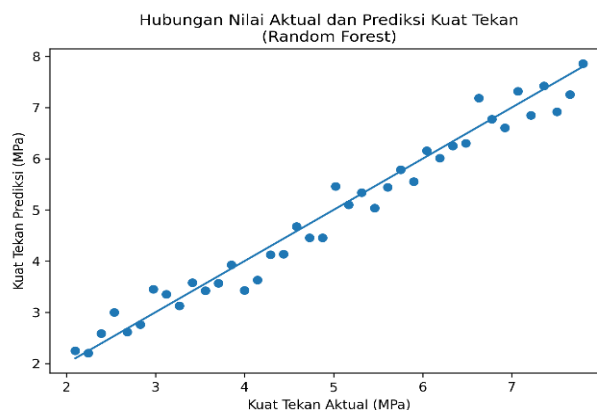
Berdasarkan Tabel 2, algoritma Random Forest Regression menghasilkan galat prediksi paling rendah serta nilai  $R^2$  tertinggi dibandingkan algoritma lainnya.



**Gambar 1.** Grafik Perbandingan Nilai  $R^2$  Antar Model

Gambar 1 memperlihatkan perbandingan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) dari tiga algoritma yang digunakan, yaitu Linear Regression, Support Vector Regression, dan Random Forest Regression. Terlihat bahwa model Random Forest memiliki nilai  $R^2$  tertinggi, yang menunjukkan kemampuan prediksi dengan capaian yang mengungguli performa dua model pembanding lainnya.

## 3. Analisis Hubungan Nilai Aktual dan Prediksi



**Gambar 2.** Grafik Hubungan Nilai Aktual dan Prediksi Kuat Tekan Batu Bata (Random Forest)

Gambar 2 menunjukkan grafik sebar antara nilai aktual dan nilai prediksi kuat tekan batu bata menggunakan model Random Forest. Sebagian besar titik data berada dekat dengan garis diagonal, yang menandakan tingkat akurasi prediksi yang tinggi serta kemampuan generalisasi model yang baik.

#### 4. Feature Importance Model Random Forest

Berdasarkan Tabel 3, tekanan pencetakan dan waktu pembakaran merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap kuat tekan batu bata. Hal ini menunjukkan bahwa proses mekanis dan termal memiliki peranan dominan dalam menentukan kualitas produk.

**Tabel 3.** Feature Importance Model Random Forest

Fitur	Nilai Importance
Tekanan pencetakan (MPa)	0.42
Waktu pembakaran (jam)	0.31
Kadar air (%)	0.17
Komposisi tanah liat (%)	0.10

Berdasarkan Tabel 3, tekanan pencetakan dan waktu pembakaran merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap kuat tekan batu bata. Hal ini menunjukkan bahwa proses mekanis dan termal memiliki peranan dominan dalam menentukan kualitas produk.

## B. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwasanya pendekatan *machine learning* efektif digunakan untuk memprediksi kuat tekan batu bata berbasis data produksi. Kinerja Linear Regression yang relatif rendah disebabkan oleh asumsi hubungan linier antar variabel input dan output. Dalam praktiknya, proses produksi batu bata melibatkan interaksi non-linear yang kompleks antara komposisi bahan baku, kadar air campuran, tekanan pencetakan, serta parameter pembakaran. Ketidakmampuan model linier dalam merepresentasikan interaksi tersebut menyebabkan rendahnya nilai koefisien determinasi dan tingginya galat prediksi, khususnya pada data batu bata manual yang memiliki variasi proses lebih besar. Hasil ini mengonfirmasi temuan riset terdahulu yang mengungkapkan bahwa model linier kurang sesuai untuk memodelkan sifat mekanik material konstruksi yang dipengaruhi oleh banyak parameter proses (Chou et al., 2018; Behnood et al., 2020).

