

Perbandingan Alogaritma *Machine Learning* Untuk Prediksi Sifat Mekanik Pada Baja Paduan Rendah

Desmarita leni¹, Yuda perdana kusuma², Ruzita sumiati^{3*},
Muchlisinalahuddin⁴, Adriansyah⁵

^{1,4}) Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

²) Teknologi Pertanian dan Biosistem, Universitas Andalas

^{3,5}) Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang

*Email: ruzitasumiati@gmail.com

ABSTRACT

The development of industrial technology encourages companies to be selective in determining the mechanical properties of materials, one of which is low-alloy steel. The purpose of knowing the mechanical properties of low alloy steel is to support the success of a construction product, transportation, machine elements, and so on. Heat treatment of metal is one of the test methods to determine the mechanical properties of steel by heating the steel at a certain temperature. The selection of low alloy steel composition has various variations to be applied so as to obtain the desired mechanical properties. The mechanical properties of low-alloy steel are strongly influenced by the composition contained in the steel. If the composition of the steel is added to a new element, the mechanical properties of the steel will change, so it needs to be retested. This research uses machine learning modeling to predict the mechanical properties of low-alloy steels based on their chemical compositions. This study compares three algorithms, namely decision tree (DT), random forest (RF), and artificial neural network (ANN), where the ANN algorithm has better performance by producing an RMSE value of 6.187 with training cycle parameter settings of 30.000, learning rate 0.007, momentum 0.9, and size of hidden layer 9.

Keywords: Artificial Neural Network (ANN), composition, low alloy steel, mechanical properties

PENDAHULUAN

Baja paduan rendah (*low alloy steel*) merupakan baja paduan dengan jumlah unsur paduan kecil dari 10% dan memiliki sedikit kadar karbon. Banyak jenis komposisi baja paduan rendah saat ini, hal ini di rancang untuk memaksimalkan kemampuan baja paduan rendah seperti penambahan *nickel* dapat memberi kekuatan pada baja dan dapat membantu baja dalam proses pengerasan melalui *quenching* serta *tempering*, penambahan *Chromium* dapat mencegah karat. Baja paduan rendah dalam pengaplikasiannya banyak digunakan untuk kapal, jembatan, rel kereta api, ketel uap dan tangki gas. Baja paduan rendah sering digunakan untuk material pekerjaan yang bersentuhan langsung dengan panas, agar komposisi baja paduan rendah dapat di maksimalkan sesuai kegunaanya dan menghindari terjadinya kegagalan material, dilakukan uji *heat treatment* untuk mengetahui sifat mekanik baja paduan rendah seperti nilai 0.2% Proof Stress, Tensile Strength, Elongation, dan Reduction in Area. *Heat Treatment* (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan specimen pada elektrik terance (tungku) pada temperature rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air faram, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda [1]. Pengujian *heat treatment* saat ini masih dilakukan secara manual, proses secara manual membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang mahal, sebab setiap jenis komposisi baja akan menghasilkan sifat mekanik baja yang berbeda – beda pula, dengan kata lain setiap komposisi baja yang di tambahkan unsur lain maka akan dilakukan pengujian ulang. Menurut Liu dalam penelitiannya tentang Pemodelan dan desain material menggunakan pembelajaran mesin kebanyakan kasus, merancang parameter produksi untuk kadar baja tertentu biasanya bergantung pada pengalaman dan pengetahuan operator, daripada pendekatan yang lebih definitif dan berdasarkan data sehingga tujuan untuk memaksimalkan kelebihan baja kurang maksimal [2]. Pengujian baja untuk mengetahui sifat mekaniknya memerlukan sampel baja, apabila

