

Optimasi konsumsi bahan bakar pada mesin bensin menggunakan artificial neural network

Artificial neural networks are used to optimize gasoline engine fuel consumption

Agung Nugroho^{1*}, Mochamad Anugrah Tri Nurhasan¹, Darmanto¹, Rony Wijanarko²

^{1*} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim, Jawa Tengah, Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236, Indonesia

² Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim, Jawa Tengah, Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236, Indonesia

*E-mail: agungnugroho3006@gmail.com

Article Submit: 10/11/2022

Article Revision: 18/12/2022

Article Accepted: 20/12/2022

Abstrak. Saat ini mesin spark ignition (SI) telah menerapkan teknologi injeksi dengan engine control unit (ECU) sebagai komponen utamanya. Engine map yang tersimpan di ECU digunakan untuk mengontrol sistem pembakaran, yang meliputi waktu injeksi dan waktu pengapian. Metode *remapping* ECU dapat digunakan untuk mendapatkan performa terbaik dari sebuah mesin. Namun, saat ini data untuk pemetaan ulang biasanya digunakan dalam metode *trial and error* sehingga tidak efisien. Pengembangan metode jaringan saraf tiruan (JST) dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pada penelitian ini ANN (*Artificial Neural Network*) digunakan untuk prediksi engine *remapping* untuk optimasi konsumsi bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa pada sepeda motor sebelum dan sesudah engine *remapping* menggunakan ANN (*Artificial Neural Network*). Metode penelitian ini menggunakan mesin pengapian busi 4 tak 160 CC, performa mesin berupa konsumsi bahan bakar, daya dan torsi diukur menggunakan satu set dinamometer. optimasi diawali dengan mengambil sejumlah data pada *electronic control unit* (ECU) berupa peta mesin saat ini (standar). bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis Peralite dan Pertamina yang diperoleh dari stasiun pengisian bahan bakar terdekat. Selanjutnya optimasi menggunakan ANN dengan cara melatih fungsi TRAINGDA dan TRAINGDM dengan target menaikkan torsi dan daya sebesar 10% dengan konsumsi bahan bakar konstan. Hasil dari pelatihan ANN tersebut selanjutnya akan diimplementasikan kembali ke dalam ECU untuk kemudian diuji ulang pada dinamometer. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa dari penggunaan fungsi TRAINGDA diperoleh nilai regresi $R = 0,98993$ dan hasil prediksi ANN dapat digunakan untuk menaikkan performa mesin. Kinerja mesin setelah dilakukan optimasi mengalami peningkatan torsi sebesar 10,9% dan daya sebesar 9,5% jika dibandingkan dengan performa mesin default dari pabrik.

Kata kunci: ANN; ECU; optimasi; konsumsi bahan bakar

Abstract: Currently, the spark ignition (SI) engine has implemented injection technology with the engine control unit (ECU) as its main component. The engine map stored in the ECU is used to control the combustion system, which includes injection timing and ignition timing. ECU remapping method can be used to get the best performance from an engine. However, currently the data for remapping is usually used in a trial-and-error method so that it is not efficient. The development of artificial neural network (ANN) methods can be used to overcome these problems. In this study, ANN (Artificial Neural Network) is used to predict engine remapping for fuel consumption optimization. This study aims to compare the performance of motorcycles before and after engine remapping using ANN (Artificial Neural Network). This research method uses a 4 stroke 160 CC spark plug ignition engine, engine performance in the form of fuel consumption, power and torque is measured using a set of dynamometers. Optimization begins by taking a number of data on the electronic control unit (ECU) in the form of a current (standard) engine map. The fuel used in this research is Peralite and Pertamina which are obtained from the nearest gas station. Furthermore, optimization using ANN by training the TRAINGDA and TRAINGDM functions with the target of increasing torque and power by 10% with constant fuel consumption. The results of the ANN training will then be re-implemented into the ECU for later retesting on the



dynamometer. The conclusion of this study is that from the use of the training function, the regression value $R = 0.98993$ and the ANN prediction results can be used to increase machine performance. Engine's performance has increased after optimization, torque increased 10.9% and power increased 9.5% when compared to the default engine performance from the factory.