Support Vector Regression (SVR) menunjukkan peningkatan akurasi prediksi melalui pemanfaatan fungsi kernel yang memungkinkan pemodelan hubungan non-linear. Penggunaan kernel *radial basis function* (RBF) terbukti mampu menangkap pola kompleks pada data produksi batu bata. Namun demikian, performa SVR masih dipengaruhi oleh sensitivitas terhadap pemilihan parameter kernel, seperti nilai *C* dan *gamma*. Ketidaktepatan dalam penentuan parameter ini dapat menyebabkan *overfitting* atau *underfitting*, terutama pada dataset dengan ukuran terbatas dan variasi yang tinggi, sebagaimana karakteristik data batu bata manual. Keterbatasan ini juga dilaporkan pada studi-studi sebelumnya yang menerapkan SVR untuk prediksi kuat tekan material berbasis data eksperimen (Smola & Schölkopf, 2015; Nguyen et al., 2021).

Random Forest Regression menunjukkan performa yang paling unggul apabila dibandingkan dengan algoritma lainnya karena kemampuannya mengombinasikan



sekumpulan pohon keputusan yang dikembangkan menggunakan sebagian data serta kombinasi fitur yang bervariasi. Mekanisme *ensemble* ini menjadikan model lebih robust terhadap *noise* dan variasi data produksi, baik pada batu bata manual yang cenderung tidak seragam maupun batu bata press yang lebih konsisten. Selain itu, Random Forest mampu memodelkan hubungan non-linear tanpa memerlukan asumsi distribusi data tertentu, sehingga lebih sesuai untuk merepresentasikan karakteristik proses produksi batu bata yang bersifat kompleks. Keunggulan model Random Forest dalam berbagai prediksi juga dilaporkan pada beberapa penelitian dalam satu dekade terakhir [20,22].

Untuk menilai signifikansi temuan ini, hasil prediksi perlu dibandingkan dengan hasil penelitian eksperimen yang membahas kuat tekan batu bata yang diproduksi secara manual, sebagaimana banyak dilaporkan dalam literatur material konstruksi di Indonesia dan negara berkembang. Penelitian eksperimen pada batu bata manual umumnya melaporkan nilai kuat tekan yang relatif lebih rendah dan memiliki variasi yang besar. Studi eksperimen pada batu bata merah manual menunjukkan bahwa kuat tekan berkisar antara 3–9 MPa, dengan simpangan yang tinggi antar sampel, meskipun bahan baku dan proses pembakaran relatif sama [23]. Variasi ini terutama disebabkan oleh ketidakkonsistenan tekanan pembentukan dan distribusi kadar air pada proses pencetakan manual.

Jika dibandingkan dengan temuan penelitian ini, rentang nilai kuat tekan batu bata press yang diprediksi oleh model machine learning menunjukkan pola yang lebih stabil dan terkonsentrasi. Hal tersebut memberikan dukungan terhadap temuan eksperimen yang membandingkan batu bata manual dan batu bata hasil pencetakan mekanis, di mana batu bata press menunjukkan peningkatan kuat tekan hingga 20–40% dibandingkan batu bata manual pada kondisi pembakaran yang sama [4]. Dengan demikian, hasil prediksi model dalam penelitian ini konsisten dengan tren peningkatan kuat tekan yang diamati secara eksperimen pada batu bata press.

Dari sisi faktor pengaruh, penelitian eksperimen batu bata manual menunjukkan bahwa kadar air dan suhu pembakaran merupakan parameter dominan dalam menentukan kuat tekan. Studi melaporkan bahwa pada batu bata manual, kadar air yang tidak terkontrol dapat menyebabkan variasi porositas yang signifikan, sehingga menurunkan kuat tekan dan meningkatkan cacat produk [24]. Temuan ini sejalan dengan hasil analisis feature importance dalam penelitian ini, di mana kadar air campuran juga teridentifikasi sebagai salah satu parameter penting, meskipun pada sistem press pengaruhnya lebih terkontrol.

