

PERANCANGAN AIR TO FUEL RATIO (AFR) CLUSTERING BERBASIS ADAPTIVE NEURAL FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) PADA MODEL MOBIL BERMESIN INJEKSI BENSIN BERDASARKAN PROFIL KARAKTERISTIK MENGENAL PENGENDARA

Muhamad Edwin Albab^{*)}, Aris Triwiyatno, and Budi Setiyono

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

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

Abstrak

Setiap pengemudi kendaraan mobil mempunyai karakteristik mengemudi yang berbeda-beda. Karakteristik mengemudi tersebut dapat memengaruhi kinerja mesin. Perubahan kinerja mesin tersebut 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 ANFIS dibuat pada model mobil bermesin injeksi bensin yang berdasarkan profil karakteristik mengemudi pengemudi. Profil-profil yang digunakan adalah pola kemudi, akselerasi, dan pengereman. Hasil keluaran ANFIS adalah nilai AFR referensi yang terbagi menjadi 3 jenis, yaitu sporty (12,6), normal (14,67), dan economic (15,4). Perubahan variasi *handwheel torque* dari *low* ke *mid* tidak mempengaruhi AFR referensi. Pengaruh *handwheel torque high* membuat AFR referensi menjadi normal (14,67) ketika akselerasi kendaraan berada pada himpunan *fuzzy AccLow* dan *AccMid* sedangkan AFR referensi menjadi *sporty* (12,6) ketika akselerasi kendaraan berada pada himpunan *fuzzy AccHigh*. Pengereman menyebabkan terjadinya *deselerasi kendaraan dan AFR referensi menjadi economic dengan nilai AFR 15,4*.

Kata kunci: AFR, ANFIS, akselerasi, 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 ANFIS 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, and braking. ANFIS 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 to mid doesn't affect AFR reference. Handwheel torque that is high will give impact to AFR Reference to a normal type (14,67) when the vehicle's acceleration is in fuzzy sets *AccLow* and *AccMid*. In contrast, AFR is in Sporty type (12,6) when the acceleration is in fuzzy set *AccHigh*. For the braking condition, AFR reference will results into economic type (15,4).

Keywords: AFR, ANFIS, acceleration, braking, 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 pengemudi [2].

Pengemudi 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 pengemudi 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 referensi *clustering* (pengelompokan) berbasis ANFIS pada model mobil bermesin injeksi bensin berdasarkan profil karakteristik mengemudi pengendara. ANFIS memiliki potensi untuk 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, dan percepatan kendaraan. Profil tersebut akan diolah dengan metode ANFIS yang mempunyai keluaran berupa nilai AFR referensi yang terbagi menjadi 3 jenis, yaitu, *sporty* (12,6), normal (14,67), dan *economic* (15,4).

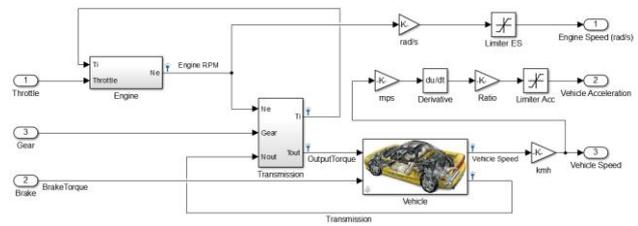
2. Metode

2.1. Perancangan Model Mesin Mobil

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. Gambar 1 merupakan blok model mesin mobil.

Tabel 1. Parameter Fisik Model Mesin Mobil

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



Gambar 1. Blok Model Mesin Mobil

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-ft². 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 lb-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_t mempunyai satuan lb-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 (lb-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·ft²)

T_{load} = Torsi beban (lbf·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·ft. Persamaan torsi beban dapat dilihat pada Persamaan (9) [9].

