

PERANCANGAN AIR TO FUEL RATIO (AFR) CLUSTERING BERBASIS JARINGAN SARAF TIRUAN PADA MODEL MOBIL BERMESIN INJEKSI BENSIN BERDASARKAN PROFIL KARAKTERISTIK MENGENAL PENGENDARA

Syahrizal Yudha Edhi Pratama ^{*)}, Aris Triwiyatno, and Budi Setiyono

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: syahrizalyudha56@gmail.com

Abstrak

Setiap pengemudi kendaraan mobil mempunyai karakteristik mengemudi yang berbeda-beda. Karakteristik mengemudi pengemudi dapat memengaruhi kinerja mesin. Perubahan kinerja mesin dapat dibagi menjadi beberapa jenis pengoperasian agar sesuai dengan kebutuhan pengemudi. Air to Fuel Ratio (AFR) clustering dibutuhkan agar kinerja mesin sesuai dengan kebutuhan pengemudi. Perancangan AFR clustering berbasis Jaringan Saraf Tiruan dibuat pada model mobil bermesin injeksi bensin yang berdasarkan profil karakteristik mengemudi pengemudi. Profil-profil yang digunakan adalah pola kemudi, percepatan kendaraan, kecepatan kendaraan, dan pengereman. Hasil keluaran clustering Jaringan saraf tiruan adalah nilai referensi yang terbagi menjadi 3 jenis, yaitu sporty (12,6), normal (14,67), dan economic (15,4). Perubahan variasi handwheel torque antara low, mid, dan high pada variasi throttle low pada gear (1-4), throttle mid,high pada gear (1 dan 2) tidak berpengaruh pada AFR referensi. Perubahan variasi Handwheel torque low,mid,high pada variasi throttle mid dan high pada gear (3 dan 4) menghasilkan cluster percepatan kendaraan economic dan cluster pola kemudi sporty hal ini mempengaruhi nilai AFR referensi menjadi normal (14,67), ketika cluster percepatan kendaraan berada pada cluster sporty dan pola kemudi pada cluster economic dan normal nilai AFR referensi menjadi sporty (12,6). Pengereman menyebabkan terjadinya penurunan percepatan kendaraan dan AFR referensi menjadi economic dengan nilai AFR 15,4.

Kata Kunci : AFR, Jaringan Saraf Tiruan, percepatan , pengereman, handwheel torque

Abstract

Every person has their own driving characteristic while driving a car. The driving characteristic can affect engine performance. Changes in engine performance can be divided into several types in order to suit with the drivers' need. Air to Fuel Ratio (AFR) clustering is needed to make it suit to the driver in each characteristic. AFR clustering design with Neural Network was made in fuel-injection engine car which is based on driving characteristic profile of the driver. The profiles which was used to test is steering, acceleration, braking and vehicle speed. Neural Network output is AFR reference that was divided into 3 types, sporty (12,6), normal (14,67), and economic (15,4). Alteration from handwheel torque low, mid and high with *throttle low on gear* (1-4) and *throttle mid on gear* (1-2) doesn't affect AFR reference. Alteration from handwheel handwheel torque low, mid and high with throttle mid on gear (3-4) will give impact to AFR Reference to a normal type (14,67) when the cluster vehicle's acceleration on cluster economic and steering cluster have a cluster sporty. AFR Reference is in Sporty type (12,6) when the cluster vehicle's acceleration on cluster sporty and steering cluster have a cluster economic and normal. For the braking condition, AFR reference will results into economic type (15,4).

Keywords: AFR, Neural Netwok, accelereation, handwheel torque

1. Pendahuluan

Perkembangan strategi kontrol di bidang mesin injeksi bensin dalam dua dekade terakhir difokuskan pada desain mesin dan strategi kontrol untuk menunjang kebijakan hemat energi (*low fuel consumption*) dan ramah

lingkungan (*low emission*) [1]. Karakteristik mengemudi dalam berkendara memengaruhi kinerja mesin dimana dibutuhkan strategi kontrol yang tepat menyesuaikan pengemudi dalam mengemudi. Umumnya teknologi kontrol elektronik (*Electronic Control Unit – ECU*) pada sistem mesin injeksi bensin yang digunakan untuk

memenuhi hemat energi (*low fuel consumption*) dan ramah lingkungan (*low emission*) dapat dilakukan dengan cara memperbaiki proses pembakaran, yaitu mengatur *Air to Fuel Ratio* – AFR (rasio campuran antara udara dengan bahan bakar) sehingga mendekati proses pembakaran yang ideal atau sesuai dengan kebutuhan pengendara [2]. Pengendara mempunyai karakteristik mengemudi yang berbeda-beda. Hal tersebut menyebabkan adanya perbedaan pada kinerja mesin yang dapat dibagi menjadi beberapa jenis pengoperasian. AFR *clustering* (pengelompokan) dibutuhkan agar tercapai pengoperasian mesin sesuai dengan pengendara dalam mengemudi. Secara umum nilai AFR dijaga tetap berada pada nilai ideal atau stoikiometri sebesar 14,67 [3]. Variasi nilai AFR dibawah 1% dari 14,67 disebut dengan campuran kaya (*Rich Fuel*), sedangkan peningkatan 1% diatas 14,67 disebut dengan campuran miskin (*Lean Fuel*) [4].