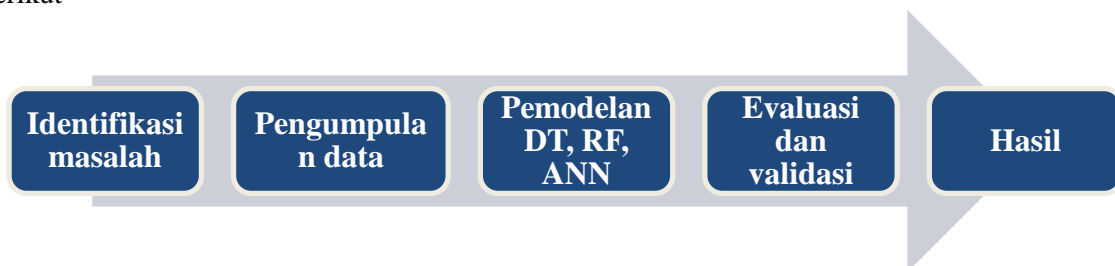
komposisi baja berbeda maka dibutuhkan sampel yang baru sesuai komposisi yang akan di uji, jika baja tersebut tidak memenuhi persyaratan maka akan dibuang. proses pengambilan sampel dan pengujian menimbulkan pekerjaan manual yang substansial, yang pada dasarnya meningkatkan biaya dan waktu produksi. Fakta dilapangan bahwa, proses pengembangan grade baja baru sangat bergantung pada pengalaman manusia (yang merupakan subjek dari proses coba-coba) secara signifikan menambah biaya eksperimental dan operasional [3].

Pesatnya perkembangan kecerdasan buatan (AI) terutama machine learning banyak penelitian yang memanfaatkan data untuk mengurangi pengujian secara fisik. Penelitian (stefanus 2021), proses rekayasa (engineering) sangat membutuhkan peran komputasi untuk memperoleh akurasi dan kehandalan yang tinggi. Kompetisi yang ketat di dunia industri menuntut siklus desain yang pendek yang berlandaskan pada simulasi numerik untuk mengurangi pengujian prototipeprototipe secara fisik dan dapat memprediksi proses pengujian dengan data yang telah dihasilkan dari pengujian terdahulu [4]. Penelitian lain Han secara teoritis mempelajari perilaku deformasi dan transformasi martensitik yang diinduksi secara mekanis dari baja austenitik metastabil dan menyarankan model komputasi berbasis struktur mikro [5] komputasi engineering juga diterapkan pada ilmu material, ada beberapa referensi yang menyebutkan penggunaan teknologi berbasis kecerdasan buatan di bidang pengolahan dan rekayasa logam [6], komputasi engineering juga di aplikasikan oleh david dalam penelitiannya tentang Prediksi kurva tegangan-regang bilinear paduan aluminium menggunakan kecerdasan buatan dan big data[7]. Pesatnya perkembangan teknologi industri berbanding lurus dengan pentingnya evaluasi sifat – sifat berbagai bahan logam untuk menunjang keberhasilan suatu produk konstruksi dan meminimalisir terjadinya kegagalan. Model berbasis data ini tidak bergantung terhadap uji fisik secara langsung yang membutuhkan waktu lama, ketelitian, biaya mahal dan tidak ramah lingkungan. Model berbasis data ini menurut power dalam penelitiannya tentang Pemodelan struktur mikro dan sifat mekanik komponen yang diberi perlakuan panas mampu menghasilkan model dengan akurasi tinggi dibandingkan dengan model mekanis klasik[8].

Guna merancang model berbasis data yang memiliki akurasi tinggi dalam upaya meminimalisir pengujian fisik pada baja paduan rendah dengan berbagai jenis komposisinya. Hasil penelitian ini dapat mengatasi kelemahan pada pengujian fisik secara langsung yang diantaranya, (1) tidak ramah lingkungan, (2) membutuhkan waktu yang lama , (3) membutuhkan biaya yang mahal dan membutuhkan keahlian serta ketelitian dalam pengujiannya. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sebuah model algoritma pada machine learning dalam upaya memprediksi sifat mekanik baja paduan rendah yang efektif dan akurat berdasarkan komposisi baja. Pada penelitian ini dibatasi hanya untuk menghitung nilai 0.2% *Proof Stress* pada baja paduan rendah. Penelitian ini membandingkan tiga algoritma pada machine learning yaitu, *decisio tree*, *random forest* dan *artificial neural network* (ANN).

METODE PENELITIAN

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model prediksi berbasis data untuk merancang model berbasis data yang memiliki akurasi tinggi dalam upaya meminimalisir pengujian fisik pada baja paduan rendah dengan berbagai jenis komposisinya. Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan di bagian pendahuluan, maka untuk memperoleh solusi dari masalah tersebut agar tujuan tercapai disusunlah skema dan tahapan penelitian seperti Gambar 1. berikut



Gambar 1. Skema penelitian

Pengumpulan data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang di peroleh dari kaggle dengan karakteristik :