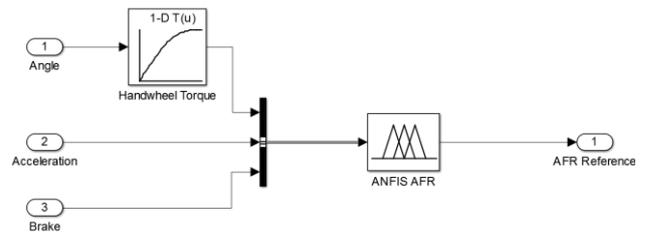
$$T_{load} = \text{sgn}(v)(R_{load0} + R_{load2} v^2 + T_{brake}) \quad (9)$$

2.2. Perancangan AFR Clustering Berbasis ANFIS

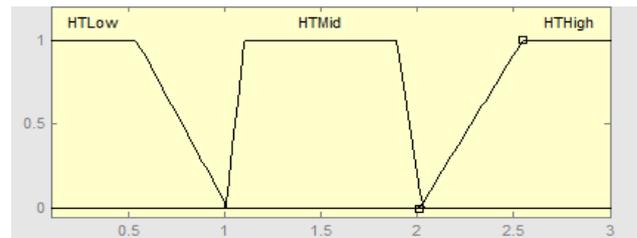
Perancangan AFR *clustering* berbasis ANFIS dilakukan dengan melatih data masukan dan keluaran terlebih dahulu. Data masukan berupa karakteristik mengemudi seperti, akselerasi, *brake*, dan pola kemudi (*Handwheel Torque*). Keluaran dari ANFIS adalah AFR referensi yang dibagi menjadi 3 jenis yaitu, *sporty* (12,6), normal (14,67), dan *economic* (15,4). Gambar 2 merupakan blok AFR *clustering* berbasis ANFIS.

Fuzzy inference system yang digunakan adalah tipe Sugeno dengan metode *grid partition*. *Grid partition* adalah metode yang memasang tiap fungsi keanggotaan dari masing-masing masukan. Proses pelatihan yang dilakukan menggunakan algoritma *hybrid* dengan target pembelajaran galat sebesar 0 serta jumlah iterasi/*epoch* yang diinginkan sebanyak 30 kali.

Fungsi keanggotaan masukan mempunyai bentuk trapesium dan keluaran mempunyai bentuk *singleton*. Fungsi keanggotaan setelah pelatihan untuk *handwheel torque*, akselerasi, dan *brake* ditampilkan pada Gambar 3-5.



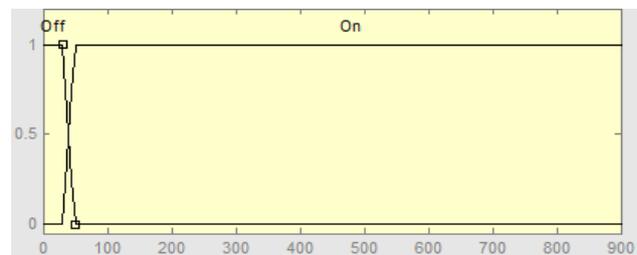
Gambar 2. Blok AFR Clustering



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Handwheel Torque



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Akselerasi



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Brake

Jumlah fungsi keanggotaan masukan *handwheel torque*, akselerasi, dan *brake* yaitu, 3, 3, dan 2 buah dengan 18 buah fungsi keanggotaan keluaran. Aturan yang dibangkitkan ANFIS berjumlah 18 aturan. Fungsi keanggotaan keluaran bernilai konstan yang dibagi menjadi 3 jenis yaitu, *sporty* (12,6), normal (14,67), dan *economic* (15,4). Aturan yang dibangkitkan ANFIS ditunjukkan pada Gambar 6.

3. Hasil dan Analisa

Hasil implementasi dari perancangan sistem pada penelitian ini adalah AFR referensi. Pengujian dilakukan menjadi 2 jenis yaitu, pengujian statis dan dinamis.

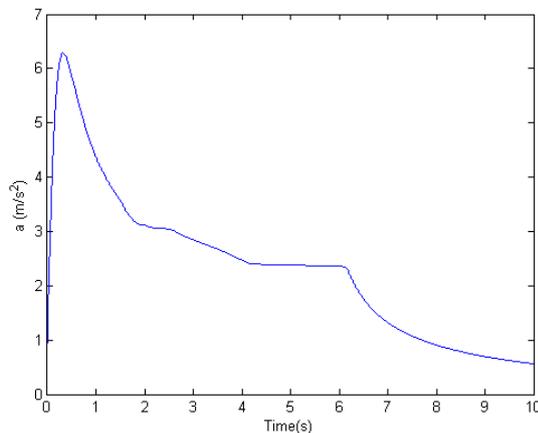
Pengujian statis meliputi pengujian statis pada kondisi rem tidak diinjak dan kondisi rem diinjak. Pengujian dinamis terbagi menjadi pengujian dinamis parameter *throttle*, *gear*, dan *handwheel torque*.