Keywords: ANN; ECUs; optimization; fuel consumption

1. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan sarana penting dalam kebutuhan sehari-hari, sepeda motor merupakan sarana yang banyak diminati karena praktis, mudah dioperasikan, biaya operasionalnya pun murah dan yang paling penting, harganya relatif terjangkau [1]. Dalam sebuah sepeda motor terdapat ribuan komponen, puluhan sistem dan sub sistem. Oleh karena itu otomotif berkembang menjadi ilmu yang luas [2]. Sepeda motor merupakan jenis mesin penggerak yang memanfaatkan energi kalor dari proses pembakaran menjadi energi mekanik [3]. Untuk sistem pembakaran, komponen sepeda motor sekarang terdapat teknologi injeksi dengan engine map yang tersimpan dalam *electronic control unit* (ECU). Engine map pada mesin kendaraan bermotor dapat diubah-ubah *mapping* sesuai keinginan pemilik, pengaturan ulang dalam ECU disebut *engine remapping* [4][5].

Remapping didasari oleh keinginan si pemilik kendaraan untuk meningkatkan performa lebih dari performa yang sesuai pabriknya atau karena mesin tersebut akan digunakan untuk kondisi dan situasi tertentu, misalnya untuk balapan [1][6]. Pada umumnya dalam melakukan *remapping* bertujuan menghasilkan mesin dengan performanya yang lebih tinggi dari map standar. Penelitian yang dilakukan Ramadhan dan Lesmana, (2020) setelah dilakukan *remapping* dapat meningkatkan daya dan torsi.

Metode *Artificial Neural Network* (ANN) disebut juga *simulated neural network* (SNN) dan sering disebut juga sebagai Jaringan Saraf Tiruan (JST). Hal tersebut dikarenakan oleh metode ini merupakan tiruan susunan saraf (neuron) manusia. ANN adalah sebuah alat pemodelan data statistik dan nonstatistik. ANN didefinisikan dengan sebuah neural network yaitu prosesor yang terdistribusi paralel, terbuat dari unit-unit yang sederhana, dan memiliki kemampuan untuk menyimpan pengetahuan yang diperoleh secara eksperimental dan siap pakai untuk berbagai tujuan [7].

ANN dapat melakukan pemodelan hubungan yang rumit (kompleks) antara input dan output dengan tujuan untuk menemukan pola pada data [8]. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Bhaskar [9] di mana sebuah *Artificial neural network* (ANN) dapat dilatih untuk melakukan tugas dan fungsi tertentu dengan menyesuaikan nilai-nilai koneksi antar elemen untuk menghasilkan output tertentu sesuai target. Pemodelan ANN menggunakan prediksi efisiensi volumetrik dapat menentukan optimasi map bahan bakar berdasarkan air fuel ratio, dan hasilnya akan memperbaiki performa, lebih hemat bahan bakar dan emisi ramah lingkungan [10]. Hasil optimasi dengan menentukan parameter pembakaran melalui model analitik dengan software khusus dapat menghasilkan hasil yang lebih akurat [10].

Artificial Neural Network (ANN) tersusun atas sejumlah neuron yang saling terhubung yang terbagi ke dalam beberapa lapisan yaitu lapisan input, hidden, dan output. Pada lapisan input, suatu ANN terdiri atas beberapa neuron, hal ini merepresentasikan parameter dari suatu kasus yang terhubung ke lapisan *hidden*, dan lapisan *hidden* saling terhubung ke lapisan *output* [11]. *Backpropagation* merupakan algoritma pembelajaran pada ANN yang terawasi (*supervised learning*) diperkenalkan oleh David Rumelhart dan James McClelland pada tahun 1986 [12]. Proses optimasi dilakukan dengan membuat sebuah data training sehingga menghasilkan sebuah data output sesuai yang diharapkan [13]. Proses optimasi data sangat dipengaruhi oleh intensitas data training, semakin banyak pola yang dimasukkan ke dalam parameter training maka sistem ANN akan memberikan keputusan atau hasil optimasi dengan lebih akurat, begitu pula terhadap efektivitas dan kecepatan mencapai konvergensinya akan semakin cepat tercapai [14]. TRAINGDA merupakan salah satu metode training *feedforward backpropagation* yang memiliki tingkat konvergensi yang cepat [15]. Metode ANN ini telah digunakan untuk memprediksi performa dan karakter emisi pada mesin, dan hasilnya menunjukkan korelasi antara nilai prediksi dengan nilai yang diinginkan pada berbagai



variasi performa mesin dan emisi gas buang dengan nilai regresi mendekati nilai 1 [16]. Penelitian ini fokus untuk menggunakan *training* TRAINGDA dan TRAINGDM digunakan untuk memperkirakan (prediksi) mapping untuk meningkatkan torsi dan daya mesin sepeda motor dengan konsumsi bahan bakar konstan.