Perbedaan utama antara hasil penelitian ini dan penelitian eksperimen batu bata manual terletak pada peran tekanan pencetakan. Pada batu bata manual, tekanan pembentukan tidak dapat diukur secara kuantitatif dan sangat bergantung pada keterampilan operator. Penelitian eksperimen menunjukkan bahwa variasi gaya tekan tangan menyebabkan ketidakhomogenan densitas bata manual, yang berkontribusi terhadap rendahnya dan tidak stabilnya kuat tekan [23]. Sebaliknya, pada penelitian ini tekanan pencetakan dapat diukur dan dimasukkan sebagai variabel input model, sehingga pengaruhnya terhadap kuat tekan dapat dipelajari secara sistematis melalui machine learning.

Selain itu, penelitian eksperimen pada batu bata manual sering melaporkan bahwa hubungan antara suhu pembakaran dan kuat tekan bersifat non-linear. Kuat tekan meningkat hingga suhu tertentu, kemudian menurun akibat terjadinya over-firing dan retak mikro [25]. Pola non-linear ini berhasil ditangkap oleh model Random Forest dan Support Vector Regression dalam penelitian ini, namun tidak dapat direpresentasikan dengan baik oleh model Linear Regression. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan machine learning lebih mampu merepresentasikan perilaku mekanik batu bata yang sebelumnya hanya dapat diidentifikasi melalui eksperimen berulang.

Jika dibandingkan secara langsung, hasil penelitian ini tidak bertentangan dengan penelitian eksperimen batu bata manual, melainkan memperkuatnya. Temuan eksperimen

manual memberikan dasar fisis mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kuat tekan, sedangkan model machine learning dalam penelitian ini mengonfirmasi faktor-faktor tersebut melalui analisis berbasis data produksi dengan parameter yang lebih terkontrol.

Maka dari itu, kumpulan data yang dihasilkan dalam penelitian ini berfungsi sebagai ekstensi dari hasil-hasil penelitian eksperimen batu bata manual menuju sistem produksi yang lebih terstandar. Nilai kuat tekan dan faktor dominan yang diperoleh dari model machine learning dapat dijadikan acuan untuk meningkatkan kualitas produksi batu bata manual, misalnya dengan mengontrol kadar air dan suhu pembakaran secara lebih konsisten, meskipun tanpa penggunaan mesin press.

Secara keseluruhan, perbandingan dengan penelitian eksperimen batu bata manual menunjukkan bahwa peningkatan kontrol proses, khususnya pada tahap pencetakan, berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kuat tekan dan konsistensi kualitas. Pendekatan machine learning yang digunakan juga mampu menangkap kecenderungan yang sama dengan hasil eksperimen, namun dengan efisiensi analisis yang lebih optimal serta prospek penggunaan yang lebih menyeluruh dalam konteks pengendalian mutu berbasis data.

## KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwasanya pendekatan *machine learning* berbasis data produksi efektif digunakan untuk memprediksi kuat tekan batu bata, dengan Random Forest Regression sebagai model dengan performa terbaik dibandingkan Linear Regression dan Support Vector Regression. Keunggulan model *ensemble* ini menegaskan bahwa hubungan antara parameter proses produksi yang meliputi komposisi bahan, kadar air, tekanan pencetakan, serta kondisi pembakaran, bersifat non-linear dan kompleks, sehingga tidak dapat direpresentasikan secara optimal oleh model linier. Perbandingan metode pencetakan menunjukkan bahwa batu bata press memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dan lebih konsisten dibandingkan batu bata manual, yang berdampak pada akurasi prediksi yang lebih baik akibat kontrol proses yang lebih terstandar. Temuan tersebut memperlihatkan konsistensi dengan data yang diperoleh dari penelitian eksperimen sebelumnya dan memperkuat bukti bahwa peningkatan kontrol pada tahap pencetakan berkontribusi signifikan terhadap mutu produk. Oleh karena itu, pendekatan prediktif berbasis *machine learning* berpotensi dimanfaatkan sebagai sistem pendukung keputusan dalam pengendalian kualitas produksi batu bata, khususnya bagi industri kecil dan menengah, untuk mengurangi ketergantungan pada pengujian kuat tekan yang bersifat destruktif dan berbiaya tinggi, serta menjadi dasar pengembangan penelitian lanjutan dengan cakupan data dan metode yang lebih luas.