1. If (HandTorque is HTLow) and (Acceleration is AccLow) and (BrakeTorque is On) then (AFR is Eco1) (1)
2. If (HandTorque is HTLow) and (Acceleration is AccLow) and (BrakeTorque is Off) then (AFR is Eco2) (1)
3. If (HandTorque is HTLow) and (Acceleration is AccMid) and (BrakeTorque is Off) then (AFR is Normal1) (1)
4. If (HandTorque is HTLow) and (Acceleration is AccMid) and (BrakeTorque is On) then (AFR is Eco3) (1)
5. If (HandTorque is HTLow) and (Acceleration is AccHigh) and (BrakeTorque is Off) then (AFR is Sport1) (1)
6. If (HandTorque is HTLow) and (Acceleration is AccHigh) and (BrakeTorque is On) then (AFR is Eco4) (1)
7. If (HandTorque is HTMid) and (Acceleration is AccLow) and (BrakeTorque is Off) then (AFR is Eco5) (1)
8. If (HandTorque is HTMid) and (Acceleration is AccLow) and (BrakeTorque is On) then (AFR is Eco6) (1)
9. If (HandTorque is HTMid) and (Acceleration is AccMid) and (BrakeTorque is Off) then (AFR is Normal2) (1)
10. If (HandTorque is HTMid) and (Acceleration is AccMid) and (BrakeTorque is On) then (AFR is Eco7) (1)
11. If (HandTorque is HTMid) and (Acceleration is AccHigh) and (BrakeTorque is Off) then (AFR is Sport2) (1)
12. If (HandTorque is HTMid) and (Acceleration is AccHigh) and (BrakeTorque is On) then (AFR is Eco8) (1)
13. If (HandTorque is HTHigh) and (Acceleration is AccLow) and (BrakeTorque is Off) then (AFR is Normal3) (1)
14. If (HandTorque is HTHigh) and (Acceleration is AccLow) and (BrakeTorque is On) then (AFR is Eco9) (1)
15. If (HandTorque is HTHigh) and (Acceleration is AccMid) and (BrakeTorque is Off) then (AFR is Normal4) (1)
16. If (HandTorque is HTHigh) and (Acceleration is AccMid) and (BrakeTorque is On) then (AFR is Eco10) (1)
17. If (HandTorque is HTHigh) and (Acceleration is AccHigh) and (BrakeTorque is Off) then (AFR is Sport3) (1)
18. If (HandTorque is HTHigh) and (Acceleration is AccHigh) and (BrakeTorque is On) then (AFR is Eco11) (1)

Gambar 6. Aturan pada ANFIS

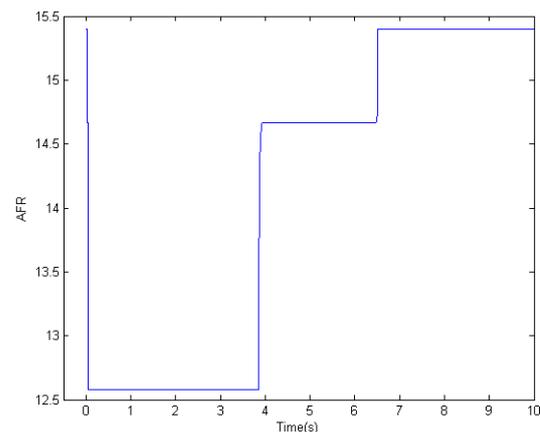
3.1. Pengujian Statis Pada Kondisi Rem Tidak Diinjak

Pengujian ini dilakukan dengan skenario *throttle high* (80°), *gear* pada posisi ke 2, dan *handwheel torque* direpresentasikan dengan *handwheel angle* sebesar 5° . Akselerasi berdasarkan skenario tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Akselerasi Kendaraan Pada Kondisi Rem Tidak Diinjak

Gambar 8 menggambarkan hasil keluaran nilai AFR referensi berdasarkan variasi akselerasi pada Gambar 7 dengan *handwheel torque low*. Nilai AFR referensi pada waktu 0,046–3,85 detik bernilai 12,58. Nilai AFR referensi berubah menjadi 14,67 dalam selang waktu 3,93–6,49 detik. Nilai AFR referensi konstan pada nilai 15,4 pada saat 6,51 detik.