2. METODE

Pengujian dilakukan pada mesin sepeda motor jenis 4 tak 160 cc. pengujian dilakukan pada jalan menanjak, sehingga data yang diambil adalah data *existing* atau *default factory* kendaraan. Data yang digunakan adalah data *ignition timing* pada *throttle position* 100% yang ada pada ECU juken seperti

Gambar 1.

The screenshot shows the JUKEN 5 ECU tuning software interface. It displays three main data tables for the ECU:

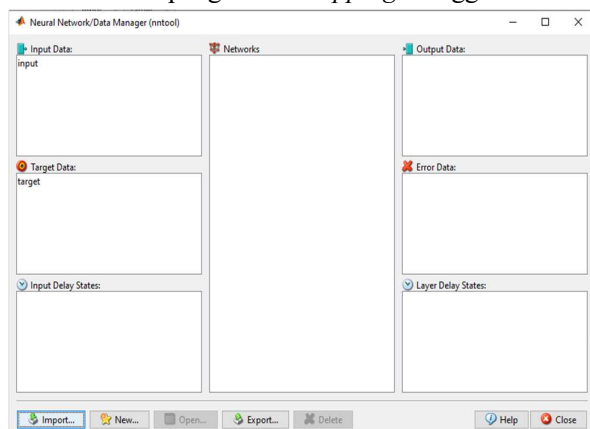
- ECU DATA - BASE MAP:** A table with columns for RPM (1000 to 6250) and throttle positions (0%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20%). The values represent fuel injection amounts.
- ECU DATA - INJECTOR TIMING:** A table with columns for RPM (1000 to 6250) and throttle positions (0%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20%). The values represent injector timing in degrees.
- ECU DATA - IGNITION TIMING:** A table with columns for RPM (1000 to 11500) and throttle positions (0%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20%). The values represent ignition timing in degrees.

The interface also includes a sidebar with options like 'ECU DATA', 'GET MAP', 'SEND MAP', and 'SAVE TO PC'. At the bottom, there are buttons for 'MAIN MENU', 'LIVE', 'EXECUTE', 'AUTO MAPPING', and 'SMART TUNING'.

Gambar 1. Data ECU juken

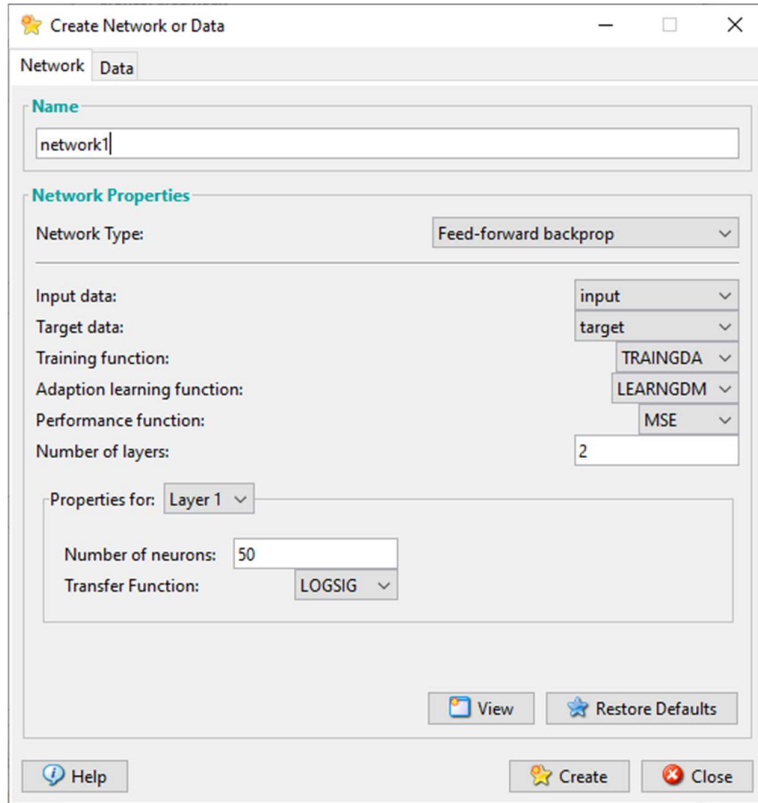
Langkah selanjutnya adalah mengolah data *ignition timing* dan daya menggunakan *software ANN* pada Matlab. Pada Gambar 2 tersaji tampilan mapping pada Juken 5. Program ANN bekerja menggunakan input, target, dan menghasilkan output. *Ignition timing* sebagai target, sedangkan target pada penelitian ini adalah menaikkan daya sebesar 10% dari daya awalnya. Hubungan input dan target pada ANN menggunakan sistem matrik dan diperoleh matriks berukuran 1×12 .