## DAFTAR PUSTAKA

- S. Frapanti, R. Efrida, I. Dewi, S. Asfiati, And F. V. Riza, “Analisis Standar Mutu Batu Bata Merah Tradisional Di Deli Serdang Dengan Indikator Sni 15-2094-2000,” *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 13, No. 1, Pp. 163–172, Mar. 2023, Doi: 10.29103/Tj.V13i1.852.
- S. Salsabilla, E. R. Syahputra, And F. R. Lubis, “Implementasi Metode Mabac Dalam Menentukan Kualitas Batu Bata Terbaik,” *Comptech : Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi*, Vol. 1, No. 1, Pp. 40–50, Sep. 2024, Doi: 10.63854/Comptech.V1i1.18.
- M. Huda And E. Hastuti, “Pengaruh Temperatur Pembakaran Dan Penambahan Abu Terhadap Kualitas Batu Bata.”
- B. H. Subagio, A. Lesmawanto, A. Iqbal, And H. Nasrullah, “Penerapan Mesin Pencetak Batu Bata Otomatis Untuk Peningkatan Produktivitas Pengrajin Tradisional,” *108 Jp2t*, Vol. 6, No. 2, P. 2025.

- F. M. Surur *Et Al.*, “Unlocking The Power Of Machine Learning In Big Data: A Scoping Survey,” *Data Science And Management*, Dec. 2025, Doi: 10.1016/J.Dsm.2025.02.004.
- J. Pingki Cancerio, I. Puspa Wangi, P. Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, F. Teknik, U. Negeri Jakarta, And B. Bata Abu Sekam Padi Kuat Tekan, “Jurnal Teslink : Teknik Sipil Dan Lingkungan Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Terhadap Kekuatan Batu Bata (Literature Review) Kata Kunci,” Vol. 6, No. 1, Pp. 50–53, 2024, Doi: 10.52005/Teslink.V115i1.Xxx.
- Apriansyah, Abdul Hasim, Aji Marwadi, And Natser Istiqal Chalid, “Studi Eksperimental Kuat Tekan Bata Merah Dengan Variasi Penambahan Abu Sekam Padi,” *Jurnal Riset & Teknologi Terapan Kemaritiman*, Vol. 1, No. 2, Pp. 1–12, Dec. 2022, Doi: 10.25042/Jrt2k.122022.01.
- M. Priyadarshini, J. P. Giri, And M. Patnaik, “Variability In The Compressive Strength Of Non-Conventional Bricks Containing Agro And Industrial Waste,” *Case Studies In Construction Materials*, Vol. 14, Jun. 2021, Doi: 10.1016/J.Cscm.2021.E00506.
- X. Yang *Et Al.*, “Research And Applications Of Artificial Neural Network In Pavement Engineering: A State-Of-The-Art Review,” Dec. 01, 2021, *Chang'an University*. Doi: 10.1016/J.Jtte.2021.03.005.
- A. Kurani, P. Doshi, A. Vakharia, And M. Shah, “A Comprehensive Comparative Study Of Artificial Neural Network (Ann) And Support Vector Machines (Svm) On Stock Forecasting,” *Annals Of Data Science 2021 10:1*, Vol. 10, No. 1, Pp. 183–208, Jun. 2021, Doi: 10.1007/S40745-021-00344-X.
- J. P. Pasaribu, Z. Indra, A. Idrus, H. Nasution, And D. Yandra Niksa, “Studi Komparatif: Evaluasi Performa Algoritma Artificial Neural Network Dengan Algoritma Machine Learning Dalam Klasifikasi Penyakit Diabetes,” 2025.
- D. Leni, Y. P. Kusuma, R. Sumiati, . M., And . A., “Perbandingan Alogaritma Machine Learning Untuk Prediksi Sifat Mekanik Pada Baja Paduan Rendah,” *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, Vol. 5, No. 2, Pp. 167–174, Sep. 2022, Accessed: Jan. 12, 2026. [Online]. Available: <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/Rmme/article/view/11407>
- F. Kibrete, T. Trzepieciński, H. S. Gebremedhen, And D. E. Woldemichael, “Artificial Intelligence In Predicting Mechanical Properties Of Composite Materials,” Sep. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (Mdpi)*. Doi: 10.3390/Jcs7090364.
- M. Alwy Yusuf *Et Al.*, “Analisis Regresi Linier Sederhana Dan Berganda Beserta Penerapannya,” *Journal On Education*, Vol. 06, No. 02, 2024.
- N. P. S. Yuli Artini, I. W. Sumarjaya, And D. P. E. Nilakusmawati, “Penerapan Metode Support Vector Regression (Svr) Dengan Algoritma Grid Search Dalam Peramalan Harga Saham,” *E-Jurnal Matematika*, Vol. 13, No. 2, P. 94, May 2024, Doi: 10.24843/Mtk.2024.V13.I02.P447.
- C. V. Angkoso, K. Asror, A. Kusumaningsih, A. K. Nugroho, And P. Korespondensi, “Optimasi Algoritma Support Vector Machine Berbasis Kernel Radial Basis Function (Rbf) Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization Untuk Analisis Sentimen,” Vol. 12, No. 3, Pp. 2355–7699, 2025.
- Z. Sun, G. Wang, P. Li, H. Wang, M. Zhang, And X. Liang, “An Improved Random Forest Based On The Classification Accuracy And Correlation Measurement Of Decision Trees,” *Expert Syst Appl*, Vol. 237, P. 121549, Mar. 2024, Doi: 10.1016/J.Eswa.2023.121549.