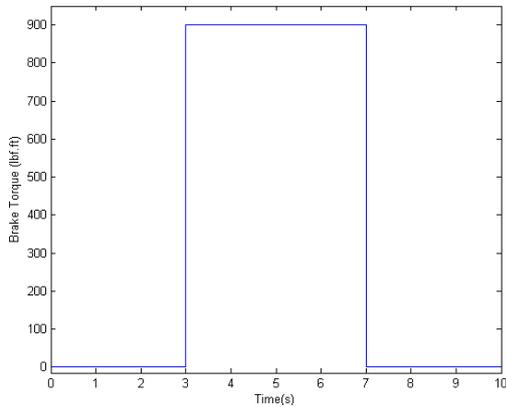


Gambar 8. AFR Referensi Pada Kondisi Rem Tidak Diinjak

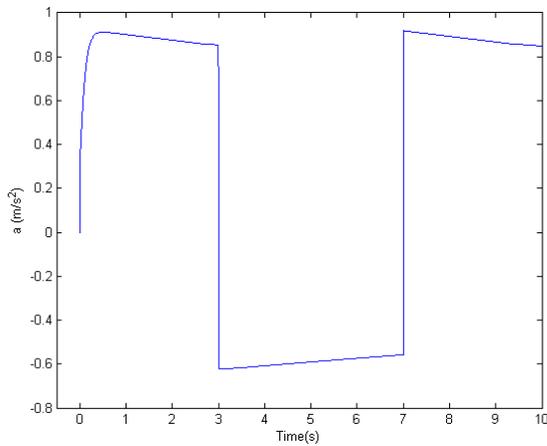
Hal ini menandakan bahwa akselerasi pada selang waktu 0,046–3,85 detik membuat nilai AFR referensi menjadi *sporty* dengan akselerasi maksimum sebesar $6,29 \text{ m/s}^2$. Akselerasi kendaraan menurun pada selang waktu 3,93–6,49 detik menjadi $1,77 \text{ m/s}^2$. Hal tersebut membuat nilai AFR referensi menjadi normal. Nilai AFR referensi menjadi *economic* dikarenakan akselerasi kendaraan menurun menjadi $1,751 \text{ m/s}^2$ pada saat 6,51 detik.

3.2. Pengujian Statis Pada Kondisi Rem Diinjak

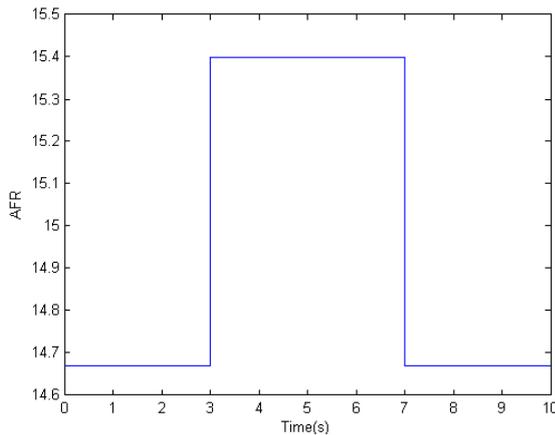
Pengujian statis kondisi rem diinjak dilakukan untuk melihat pengaruh parameter *brake* terhadap AFR referensi. Pengujian dilakukan dengan skenario *throttle low* (30°), *gear* pada posisi ke 4, dan *handwheel torque* direpresentasikan dengan *handwheel angle* sebesar 25° . Skenario *brake* ditampilkan pada Gambar 9. Akselerasi berdasarkan skenario tersebut dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Skenario Brake