Sedangkan jenis fungsi pelatihan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3 dengan menggunakan TRAINGDA sedangkan fungsi alih menggunakan LOGSIG dengan jumlah *layer* 2 dan *neural* 50. Perlakuan yang dilakukan adalah dengan melakukan uji variasi bahan bakar yang berbeda untuk melihat pengaruh *remapping* menggunakan ANN



Gambar 2. Software Artificial Neural Network (ANN)

Pengujian dilakukan untuk menentukan optimalisasi dari algoritma tersebut dengan membandingkan nilai Regresi (R), umumnya semakin mendekati 1 atau 0,999999 nilai dari Regresi (R) serta mendekati garis maka semakin optimal hasil dari pengujian tersebut. Dalam penelitian ini, akan diambil data existing kendaraan dengan tipe mesin KYE dengan sistem injeksi, kemudian dilanjutkan dengan mengolah data existing dalam program *Artificial Neural Network*. Jenis ANN yang digunakan adalah *Artificial Neural Network back propagation*.



Gambar 3. Pemilihan fungsi pelatihan

Perlakuan yang dilakukan adalah dengan melakukan uji variasi bahan bakar yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang paling optimal. Data yang diambil adalah *engine map*, daya, dan torsi. Data yang telah didapat kemudian diolah dan di optimasi menggunakan ANN. Hasil dari *engine remapping* dengan menggunakan ANN kemudian diuji kembali untuk diketahui hasilnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Naskah hasil pengujian dan pengambilan map data awal, data yang diambil adalah pada data ECU yang kemudian didapatkan nilai kecepatan mesin (rpm), *throttle position* (bukaan gas), *ignition timing* (waktu di mana busi mulai menyala), *injector timing* (waktu di mana saat awal injektor terbuka), *Base map* (lamanya injektor terbuka). Berikut [Tabel 1](#) hasil pengambilan data ECU.

Tabel 1. Hasil pengambilan data pada ECU standar

Putaran mesin (rpm)	Ignition Timing (°)	TPS (100%)
4000	25.0	
4500	27.0	
5000	29.0	
5500	29.0	
6000	30.0	
6500	32.0	
7000	32.0	

Putaran mesin (rpm)	Ignition Timing (°) TPS (100%)
7500	31.0
8000	29.0
8500	27.0
9000	25.0
9500	23.0

Sedangkan hasil pengambilan data ECU standar didapatkan nilai torsi dan daya menggunakan bahan bakar seperti **Tabel 2**. Hasil pengujian ECU standar dengan bahan bakar pertalite..

Tabel 2. Hasil pengujian ECU standar dengan bahan bakar pertalite.

Putaran mesin (rpm)	ECU Standar Pertalite	
	Daya (HP)	Torsi (Nm)
4000	6,6	11,68
4500	8,3	13,2
5000	9	12,81
5500	9,9	12,72
6000	10,8	12,77
6500	12	13,01
7000	12,8	12,93
7500	13,4	12,62
8000	13,3	11,7
8500	13,3	11,09
9000	12,3	9,66
9500	10,7	7,92

Berdasarkan **Tabel 2** yaitu hasil pengujian dengan menggunakan ECU Standar menggunakan bahan bakar Pertalite. Pada kolom pertama terdapat putaran mesin (rpm), pada kolom kedua terdapat daya (HP), dan pada kolom ketiga terdapat torsi (Nm). Kinerja mesin uji diukur sebelum adanya optimasi dengan nilai daya tertinggi pada putaran mesin 7500 rpm dengan nilai 13,4 HP sedangkan torsi tertinggi pada putaran mesin 6500 dengan nilai 13,01 Nm.

Tabel 3. Hasil pengujian ECU Standar dengan bahan bakar Pertalite.