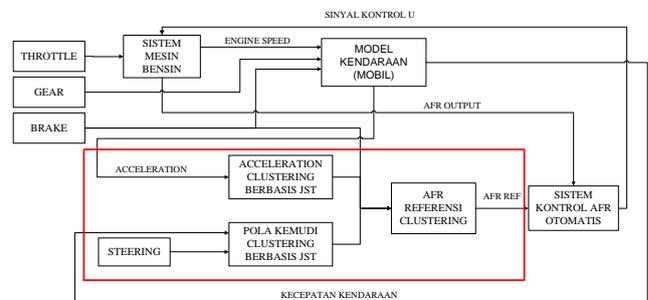
Penelitian mengenai AFR dilakukan oleh Reactor dkk untuk mendesain kontrol AFR pada *spark ignition engine* dengan metode kontrol *Hybrid Fuzzy PI* [5]. Triwiyatno dkk melakukan perancangan kontroler PID adaptif berbasis ANFIS untuk AFR pada model mesin bensin 4 langkah [6]. Penelitian lain juga telah dilakukan oleh Pfeiffer dkk menggunakan algoritma nonlinear [7] dan Nuralamsyah dkk menggunakan metode kontrol *Fuzzy PID* untuk mengatur AFR sehingga mendekati proses pembakaran yang ideal sesuai stoikiometri [8]. Penelitian yang sudah dilakukan mengontrol AFR dalam keadaan ideal sesuai stoikiometri sebesar 14,67 namun tidak memperhatikan profil karakteristik mengemudi dalam perancangannya.

Berdasarkan hal tersebut, penulis akan merancang AFR *clustering* (pengelompokan) berbasis Jaringan Saraf Tiruan pada model mobil bermesin injeksi bensin berdasarkan profil karakteristik mengemudi pengendara. Jaringan Saraf Tiruan memiliki potensi untuk beradaptasi dari data masukan yang diberikan sehingga dapat memetakan hubungan antara masukan dan keluarannya, serta mampu memprediksi keluarannya berdasarkan masukan yang telah dilatihkan sebelumnya sehingga mengurangi waktu dan usaha yang dibutuhkan pada kalibrasi dan menggantikan *3D map* yang digunakan pada ECU konvensional. Profil karakteristik mengemudi yang digunakan adalah pola kemudi, pengereman, percepatan dan kecepatan kendaraan. Profil tersebut akan menjadi parameter dalam menentukan pengoperasian mesin yang paling baik performansinya dengan melihat nilai AFR. Parameter-parameter tersebut akan diolah dengan metode Jaringan Saraf Tiruan yang mempunyai keluaran berupa nilai AFR referensi yang terbagi menjadi 3 jenis, yaitu, *sporty*, *normal*, dan *economic*. AFR referensi untuk jenis *sporty*, *normal*, dan *economic* mempunyai nilai AFR masing-masing sebesar 12,6, 14,67, dan 15,4

2. Metode

2.1. Perancangan Model Mesin Bensin

Metode penelitian penelitian ini merancang AFR *clustering* berbasis jaringan saraf tiruan pada model mobil bermesin injeksi bensin berdasarkan tiga profil karakteristik mengemudi dan mengamati nilai AFR referensi terhadap pola pengereman dan percepatan kendaraan menggunakan Matlab. Langkah penelitian yang digunakan untuk penelitian yaitu studi literatur dilakukan dengan membaca penelitian-penelitian yang berhubungan dengan jaringan saraf tiruan, mesin injeksi bensin, *air to fue ratio* (AFR), karakter mengemudi. Instalasi perangkat yang digunakan yaitu Matlab R2016a. Perancangan sistem secara utuh dibagi menjadi 4 sistem, yaitu, sistem mesin bensin, model kendaraan (mobil), AFR *clustering*, dan sistem kontrol AFR otomatis



Gambar 1. Skema sistem secara utuh

Model mobil bermesin injeksi bensin yang digunakan adalah pengaplikasian *simulink* dalam bidang otomotif pada MATLAB [9]. Model tersebut mempunyai beberapa parameter fisik yang dibutuhkan untuk simulasi unjuk kerja. Parameter fisik model mesin mobil dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Fisik Model Mesin Mobil

Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
Rfd	3,229	-	Final drive ratio
Rw	1	ft	Jari-jari roda
Iv	12,09	lb-ft ²	Momen inersia kendaraan
Iei	0,02199	lb-ft ²	Momen inersia mesin
$rload0$	0,015	-	Rolling resistance coefficient
$rload2$	0,3	-	Drag coefficient

Dinamika sistem dimulai dengan *engine* (mesin) menerima masukan berupa *throttle* dengan bukaan sudut tertentu. Mesin tersebut terhubung dengan pendorong dari konversi torsi yang dikopel pada unit transmission (transmisi). Persamaan dinamika mesin dengan transmisi dapat dilihat pada Persamaan (1) [9].

$$\dot{N}_e = \frac{T_e - T_i}{I_{ei}} \quad (1)$$

N_e adalah kecepatan mesin dalam satuan RPM. I_{ei} merupakan momen inersia mesin dengan pendorong dalam satuan $lb \cdot ft^2$. T_e adalah torsi mesin yang didapatkan dari *lookup table* antara *throttle* dan N_e . *Lookup table* T_e dapat dilihat pada lampiran B. T_i merupakan torsi pendorong yang terhubung dengan mesin. T_e dan T_i mempunyai satuan $lbf \cdot ft$. T_i didapatkan melalui Persamaan (2) [9].

$$T_i = (N_e / K)^2 \quad (2)$$

K adalah faktor K yang didapatkan melalui *lookup table* terhadap rasio kecepatan, pembagian antara N_e dan N_{in} (kecepatan transmisi masukan). Konversi torsi antara pendorong dan transmisi dinyatakan sebagai persamaan antara torsi pendorong (T_i) dan torsi turbin (T_t) yang ditunjukkan pada Persamaan (3) [9].

$$T_t = R_{TQ} T_i \quad (3)$$

R_{TQ} adalah rasio torsi yang didapatkan melalui *lookup table* terhadap rasio kecepatan. T_i mempunyai satuan $lbf \cdot ft$.

Pemodelan transmisi dinyatakan sebagai rasio *gear* statis yang diasumsikan mempunyai perpindahan waktu yang sangat kecil. Oleh karena itu perpindahan waktu tersebut dapat diabaikan. Persamaan transmisi dapat dilihat pada Persamaan (4) dan (5) [9]. R_{TR} adalah rasio gigi transmisi yang didapatkan melalui *lookup table* terhadap *gear*.

$$N_{in} = R_{TR} N_{out} \quad (4)$$

$$T_{out} = R_{TR} T_{in} \quad (5)$$

N_{in}, N_{out} = Kecepatan transmisi masukan dan keluaran (RPM)

T_{in}, T_{out} = Torsi transmisi masukan dan keluaran ($lbf \cdot ft$)

$$N_{out} = N_w R_{fd} \quad (6)$$

N_w = Kecepatan putaran roda (RPM)

R_{fd} = *Final drive ratio*

Persamaan (6) merupakan persamaan untuk menghitung torsi keluaran (N_{out}) [9]. Torsi keluaran dibutuhkan untuk menghitung torsi masukan (N_{in}) pada Persamaan (2.4). N_w didapatkan melalui persamaan dinamika *vehicle* (kendaraan). Persamaan dinamika kendaraan dapat dilihat pada Persamaan (7) [9].

$$\dot{N}_w = \frac{R_{fd} T_{out} - T_{load}}{I_v} \quad (7)$$

I_v = Momen inersia kendaraan ($lb \cdot ft^2$)

T_{load} = Torsi beban ($lbf \cdot ft$)

Konversi kecepatan putaran roda menjadi kecepatan kendaraan ditunjukkan pada Persamaan (8) [9].

$$v = \frac{N_w 2 \pi R_w 60}{5280} \quad (8)$$

v = Kecepatan kendaraan (mph)

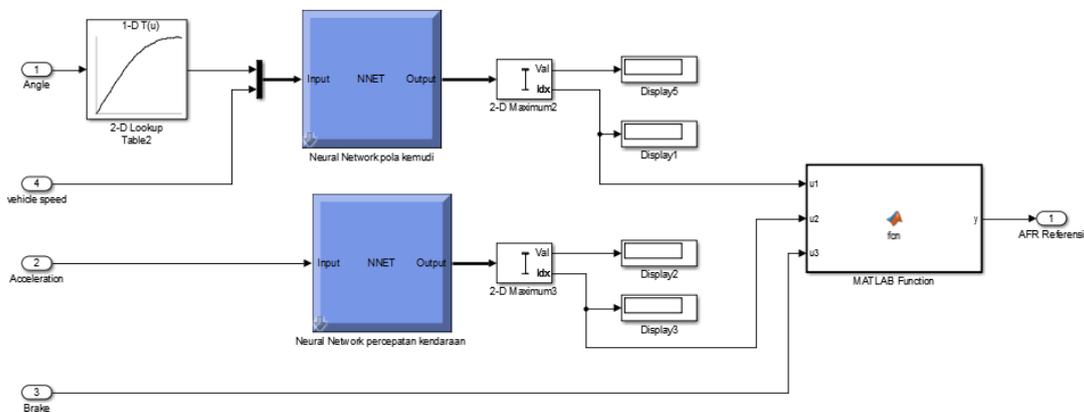
R_w = Jari-jari roda (ft)