Gambar 10. Akselerasi Kendaraan Pada Kondisi Rem Diinjak



Gambar 11. AFR Referensi Pada Kondisi Rem Diinjak

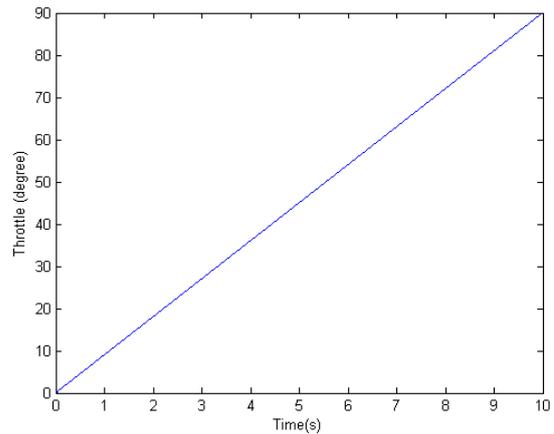
Gambar 11 menggambarkan hasil keluaran nilai AFR referensi berdasarkan variasi akselerasi pada Gambar 10 dengan *handwheel torque high*. Nilai AFR referensi dalam selang waktu 3–6,99 detik bernilai 15,4 dimana sebelumnya bernilai 14,67. Hal ini dikarenakan terjadi deselerasi kendaraan ketika *brake* diinjak. Deselerasi pada

detik ke 3 sebesar $-0,62 \text{ m/s}^2$ dan menjadi $-0,55 \text{ m/s}^2$ saat 6,99 detik. Akselerasi kendaraan berubah menjadi $0,91 \text{ m/s}^2$ ketika *brake* tidak diinjak. *Brake* pada pengujian ini mengakibatkan deselerasi kendaraan dan membuat nilai AFR referensi termasuk pada jenis *economic*.

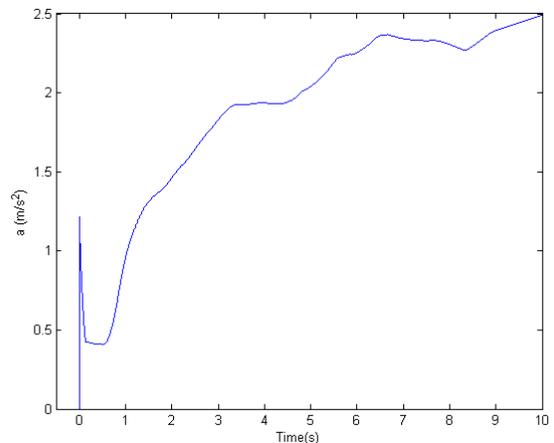
3.3. Pengujian Dinamis Parameter Throttle

Pengujian dinamis parameter *throttle* dilakukan untuk melihat AFR referensi yang terjadi ketika *throttle* berubah-ubah nilainya. Parameter *gear* dibuat konstan pada posisi 2. Parameter *handwheel torque* dibuat konstan yang direpresentasikan dengan *handwheel angle* sebesar 0° . *Throttle* yang diujikan dapat dilihat pada Gambar 12. Akselerasi berdasarkan *throttle* dan *gear* tersebut ditampilkan pada Gambar 13.

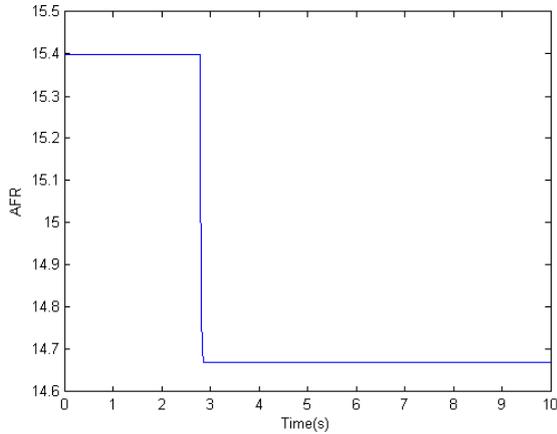
Gambar 14 menggambarkan hasil keluaran nilai AFR referensi berdasarkan akselerasi pada Gambar 13 dengan variasi *throttle*. Akselerasi pada pengujian ini terus bertambah seiring dengan *throttle* yang bukannya terus membesar. Nilai AFR referensi pada waktu 0–2,797 detik bernilai 15,4.