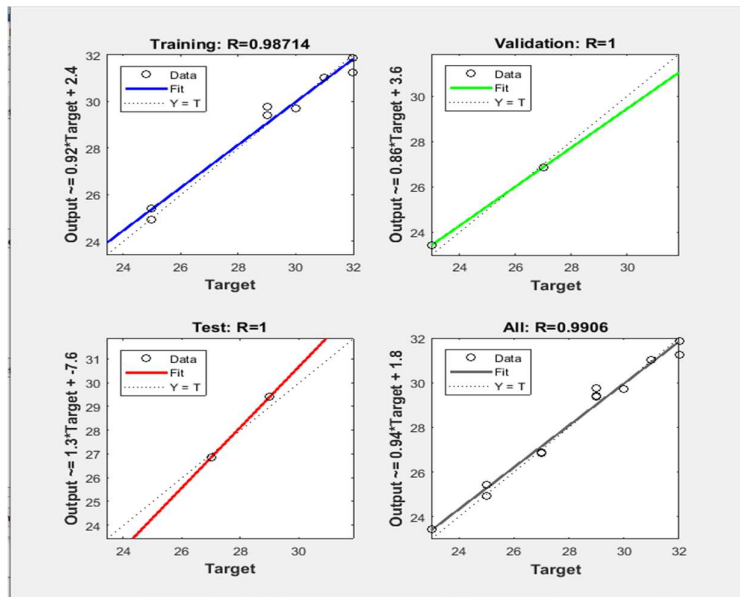
Putaran mesin (rpm)	ECU Standar Pertamax	
	Daya (HP)	Torsi (Nm)
4000	4,2	7,39
4500	7,9	12,55
5000	9,1	12,87
5500	9,9	12,65
6000	10,4	12,32
6500	11,7	12,74
7000	12,8	12,94
7500	13,1	12,39
8000	13,7	12,08
8500	13,5	11,24
9000	13,2	10,36
9500	12,6	9,34

Berdasarkan **Tabel 3** yaitu hasil pengujian dengan menggunakan ECU Standar menggunakan bahan bakar Pertalite. Pada kolom pertama terdapat putaran mesin (rpm), pada kolom kedua terdapat

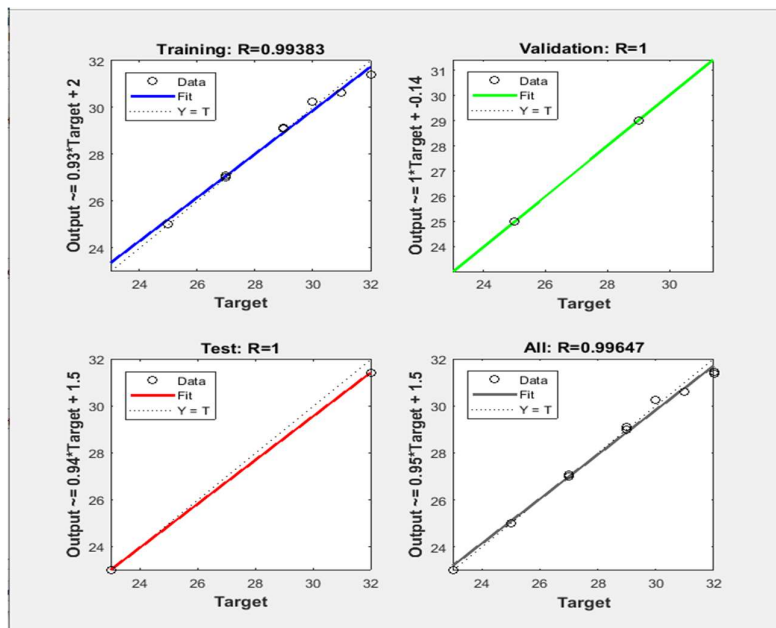
daya (HP), dan pada kolom ketiga terdapat torsi (Nm). Pada tabel 3 terdapat didapatkan data kinerja mesin dengan bahan bakar Pertalite yang diambil sebelum dilakukan optimasi pada pengaturan parameter mapping. Daya tertinggi pada putaran mesin 8000 rpm dengan nilai 13,7 HP sedangkan torsi tertinggi pada putaran mesin 7000 dengan nilai 12,94 Nm.

3.1 Data simulasi *remapping* menggunakan ANN

Saat melakukan simulasi pada ANN menggunakan *ignition timing* dan sebagai targetnya menggunakan daya dan torsi dengan menaikkan daya dan torsi sebesar 10% dari torsi standar.