Data Set Characteristics : Multivariate

Attribute Characteristics: Real

Number of Instances : 916

Number of Attributes : 20

Area : Computer

Donor: Rohannemade, Mechanical Properties Of Low Alloy Steelst, Kaggle Contributor Mumbai, Maharashtra, India [9]. Pada penelitian ini memprediksi nilai 0.2% proof of stress dengan temperatur yang berbeda- beda diantaranya (350°C, 450°C, 550°C)

Menentukan model

Penelitian ini menggunakan tiga algoritma mesin learning yaitu, decision tree (DT), random forest (RF), dan artificial neural networks (ANN), ketiga algoritma tersebut dibandingkan dengan melihat parameter nilai RMSE terkecil semakin kecil nilai RMSE yang di dapatkan maka semakin kecil tingkat error pada model tersebut.

a. Decision tree (DT)

Decion tree reggresion merupakan salah satu predictive model yang digunakan pada machine learning, model ini menggunakan struktur mirip pohon (flowchart) untuk mencari solusi suatu permasalahan, decision tree membagi data (split data) berulang kali sehingga membentuk pohon keputusan biner (banary tree). Decesion tree pada aplikasinya dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan classification dan reggresion. Pada permasalahan classification, algoritma decision tree akan mengelompokkan data pada class- class, sedangkan pada kasus reggresion algoritma ini akan menghasilkan prediksi (predictions). Decision tree belajar melalui sekumpulan pertanyaan (if/else), (yes/no) atau pertanyaan lain yang membentuk sebuah pohon hirarki.

b. Random forest (RF)

Random forest merupakan salah satu metode machine learning yang di perkenalkan oleh leo breiman dan dele culter. Random Forest (RF) (HASTIE; TIBSHIRANI; FRIEDMAN, 2009) adalah metode pembelajaran ensemble untuk klasifikasi yang digunakan dengan membangun pohon keputusan dari set pelatihan dalam iterasi k. Dalam setiap iterasi, algoritma pelatihan pertamamata secara acak memilih satu set sampel dari set pelatihan. Untuk mereproduksi pohon keputusan dari subset ini, RF secara acak memilih subset fitur sebagai kandidat fitur untuk setiap node. Dengan demikian, setiap pohon keputusan dibangun melalui ansambel menggunakan himpunan bagian independen acak dari fitur dan sampel. Prediksi kelas sampel baru dilakukan sebagai berikut: setiap pengklasifikasi individu memilih dan kelas yang paling banyak dipilih dipilih.

c. Artificial neural network (ANN)

Neural network merupakan salah satu metode machine learning classifier atau metode yang sangat powerfull. Neural network hampir selalu cocok dengan berbagai permasalahan machine learning sehingga neural network dapat menjadi hypotheses untuk berbagai persoalan rill sebab Neural network dibentuk berdasarkan cara kerja syaraf otak manusia.

Validation

Cross validation bertujuan untuk mencegah terjadinya overfitting dan menentukan model prediksi terbaik dengan menggunakan Validasi silang k-fold. Menentukan nilai parameter yang sesuai sangat berdampak besar terhadap akurasi model, Pencarian Grid adalah strategi untuk penyesuaian parameter otomatis dan optimal dari model. Teknik ini membangun mesh dari set nilai yang telah ditentukan untuk setiap parameter. Untuk setiap kemungkinan kombinasi parameter, model prediktif dilatih dengan beberapa data, menghasilkan satu set keluaran. Nilai parameter terbaik adalah yang menghasilkan set keluaran terbaik. Dalam penelitiannya *Validation data*, digunakan

untuk proses validasi model dan mencegah *overfitting* [10]. Training dan validasi ini menggunakan *Cross Validation* yang membagi data hasil *data split* ke dalam k subset yang sama dimensinya. Data sejumlah $(k-1)$ digunakan untuk training dan sejumlah 1 (satu) subset digunakan untuk testing secara bergantian, pada penelitian ini digunakan $k = 10$ untuk ilustrasi yang lebih jelas dapat dilihat pada gambar 1.