Gambar 12. Skenario Throttle Untuk Pengujian Dinamis



Gambar 13. Akselerasi Kendaraan Pengujian Dinamis Throttle

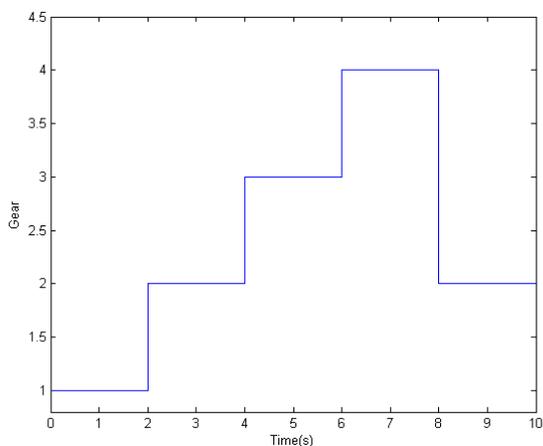


Gambar 14. AFR Referensi Pengujian Dinamis Throttle

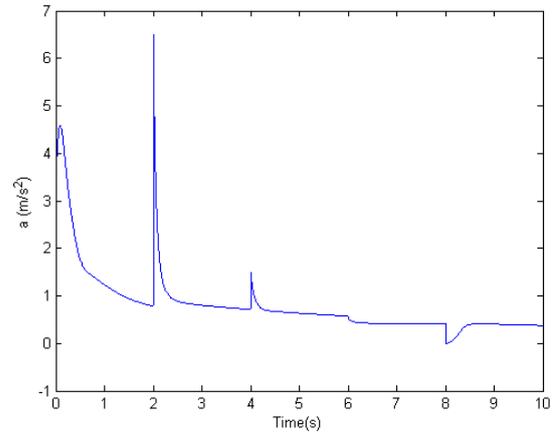
Nilai AFR referensi berubah menjadi konstan pada nilai 14,67 saat 2,863 detik. Hal ini menandakan bahwa akselerasi pada selang waktu 0–2,797 detik berada pada himpunan *fuzzy AccLow* (akselerasi rendah) yang membuat nilai AFR referensi menjadi *economic*. Akselerasi saat 2,863 detik hingga 10 detik berada pada himpunan *fuzzy AccMid* (akselerasi sedang) dan *AccHigh* (akselerasi tinggi) yang memengaruhi nilai AFR referensi menjadi normal.

3.4. Pengujian Dinamis Parameter Gear

Pengujian dinamis parameter *gear* dilakukan untuk melihat AFR referensi yang terjadi ketika *gear* dinaikkan atau diturunkan. Parameter *throttle* dibuat konstan pada posisi 20°. Parameter *handwheel torque* dibuat konstan sebesar 0 Nm ketika *handwheel angle* sebesar 0°. *Gear* yang diujikan dapat dilihat pada Gambar 15. Akselerasi kendaraan berdasarkan *throttle* dan *gear* tersebut ditampilkan pada Gambar 16.