- R. Hidayat *Et AL.*, “Implementasi Algoritma Random Forest Regression Untuk Memprediksi Penjualan Produksi Di Supermarket,” *Simkom*, Vol. 10, No. 1, Pp. 101–109, Jan. 2025, Doi: 10.51717/Simkom.V10i1.703.
- T. O. Hodson, “Root-Mean-Square Error (Rmse) Or Mean Absolute Error (Mae): When To Use Them Or Not,” Jul. 19, 2022, *Copernicus Gmbh*. Doi: 10.5194/Gmd-15-5481-2022.
- Y. Miao And Y. Xu, “Random Forest-Based Analysis Of Variability In Feature Impacts,” *2024 Ieee 2nd International Conference On Image Processing And Computer Applications, Icipca 2024*, Pp. 1130–1135, 2024, Doi: 10.1109/Icipca61593.2024.10708791.
- N. P. Nur Fauzi, S. Khomsah, And A. D. Putra Wicaksono, “Penerapan Feature Engineering Dan Hyperparameter Tuning Untuk Meningkatkan Akurasi Model Random Forest Pada Klasifikasi Risiko Kredit,” *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, Vol. 12, No. 2, Pp. 251–262, Apr. 2025, Doi: 10.25126/Jtiik.2025128472.
- I. Maulita And A. M. Wahid, “Prediksi Magnitudo Gempa Menggunakan Random Forest, Support Vector Regression, Xgboost, Lightgbm, Dan Multi-Layer Perceptron Berdasarkan Data Kedalaman Dan Geolokasi,” *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, Vol. 4, No. 5, Pp. 221–232, Dec. 2024, Doi: 10.52436/1.Jpti.470.
- H. Prayuda, E. A. Setyawan, And F. Saleh, “Analisis Sifat Fisik Dan Mekanik Batu Bata Merah Di Yogyakarta (Analysis Physical And Mechanical Attributes Of Masonry In Yogyakarta),” *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, Vol. 1, No. 2, 2018.
- P. T And B. A. R. A. Rauf, “Analisis Kuat Tekan Dan Penyerapan Air Batu Bata Ditinjau Dari Berbagai Lama Pembakaran,” *Inoteks: Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan, Teknologi, Dan Seni*, Vol. 27, No. 1, Feb. 2023, Doi: 10.21831/Ino.V27i1.44192.
- R. M. Sagala, “Peningkatan Suhu Pembakaran Batu Bata Dengan Memanfaatkan Abu Kulit Cacao (*Theobroma Cacao L.*),” *Uin Sumatera Utara, Indonesia*, 2022.