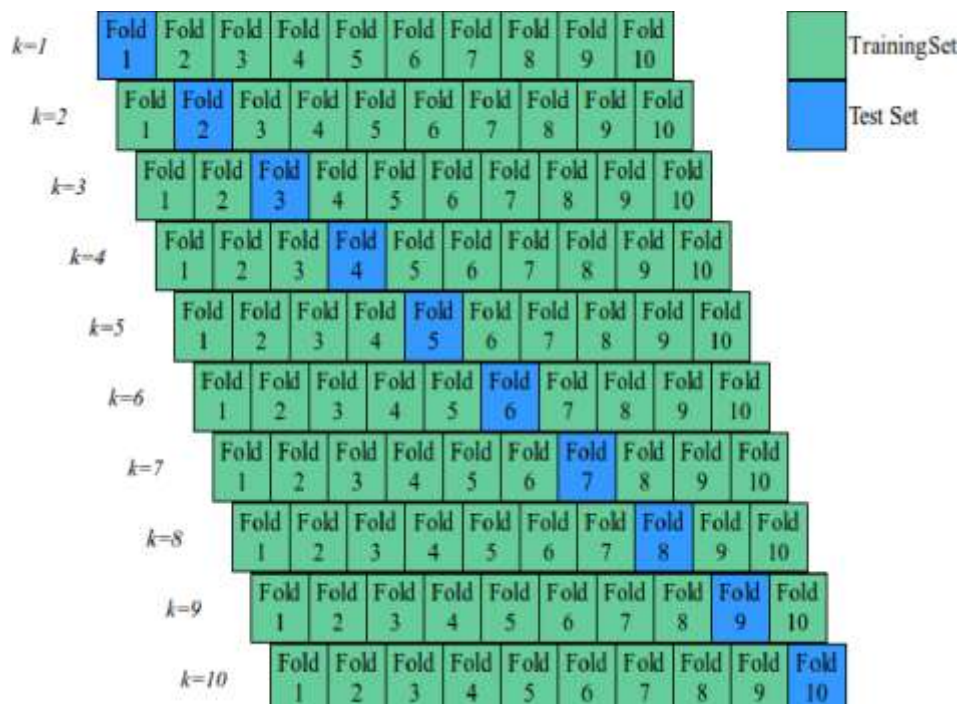
a. Training

Untuk memperoleh pemodelan yang optimal, model perlu dibelajarkan (training) terlebih dahulu kemudian diuji kemampuannya dalam memprediksi nilai *0.2% proof stress*. Pembelajaran dilakukan dengan memberikan data yang disebut *training data* atau *training vectors*. *Training data* terdiri masukan dan keluaran yang diharapkan sedemikianrupa sehingga diperoleh *output* yang diharapkan. Parameter- parameter yang dilibatkan adalah *Alloycode*, C, Si, Mn, P, S, Ni, Cr, Mo, Cu, V, Al, N, Ceq, Nb + Ta, Temperature (350°C, 450°C, 550°C) 0.2% Proof Stress (MPa).

b. Testing

Setelah model memperoleh pembelajaran melalui *training*, maka berikutnya adalah proses pengujian untuk menguji coba model yang terbentuk. Masukan- masukan berupa *Alloycode*, C, Si, Mn, P, S, Ni, Cr, Mo, Cu, V, Al, N, Ceq, Nb + Ta, Temperature (350°C, 450°C, 550°C) untuk memprediksi nilai 0.2% Proof Stress (MPa).

Pada metode diatas bisa diambil contoh ilustrasi Ilustrasi set pelatihan (hijau) dan pengujian (biru) untuk $k = 10$ digambarkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Ilustrasi set pelatihan (hijau) dan pengujian (biru) untuk $k = 10$

Evaluasi

Evaluasi terhadap model yang terbentuk dilakukan dengan pengukuran tingkat error yang terjadi. Proses evaluasi akan dilakukan dengan menggunakan *cross validation*. Model yang terbentuk dapat langsung diuji dengan data yang secara acak dipisahkan untuk *training* dan *testing*. Penelitian ini menggunakan tiga algoritma mesin learning yaitu, decision tree (DT), random forest (RF), dan artificial neural networks (ANN), ketiga algoritma tersebut dibandingkan dengan melihat parameter nilai RMSE terkecil semakin kecil nilai RMSE yang di dapatkan maka semakin kecil tingkat error pada model tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini melihat besarnya nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) di masing-masing pengujian, setiap metode dicari optimasi parameter yang menghasilkan nilai RMSE terkecil, parameter yang di optimasikan dapat dilihat pada tabel.1, pada baris pertama terdapat metode decision tree (DT) dengan memfariasikan jumlah parameter Depth, baris kedua terdapat metode random forest (RF) dengan memfariasikan jumlah parameter number of tree dan maksimal depth, dan baris yang terakhir ialah metode artificial neural network (ANN) dengan memvariasikan empat parameternya yg diantaranya adalah, training cycle, learning rate, momentum dan size hidden layer Ini bisa dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Variasi Parameter algoritma mesin learning