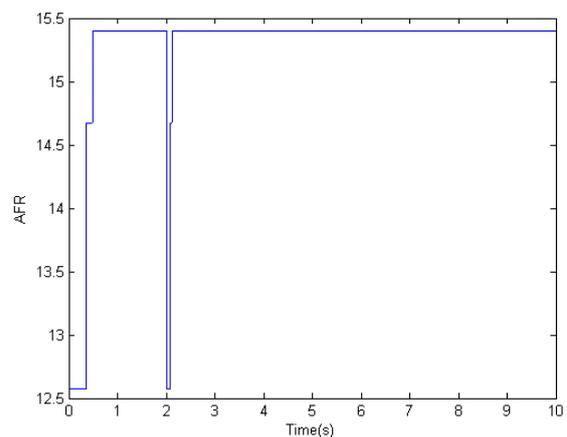


Gambar 15. Skenario Gear Untuk Pengujian Dinamis



Gambar 16. Akslerasi Kendaraan Pengujian Dinamis Gear

Akselerasi pada pengujian ini ketika *gear* berubah naik atau turun terjadi perubahan pada akselerasinya. Akselerasi pada *gear* 1 saat 0–0,098 detik mengalami perubahan dari 0 m/s² menjadi 4,59 m/s². Perubahan *gear* 1 ke *gear* 2 saat detik ke 2,001 membuat akselerasi mengalami perubahan dari 0,787 m/s² menjadi 6,49 m/s². Akselerasi mengalami perubahan dari 0,707 m/s² menjadi 1,484 m/s² ketika *gear* 2 naik ke *gear* 3 saat detik ke 4,001. Perubahan *gear* 3 ke *gear* 4 saat detik ke 6 membuat akselerasi mengalami perubahan yang sangat kecil dari 0,56 m/s² menjadi 0,44 m/s². Deselerasi terjadi ketika *gear* 4 diturunkan ke *gear* 2 yang mengalami perubahan dari 0,406 m/s² menjadi -0,012 m/s² ketika saat detik ke 8.



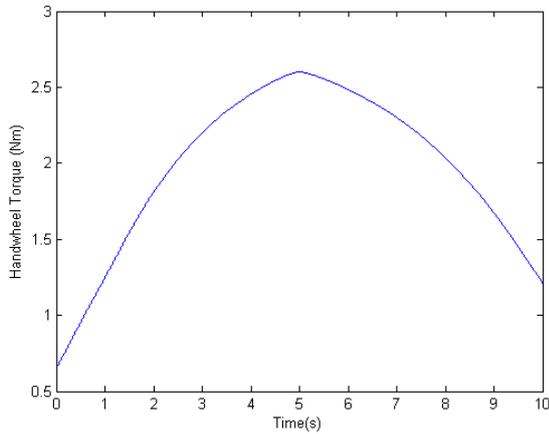
Gambar 17. AFR Referensi Pengujian Dinamis Gear

Gambar 17 menggambarkan hasil keluaran nilai AFR referensi berdasarkan akselerasi pada Gambar 16 dengan variasi parameter *gear*. Nilai AFR referensi pada waktu 0,001–0,351 detik bernilai 12,4 dikarenakan akselerasi pada selang waktu tersebut berada pada himpunan *fuzzy AccHigh* (akselerasi tinggi). Nilai AFR referensi berubah menjadi 15,4 saat 0,502–2 detik. Hal ini menandakan bahwa akselerasi pada selang waktu 0,502–2 detik berada pada himpunan *fuzzy AccLow* (akselerasi rendah) yang

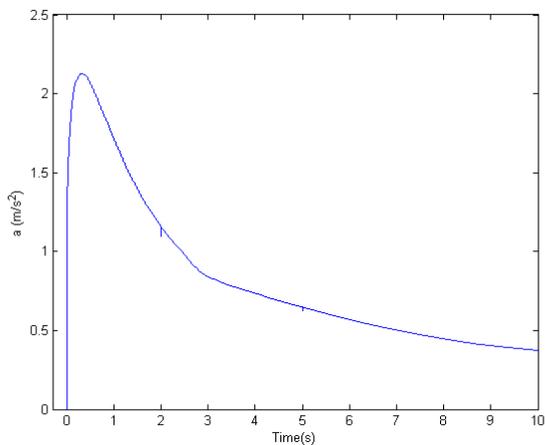
membuat nilai AFR referensi menjadi *economic*. Perubahan *gear* 1 ke *gear* 2 membuat AFR referensi bernilai 12,4 karena pada saat perubahan *gear* tersebut akselerasi membesar menjadi $6,49 \text{ m/s}^2$ yang termasuk pada himpunan *fuzzy AccHigh* (akselerasi tinggi). AFR referensi menjadi konstan pada nilai 15,4 karena akselerasi setelah perubahan *gear* 1 ke *gear* 2 berada pada himpunan *fuzzy AccLow* (akselerasi rendah).