Torsi beban merupakan torsi terhadap kondisi jalan dan torsi *brake*. Kondisi jalan adalah penjumlahan antara koefisien tarik gaya gesek (R_{load0}) dan aerodinamis (R_{load2}). T_{brake} mempunyai satuan $lbf \cdot ft$. Persamaan torsi beban dapat dilihat pada Persamaan (9) [9].

$$T_{load} = \text{sgn}(v) (R_{load0} + R_{load2} v^2 + T_{brake}) \quad (9)$$

2.2. Perancangan AFR Clustering

Clustering AFR referensi berbasis Jaringan Saraf Tiruan digunakan untuk mencari nilai AFR referensi yang dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu *normal*, *economic*, dan *sporty*. Masukan *clustering* jaringan saraf tiruan adalah karakteristik mengemudi pengendara. Karakteristik mengemudi yang digunakan adalah pola kemudi, percepatan kendaraan, kecepatan kendaraan dan pengereman. Blok AFR referensi berbasis Jaringan Saraf Tiruan ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2 Simulink clustering AFR

2.3. Clustering Percepatan Kendaraan

Clustering dilakukan dengan metode pengenalan pola propagasi balik. Berdasarkan data yang diperoleh untuk clustering percepatan kendaraan, tiap cluster memiliki batasan nilai untuk masing-masing cluster. Cluster satu memiliki batasan nilai percepatan kurang dari 1,76 m/s², cluster dua 1,76 m/s²–2,5 m/s², dan cluster tiga memiliki nilai percepatan lebih dari 2,5 m/s². Tahap clustering percepatan kendaraan dengan Jaringan Saraf tiruan yaitu,

1. Menetapkan data masukan dan target keluaran

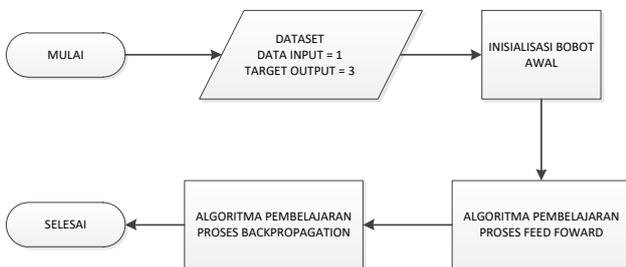
Data masukan clustering menggunakan data percepatan kendaraan dan target keluaran adalah tiga kelas

2. Pembentukan jaringan

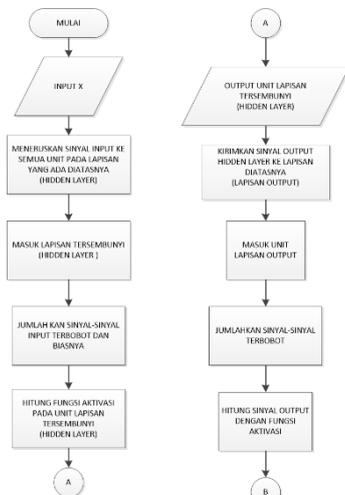
Jaringan yang dibentuk dengan menggunakan jaringan dengan lapisan (*multilayer network*). Lapisan masukan memiliki satu neuron, lapisan tersembunyi memiliki sepuluh neuron, dan lapisan keluaran memiliki tiga neuron.