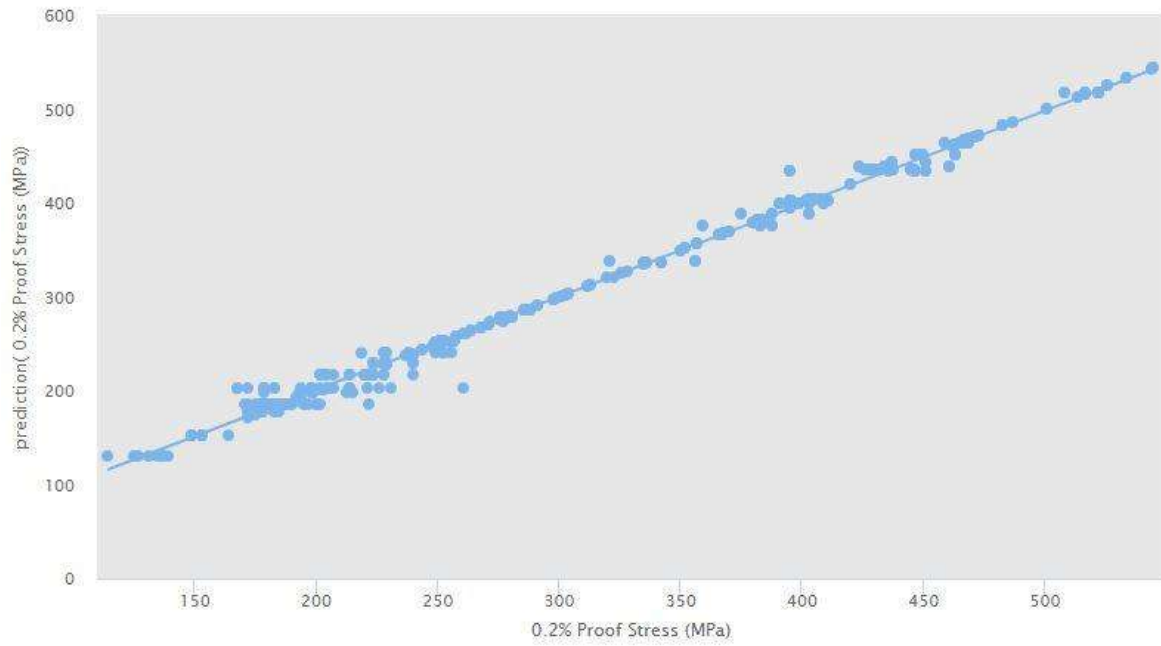
Metode	Nama parameter	Pengaturan parameter
DT	Depth	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,15,20,25,30
	Number of tree	20,50, 80, 110, 140,150
RF	Maximal depth	5,10,15,25,30
	Training cycle	10.000, 20,000, 30.000, 40,000
ANN	Learning rate	0,001, sd 0,1
	Momentum	0.1 sd 1
	Size hidden layer	1 sd 9

Percobaan diatas menghasilkan parameter luaran nilai RMSE, selanjutnya dari ketiga metode machine learning diatas dipilih model yang menghasilkan nilai RMSE terkecil, yang dapat dilihat pada Tabel 2. pada metode DT model dengan jumlah depth 35 menghasilkan nilai RMSE terkecil yaitu 9,117 kemudian model pada metode RF dan ANN.