Gambar 4. Hasil regresi menggunakan bahan bakar pertalite



Gambar 5. Hasil regresi menggunakan bahan bakar pertamax

Hasil validasi ANN *feedforward* dengan regresi R sebesar 0,98714 yang didapatkan dengan menggunakan bahan bakar Pertalite ditunjukkan pada Gambar 4. dan hasil validasi ANN *feedforward* dengan regresi R terbaik sebesar 0,99383 yang didapatkan dengan menggunakan bahan bakar Pertamina ditunjukkan pada Gambar 5. Dari kedua gambar tersebut diperoleh data *output*

berupa mapping baru yang digunakan untuk input dalam ANN sedangkan output digunakan data torsi dan daya dari hasil pengukuran *dyno test*.

3.2 Kinerja mesin setelah *remapping*.

Tabel 4. Hasil pengujian setelah dilakukan *remapping* dengan bahan bakar pertalite

RPM	ECU Setelah di <i>remapping</i> pada bahan bakar Pertalite	
	Daya (HP)	Torsi (Nm)
4000	6,7	11,96
4500	8,4	13,25
5000	9,5	13,48
5500	10,3	13,21
6000	11,6	13,68
6500	12,6	13,71
7000	13,5	13,62
7500	14,3	13,52
8000	14,3	12,67
8500	14,2	11,78
9000	13,4	10,55
9500	12,8	9,54

Dari hasil optimasi ANN, maka didapatkan hasil *ignition timing* terbaik yang kemudian dimasukkan ke dalam *engine map Programmable* sebagai map baru. Dan kemudian dilakukan pengujian kembali untuk mengetahui torsi dan daya. Berdasarkan **Tabel 4.** yaitu hasil pengujian dengan menggunakan ECU Setelah dilakukan *remapping* dengan bahan bakar Pertalite. Pada kolom pertama terdapat putaran mesin (rpm), pada kolom kedua terdapat daya (HP), dan pada kolom ketiga terdapat torsi (Nm). Pada tabel terdapat angka berwarna merah yang menandakan pencapaian daya dan torsi tertinggi. Dengan daya tertinggi pada putaran mesin 7500 rpm dengan nilai 14,3 HP sedangkan torsi tertinggi pada putaran mesin 6500 dengan nilai 13,71 Nm.

Tabel 5. Hasil pengujian setelah dilakukan *remapping* dengan bahan bakar pertamax

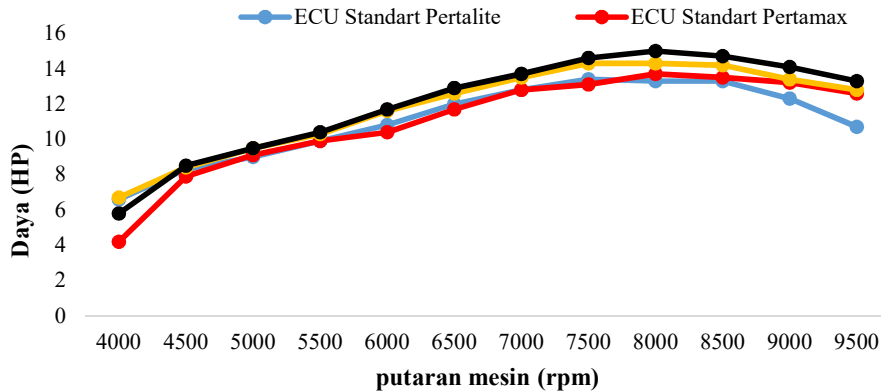
RPM	ECU setelah di <i>remapping</i> pada bahan bakar Pertamina	
	Daya (HP)	Torsi (Nm)
4000	5,8	10,21
4500	8,5	13,36
5000	9,5	13,51
5500	10,4	13,41
6000	11,7	13,72
6500	12,9	14,13
7000	13,7	13,86
7500	14,6	13,74
8000	15	13,38
8500	14,7	12,23
9000	14,1	11,12
9500	13,3	9,91

Berdasarkan **Tabel 5** yaitu hasil pengujian dengan menggunakan ECU setelah dilakukan *remapping* dengan bahan bakar Pertalite. Pada kolom pertama terdapat putaran mesin (rpm), pada kolom kedua terdapat daya (HP), dan pada kolom ke tiga terdapat torsi (Nm). Pada **Tabel 5** terdapat

angka berwarna merah yang menandakan pencapaian daya dan torsi tertinggi. Dengan daya tertinggi pada putaran mesin 7500 rpm dengan nilai 15 HP sedangkan torsi tertinggi pada putaran mesin 6500 rpm dengan nilai 14,13 Nm.