3. Pelatihan jaringan

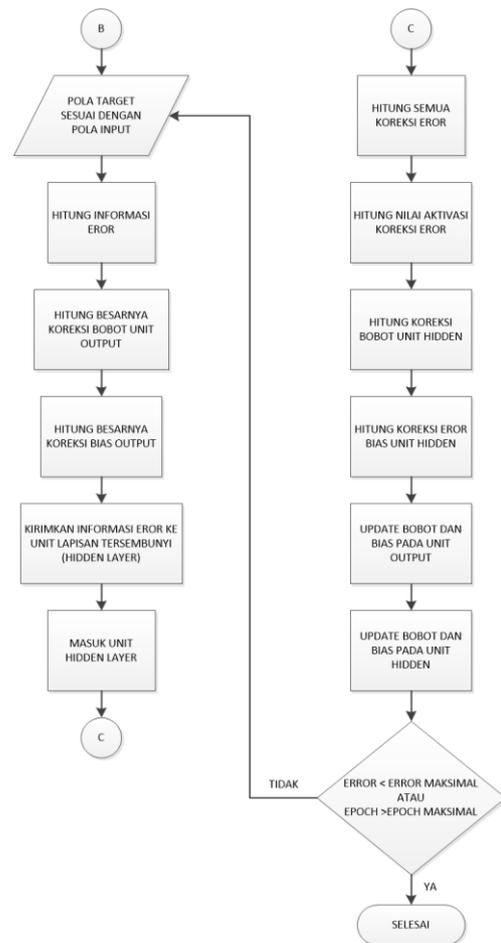
Proses pelatihan menggunakan 70% data random dari data latih. Proses pelatihan jaringan dilakukan dengan metode *backpropagation* yang dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3



Gambar 3. Diagram alir clustering Percepatan kendaraan



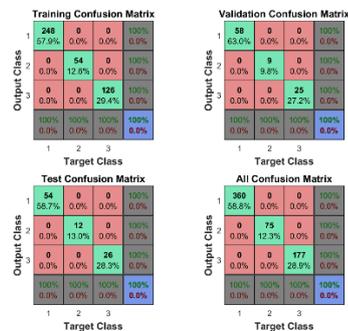
Gambar 4. Diagram alir galat maju pelatihan *backpropagation*



Gambar 5. Diagram alir galat mundur pelatihan *backpropagation*

4. Pengujian dan validasi

Data uji dan validasi menggunakan 30% data random dari dataset percepatan kendaraan. Dari hasil confusion matrik jaringan untuk validasi dan uji data, ditampilkan pada gambar 6 terlihat tidak adanya kesalahan di pengelompokan data, data yang divalidasi dan diuji secara keseluruhan 100% prediksi benar dan 0% kesalahan pengelompokan data.

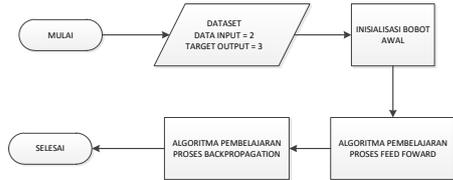


Gambar 6. Hasil confusion matriks clustering percepatan kendaraan

2.4. Clustering Pola kemudi

Clustering pola kemudi menggunakan metode pengenalan pola propagasi balik. Dengan data masukan berupa nilai *handwheel torque* dan kecepatan kendaraan. *handwheel torque* diperoleh dari table lookup *handwheel angle* dengan batasan nilai torsi 0-4 Nm. Kecepatan kendaraan memiliki batasan nilai 0-90 km/h. Tahap clustering pola kemudi dengan Jaringan Saraf tiruan yaitu:

1. Menetapkan data masukan dan target keluaran
Data masukan berupa nilai *handwheel torque* dan kecepatan kendaraan
2. Pembentukan jaringan cluster pola kemudi
Jaringan yang dibentuk dengan menggunakan jaringan dengan lapisan (*multilayer network*). Lapisan masukan memiliki satu neuron, lapisan tersembunyi memiliki sepuluh neuron, dan lapisan keluaran memiliki tiga neuron.
3. Pelatihan jaringan
Proses pelatihan menggunakan 70% data random dari datalatih. Proses pelatihan jaringan dilakukandengan metode *backpropagation* yang dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 7



Gambar 7 Diagram alir clustering Percepatan kendaraan

4. Pengujian dan validasi
Validasi dan diuji menggunakan 30% data latih acak. Hasil confusion matriks jaringan untuk validasi dan uji data, ditampilkan pada Gambar 8. Terlihat tidak terdapat kesalahan pengelompokan data. Data yang divalidasi dan diuji secara keseluruhan 100% prediksi benar dan 0% kesalahan pengelompokan data



Gambar 8. Hasil confusion matriks clustering pola kemudi

2.5. Clustering AFR Referensi

Clustering AFR referensi dibuat dengan menggabungkan hasil cluster pola kemudi, percepatan kendaraan, dan pola pengereman. Pola pengereman terdapat dua kondisi, kondisi diinjak dan tidak diinjak. Dengan direpresentasikan oleh nilai torsi pengereman masing-masing *braketorque* > 50 Nm dan *braketorque* ≤ 50 Nm. Hasil clustering pola kemudi, percepatan kendaraan, dan pola pengereman di kelompokkan (*cluster*) menggunakan aturan IF then rules, hasil cluster menghasilkan nilai AFR referensi *economic*, normal dan *sporty*. Masing – masing memiliki nilai 15,4 , 14,67, dan 12,6. Aturan untuk cluster AFR referensi dapat dilihat pada tabel 2