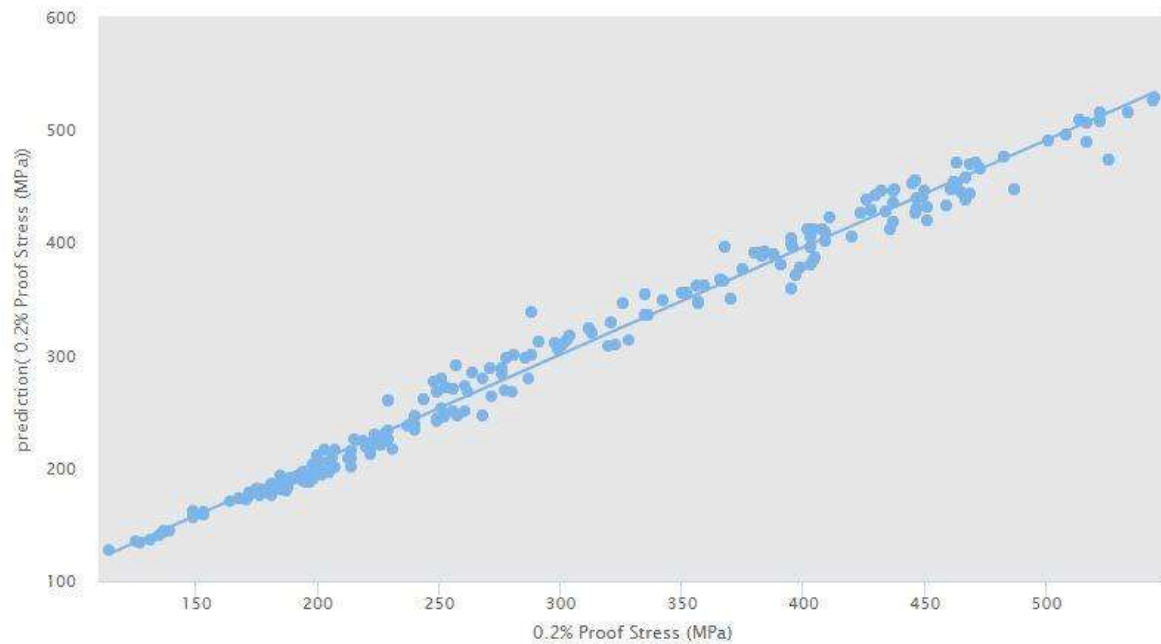
Tabel 2. Nilai RMSE

Metode	Nama parameter	Pengaturan parameter	RMSE
DT	Depth	25	9,117
	Number of tree	140	13,670
RF	Maximal depth	25	
	Training cycle	30.000	6,187
ANN	Learning rate	0,007	
	Momentum	0.9	
	Size hidden layer	9	

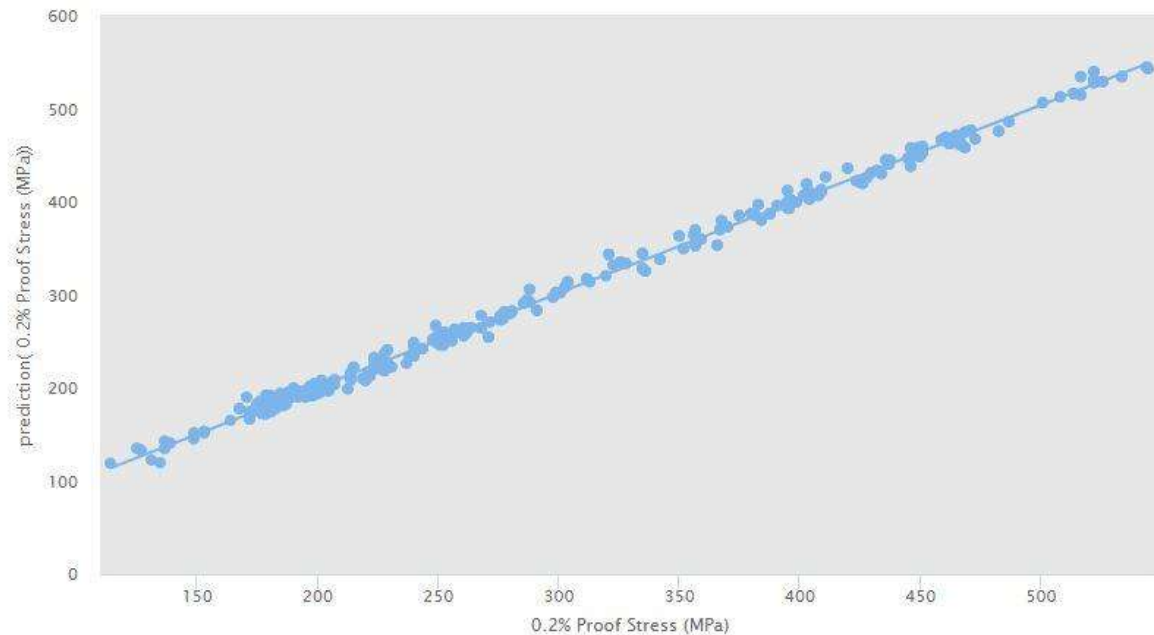
Perbandingan kinerja metode decision tree (DT), random forest (RF) dan artificial neural network (ANN) dapat dilihat pada tabel diatas dari tiga pengujian metode machine learning tersebut dapat dilihat grafik prediksi terhadap nilai sebenarnya, metode artificial neural network (ANN) menghasilkan model dengan nilai RMSE terbaik yaitu 6,187. Perbandingan hasil prediksi 0,2 % proof of stress dengan nilai yang sebenarnya menggunakan algoritma decision tree (DT), random forest (RF) dan artificial neural network (ANN) dapat dilihat pada Gambar 3,4,5 berikut.