3.3 Analisa hasil pengujian

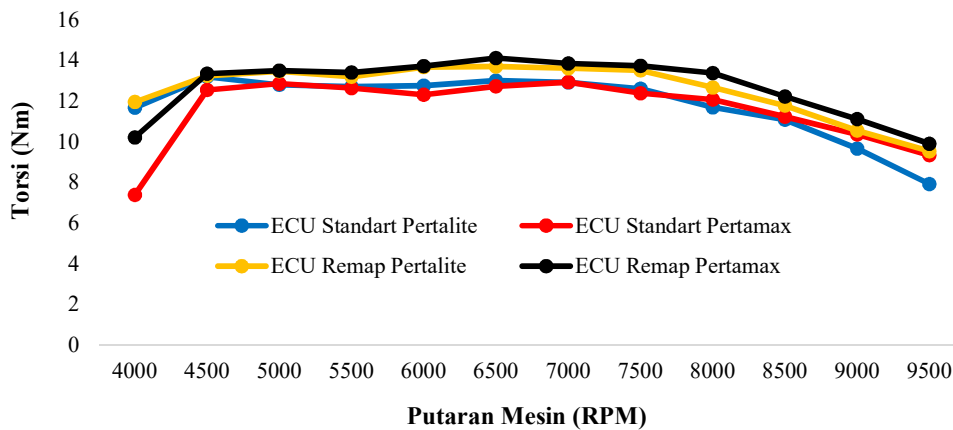
Berdasarkan **Gambar 6** hubungan daya pada ECU standar dan ECU *remapping*. pada ECU *remapping*, daya mengalami peningkatan dari ECU sebelum dilakukan *remapping* yang puncaknya mencapai 15 HP dihasilkan pada putaran 8000 rpm dengan bahan bakar Pertamina dan dengan bahan bakar Peralite puncaknya mencapai 14,3 HP pada putaran mesin 7500 rpm.



Gambar 6. Grafik perbandingan daya pada ECU standar dan ECU *remapping*

3.4 Hubungan daya pada ECU standar dan ECU *remapping*

Berdasarkan **Gambar 7** pada ECU *remapping* torsi mengalami peningkatan, puncak tertinggi sebesar 14,13 Nm dengan menggunakan bahan bakar Pertamina pada putaran mesin 6500 rpm sedangkan ECU *remapping* dengan bahan bakar Peralite torsi 13,71 Nm pada putaran mesin 6500 rpm. Pada ECU *Remapping* torsi mengalami peningkatan yang sesuai dengan kenaikan daya.



Gambar 7. Grafik perbandingan torsi pada ECU standar dan ECU *remapping*

Hasil pengujian pada ECU standar menggunakan bahan bakar peralite menghasilkan performa lebih baik dibanding saat menggunakan bahan bakar Pertamina, hal ini disebabkan karena adanya penentuan *ignition timing* yang tepat yang dilakukan pabrikan sepeda motor supaya menggunakan bahan bakar Peralite. Sedangkan pada ECU yang dilakukan *remapping* menggunakan ANN menghasilkan performa yang lebih baik. Bahkan pada penggunaan bahan bakar Pertamina hasilnya

lebih baik dibanding Peralite, hal ini dikarenakan adanya penentuan *ignition timing* yang tepat oleh ANN pada proses pembakaran. Dimana *ignition timing* setelah dilakukan *remapping* menggunakan ANN menghasilkan nilai yang rata-rata lebih maju dibanding saat standar yang menyebabkan api menyala lebih awal. Sesuai dengan penelitian [17] bahwa dengan melakukan *remapping* pada sudut pengapian mendapatkan bahwa peningkatan performa terjadi pada sudut pengapian maju 15%. Sehingga simulasi menggunakan ANN sangat akurat dalam memprediksi performa mesin diselarasakan dengan penelitian [10].