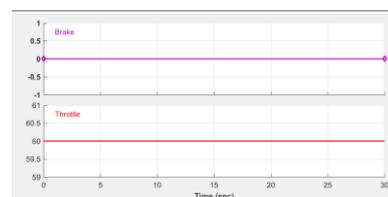
Tabel 2. Tabel aturan pola kemudi, percepatan kendaraan, dan pengereman

Pola kemudi	Percepatan kendaraan	Pengereman	AFR referensi
1	1	≤ 50	15,4
1	2	≤ 50	14,67
1	3	≤ 50	12,6
2	1	≤ 50	15,4
2	2	≤ 50	14,67
2	3	≤ 50	12,6
3	1	≤ 50	14,67
3	2	≤ 50	14,67
3	3	≤ 50	12,6
1	1	>50	15,4
1	2	>50	15,4
1	3	>50	15,4
2	1	>50	15,4
2	2	>50	15,4
2	3	>50	15,4
3	1	>50	15,4
3	2	>50	15,4
3	3	>50	15,4

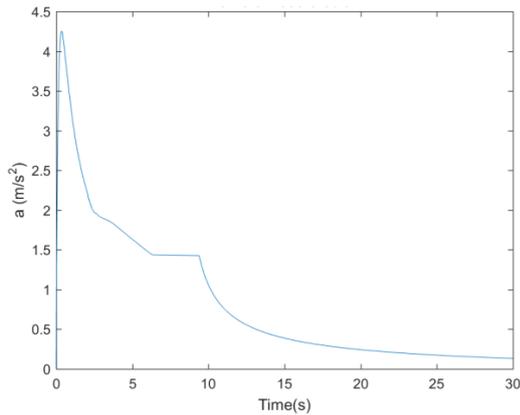
3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Kondisi Rem Tidak diinjak

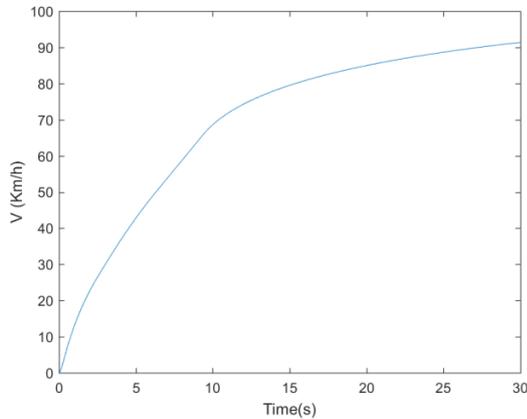
Pengujian ini masukan *clustering* jaringan saraf tiruan terdapat variabel percepatan kendaraan dan kecepatan kendaraan, dimana variabel ini bervariasi mengikuti parameter *throttle* dan *gear*. *Throttle* yang digunakan, yaitu, *throttle mid* (60°), *Gear* yang digunakan adalah *gear 3*. Variabel lainnya adalah *Handwheel torque*, dimana variabel ini mengikuti parameter *Handwheel angle* yang digunakan yaitu high (30°).



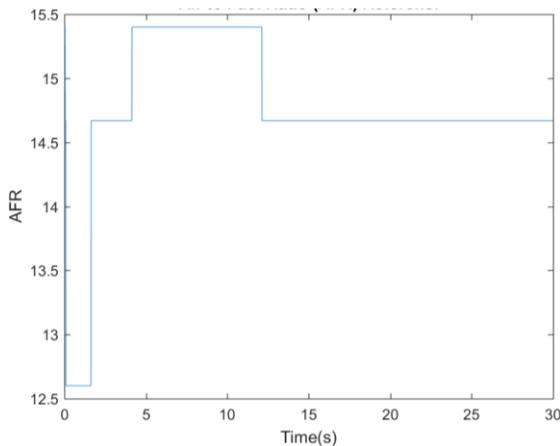
Gambar 9. skenario throttle dan brake



Gambar 10. Percepatan Kendaraan pada Kondisi Rem Tidak diinjak



Gambar 11. kecepatan kendaraan pada kondisi Rem tidak diinjak



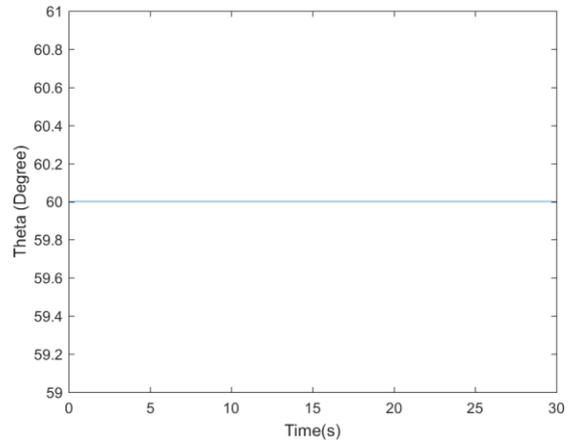
Gambar 13. AFR referensi pada Kondisi Rem tidak Diinjak