Gambar 3. Perbandingan hasil prediksi dan hasil aktual menggunakan algoritma decision tree (DT)



Gambar 4. Perbandingan hasil prediksi dan hasil aktual menggunakan algoritma random forest (RF)



Gambar 5. Perbandingan hasil prediksi dan hasil aktual menggunakan algoritma artificial neural networks (ANN)

KESIMPULAN DAN SARAN

Perkembangan teknologi industri mendorong perusahaan untuk selektif dalam menentukan sifat mekanik material dalam menunjang keberhasilan suatu produk konstruksi, transportasi dan sebagainya. Metode machine learning dapat memberikan dampak yang besar terhadap industri material untuk mengetahui sifat mekanik baja, metode machine learning ini dapat menghasilkan prediksi yang akurat apabila di rancang dengan pemodelan dan parameter yang tepat. Penelitian ini membandingkan tiga kinerja metode machine learning yaitu, decision tree (DT), random forest (RF) dan artificial neural network (ANN), dari percobaan diatas dapat disimpulkan bahwa metode artificial neural network memiliki kinerja yang lebih baik dalam memprediksi nilai 0.2 proff of stress pada baja paduan rendah. Penelitian ini menghasilkan model algoritma artificial neural network (ANN) dengan para meter training cycle 30.000, learning rate 0,007, momentum 0,9 dan size hidden layer 9, dengan nilai RMSE 6,187.

Penelitian dengan metode Artificial neural network (ANN) dapat memprediksi nilai 0.2 proff of stress dengan baik, saran untuk penelitian selanjutnya menggunakan metode Artificial neural network (ANN) dapat memprediksi sifat mekanik secara keseluruhan seperti, Tensile Strength, Elongation, dan Reduction in Area.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Giovanni .C .S , "Prediction of yield and tensile strengths for high-alloy steels from chemical composition ", *XXVII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica* , February, hal. 08 - 12, 2021
- [2] Y. Liu, T. Zhao, W. Ju, S. Shi, Materials discovery and design using machine learning, *J. Mater.* 3 (2017) 159–177.
- [3] C. Shen, C. Wang, X. Wei, Y. Li, S. van der Zwaag, W. Xu, Physical metallurgy-guided machine learning and artificial intelligent design of ultrahigh-strength stainless steel, *Acta Mater.* 179 (2019) 201–214. Ss
- [5] H.N. Han, C.G. Lee, C.-S. Oh, T.-H. Lee, S.-J. Kim, A model for deformation behavior and mechanically induced martensitic transformation of metastable austenitic steel, *Acta Mater.* 52 (2004) 5203–5214

-
- [6] Merayo, D.; Rodríguez-Prieto, A.; Camacho, A. Prediksi Sifat Fisik dan Mekanik Pemilihan Material Logam Menggunakan Big Data dan Jaringan Syaraf Tiruan. *Akses IEEE2020*, 8, 13444–13456. [CrossRef]
- [7] Merayo, D, Prediction of the Bilinear Stress-Strain Curve of Aluminum Alloys Using Artificial Intelligence and Big Data, *Metals*. 6 July 2020. Hal. 2-29.
- [8] A. Powar, P. Date, Pemodelan struktur mikro dan sifat mekanik komponen yang diberi perlakuan panas dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan, *Mater. Sci. Ind. A* 628 (2015) 89–97.
- [9] Rohannemade, 2021. Mechanical Properties Of Low Alloy Steelst, Kaggle Contributor Mumbai, Maharashtra, India
- [10] Santosa. stefanus, 2016. Model Prediksi slump Beton dengan Artificial Neural Networks-Backpropagation. *Wahana Teknik Sipil* Vol. 21 No. 2 Desember 2016 hal: 110 – 121.