4. SIMPULAN

ANN dapat digunakan sebagai alat prediksi kinerja sepeda motor. Fungsi TRAINGDA lebih akurat dibandingkan TRAINGDM dalam melakukan prediksi torsi dan daya. Sepeda motor yang dilakukan *remapping* dengan bahan bakar Peralite mengalami kenaikan torsi 5,4% dan kenaikan daya 6,7%. Sepeda motor yang dilakukan *remapping* dengan bahan bakar Pertamina mengalami kenaikan torsi 10,9% dan kenaikan daya 9,5%.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih atas dukungan Lembaga penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Wahid Hasyim Semarang yang telah mendanai penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M Bagus Anggoro, Armila, and Rudi Kurniawan Arief, "Analisis Variasi Busi Terhadap Performa dan Bahan Bakar Motor Bensin 2 Langkah Yamaha F1ZR 110CC," *JTTM J. Terap. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, 2021, doi: 10.37373/jttm.v2i2.137.
- [2] M. Solikin and Sutiman, "Buku Mesin Sepeda Motor Sutiman." Insania, Yogyakarta, p. 152, 2005.
- [3] W. D. Raharjo and Karnowo, "Mesin Konversi Energi." Semarang: Universitas Negeri ..., 2008.
- [4] M. Rifal and N. Sinaga, *Impact of methanol-gasoline fuel blend on the fuel consumption and exhaust emission of a SI engine*, vol. 1725. The 3rd International Conference On Advanced Materials Science And Technology (Icamst 2015), 2016.
- [5] S. P. Pratama, "Computational Fluid Dynamic (CFD) Analysis of Turbo Cyclone and Intake Manifold Spacer on Honda Supra Fit," vol. 3, no. April, pp. 9–18, 2022.
- [6] Awang Surya and Hendly Kevin Ramadhony, "MODIFIKASI GEARBOX CLOSE RATIO UNTUK MENINGKATKAN AKSELERASI SEPEDA MOTOR KAWASAKI NINJA RR 150CC," *JTTM J. Terap. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 2, 2020, doi: 10.37373/msn.v1i2.50.
- [7] M. Mesbah, S. S. Allan, and D. D. Hettich, "Communications systems," *Smart Grids: Advanced Technologies and Solutions, Second Edition*. pp. 149–177, 2017, doi: 10.1201/9781351228480.
- [8] M. Y. Habibi and E. Riksakomara, "Peramalan Harga Garam Konsumsi Menggunakan Artificial Neural Network Feedforward-Backpropagation (Studi Kasus : PT. Garam Mas, Rembang, Jawa Tengah)," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.23200.
- [9] A. B. Garg, P. Diwan, and M. Saxena, "Artificial Neural Networks based Methodologies for Optimization of Engine Operations," vol. 3, no. 5, pp. 1–5, 2012.
- [10] Paridawati, "Optimasi Efisiensi Motor Bakar Sistem Injeksi Menggunakan Metode Simulasi Artificial Neural Network," *Pros. SNATIF Ke -1*, vol. 1, no. 1, pp. 161–164, 2014.
- [11] T. Efendigil and S. Önüt, "An integration methodology based on fuzzy inference systems and neural approaches for multi-stage supply-chains," *Comput. Ind. Eng.*, 2012.
- [12] L. V Fausett and W. Elwasif, "Predicting performance from test scores using backpropagation and counterpropagation," ... *Int. Conf. Neural ...*, 1994.
- [13] Raju Rizkyana and Awang Surya, "SISTEM KEAMANAN SEPEDA MOTOR DENGAN MENGGANTI SAKLAR STARTER MENGGUNAKAN FINGERPRINT," *JTTM J. Terap. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.37373/jttm.v2i1.90.
- [14] ..., E. S. Ningrum, Z. Darojah, and H. Hermawan, "Artificial neural network through energy

- value of empirical mode decomposition feature extraction based: Application on bearing fault diagnosis,” *2019 Int. ...*, 2019.
- [15] D. Bondar, “Use of a Neural Network to Predict Strength and Optimum Compositions of Natural Alumina-Silica-Based Geopolymers,” *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 26, no. 3, pp. 499–503, 2014, doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000829.
- [16] S. P. Shivakumar, R. Shrinivasa, and B. S. Samaga, “Performance and emission characteristics of a 4 stroke CI engine operated on honge methyl ester using artificial neural network,” *Journal of Engineering and Citeseer*, 2010.
- [17] S. Mintoro, “Optimasi Kinerja ECU (Electronic Control Unit) Melalui Pemrograman Remapping Pada Mesin EFI,” *SEMNAS IIB DARMAJAYA Kotabumi*, pp. 458–471, 2017.