Gambar 13 menggambarkan hasil keluaran nilai AFR referensi berdasarkan variasi percepatan dan kecepatan kendaraan pada Gambar 10 dan 11 dengan *handwheel torque high*. Nilai AFR referensi pada rentang waktu 0,01–0,05 detik bernilai 15,4. Rentang waktu 0,06–0,09 detik bernilai 14,67, kemudian rentang waktu 0,1–1,64

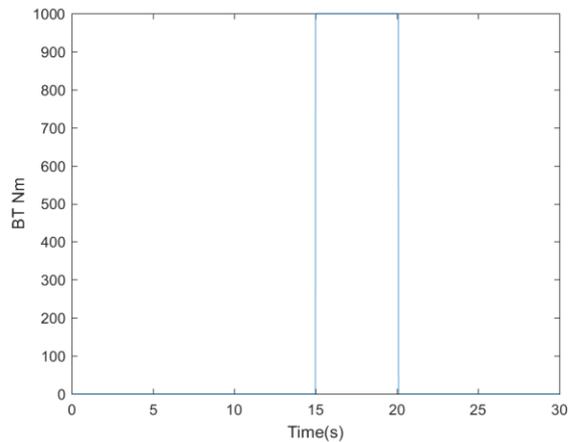
detik AFR referensi bernilai 12,6. Kemudian berubah lagi menjadi 14,67 pada rentang waktu 1,65–4,15 detik. Pada rentang waktu 4,16–12,13 detik bernilai 15,4, dan di rentang waktu 12,14–30 detik AFR referensi bernilai 14,67 dikarenakan pada rentang waktu tersebut menghasilkan *cluster* percepatan kendaraan *economic* dan *cluster* pola kemudi *sporty*

3.2. Penguian Kondisi Rem diinjak

Pengujian pada kondisi ini dilakukan untuk melihat pengaruh parameter *brake* ketika diinjak terhadap AFR referensi. Pengujian dilakukan dengan skenario yang *handwheel torque high* dan posisi *gear 3. Throttle mid* (60°) dan *brake* pada skenario ini ditampilkan pada Gambar 14 dan Gambar 15



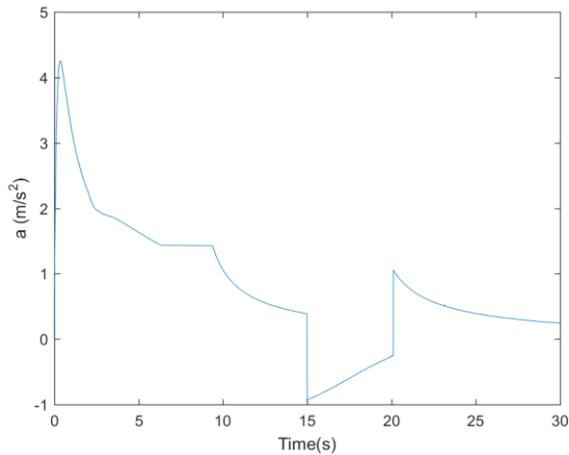
Gambar 14. Skenario *throttle*



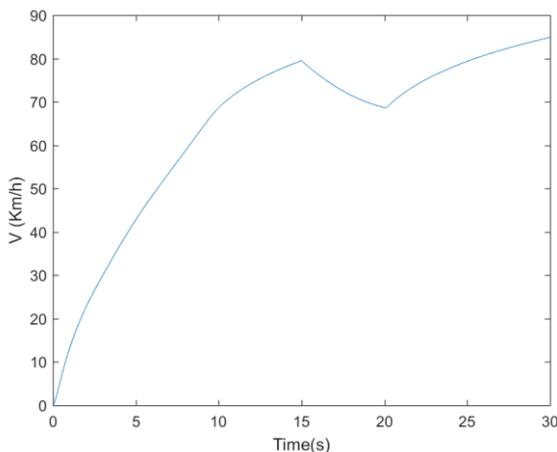
Gambar 15. Skenario *brake*

Gambar 17 menggambarkan hasil keluaran nilai AFR referensi berdasarkan variasi percepatan dan kecepatan kendaraan pada Gambar 16 dan 17 dengan *handwheel torque high*. Nilai AFR referensi pada rentang waktu rentang waktu 12,14–15 detik AFR referensi bernilai 14,67 kemudian berubah menjadi 15,4 saat rem diinjak dari 15,04–20,74 detik dikarenakan pada rentang waktu

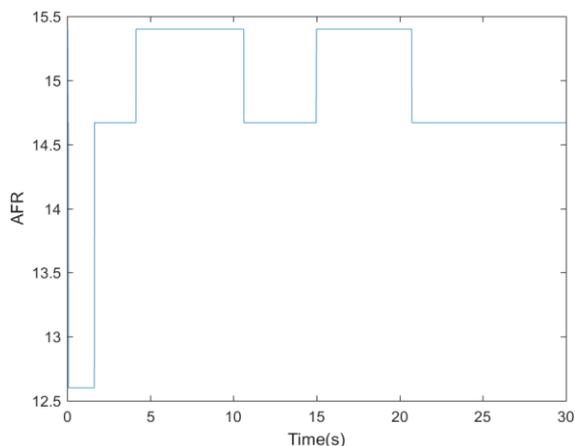
tersebut ketika rem diinjak percepatan kendaraan menjadi -1m/s^2 $-0,85\text{ m/s}^2$. Dengan demikian, *brake* memengaruhi percepatan kendaraan dan membuat nilai AFR referensinya menjadi AFR *economic* yaitu sebesar 15,4



Gambar 16. percepatan kendaraan pada kondisi rem diinjak



Gambar 17. kecepatan kendaraan pada kondisi rem diinjak



Gambar 17. AFR referensi pada kondisi rem diinjak

4. Kesimpulan

Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa AFR *clustering* berbasis Jaringan Saraf Tiruan berdasarkan profil karakteristik mengemudi pengendara sudah berhasil dirancang dengan 3 jenis keluaran AFR referensi yaitu, *economic*, *normal*, *sporty*. AFR referensi *economic* mempunyai nilai 15,4. AFR referensi *normal* mempunyai nilai 14,67. Dan AFR referensi *sporty* mempunyai nilai 12,6. Perubahan variasi *handwheel torque* antara *low*, *mid*, dan *high* pada variasi *throttle low* pada gear (1-4), *throttle mid,high* pada gear (1 dan 2) tidak berpengaruh pada AFR referensi. *Handwheel torque low, mid, high* pada variasi *throttle mid* dan *high* pada gear (3 dan 4) menghasilkan *cluster* percepatan kendaraan *economic* dan *cluster* pola kemudi *sporty* hal ini mempengaruhi nilai AFR referensi menjadi *normal* (14,67), ketika *cluster* percepatan kendaraan berada pada *cluster economic* dan pola kemudi pada *cluster economic* dan *normal* nilai AFR referensi menjadi *sporty* (15,4). *Brake* menyebabkan terjadinya deselerasi kendaraan dan AFR referensi menjadi *economic* dengan nilai AFR 15,4.

Referensi

- [1]. L. Nielsen and U. Kiencke, *Automotive Control Systems For Engine, Driveline, and Vehicle*, 2nd ed. Berlin: Springer, 2005.
- [2]. Buntarto, *Dasar-Dasar Sistem Kontrol Pada Kendaraan*. Yogyakarta: Pustaka Baru, 2015.
- [3]. R. Stone and J. Ball, *Automotive engineering fundamentals*. 2004.
- [4]. J. Melorose, R. Perroy, and S. Careas, *Automobile Mechanical and Electrical Systems*, vol. 1. 2015.
- [5]. M. Reactor, A. Triwiyatno, and B. Setiyono, "Desain Kontrol Air Fuel Ratio (AFR) pada Model Spark Ignition dengan Metode Hybrid Fuzzy PI," *Transient*, vol. 2, no. 2, 2013.
- [6]. A. Triwiyatno, Y. Candra, and B. Setiyono, "Desain Kontroler PID Adaptif Berbasis ANFIS untuk Pengaturan Rasio Perbandingan Udara dan Bahan Bakar (AFR) pada Model Mesin Bensin 4 Langkah," *Transmisi*, vol. 18, no. 1, 2016.
- [7]. J. . Pfeiffer and J. . Hedrick, "Nonlinear Algorithms for Simultaneous Speed Tracking and Air-Fuel Ratio Control in Automotive Engine," *SAE Tech. Pap.*, 1999.
- [8]. M. . Nuralamsyah, A. Triwiyatno, and B. Setiyono, "Desain Sistem Kontrol Rasio Perbandingan Udara dan Bahan Bakar (AFR) pada Mesin 4 Langkah dengan Metode Penalaan PID Berbasis Logika Fuzzy," *Transient*, vol. 2, no. 2, 2013.
- [9]. Mathworks, *Using Simulink and Stateflow in Automotive Applications*, 1998.