3.5. Pengujian Dinamis Parameter Handwheel Torque

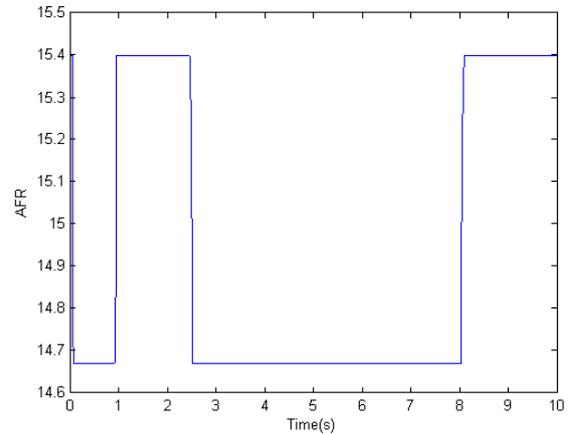
Pengujian dinamis parameter *handwheel torque* dilakukan untuk melihat AFR referensi yang terjadi ketika *handwheel torque* berubah-ubah. Parameter *gear* dibuat konstan pada posisi 2. Parameter *throttle* dibuat konstan pada 20° . *Handwheel torque* yang diujikan dapat dilihat pada Gambar 18. Akselerasi kendaraan berdasarkan *throttle* dan *gear* tersebut ditampilkan pada Gambar 19.



Gambar 18. Skenario Handwheel Torque Untuk Pengujian Dinamis



Gambar 19. Akslerasi Kendaraan Pengujian Dinamis Handwheel Torque



Gambar 20. AFR Referensi Pengujian Dinamis Handwheel Torque

Gambar 20 menggambarkan hasil keluaran nilai AFR referensi berdasarkan akselerasi pada Gambar 19 dengan variasi *handwheel torque*. Nilai AFR referensi pada waktu 0,071–0,919 detik bernilai 14,67. Hal ini dikarenakan akselerasi pada selang waktu tersebut berada pada himpunan *fuzzy AccMid* (akselerasi rendah) dan pengaruh *handtorque wheel* yang berada pada himpunan *fuzzy HTLow* (*handtorque wheel* rendah) dan *HTMid* (*handtorque wheel* sedang). Nilai AFR referensi berubah menjadi 15,4 saat 0,951–2,461 detik. Hal tersebut menandakan bahwa akselerasi pada selang waktu tersebut berada pada himpunan *fuzzy AccLow* (akselerasi rendah) dan pengaruh *handtorque wheel* yang berada pada himpunan *fuzzy HTLow* (*handtorque wheel* rendah) dan *HTMid* (*handtorque wheel* sedang) yang membuat nilai AFR referensi menjadi *economic*. Nilai AFR referensi berubah menjadi 14,67 saat 2,516–8,033 detik. Hal tersebut menandakan bahwa akselerasi pada selang waktu tersebut berada pada himpunan *fuzzy AccLow* (akselerasi rendah) dan pengaruh *handtorque wheel* yang berada pada himpunan *fuzzy HTHigh* (*handtorque wheel* tinggi) yang membuat nilai AFR referensi menjadi normal. AFR referensi konstan pada nilai 15,4 saat detik ke 8,1 karena akselerasi dan *handtorque wheel* pada waktu tersebut berada pada himpunan *fuzzy AccLow* (akselerasi rendah) dan *HTMid* (*handtorque wheel* sedang).

4. Kesimpulan

Dari penelitian, dapat disimpulkan bahwa AFR *clustering* berbasis ANFIS berdasarkan profil karakteristik mengemudi sudah berhasil dirancang dengan 3 jenis keluaran AFR referensi yaitu, *sporty*, normal, dan *economic*. AFR referensi *sporty* mempunyai nilai 12,58–12,6. AFR referensi normal mempunyai nilai 14,67. AFR referensi *economic* mempunyai nilai 15,4. Perubahan variasi *handwheel torque* antara *low* dan *mid* tidak berpengaruh pada AFR referensi. *Handwheel torque high* memengaruhi nilai AFR referensi menjadi normal

(14,67) ketika akselerasi kendaraan berada pada himpunan *fuzzy AccLow* dan *AccMid*. AFR referensi menjadi *sporty* (12,58–12,6) ketika akselerasi kendaraan berada pada himpunan *fuzzy AccHigh*. *Brake* menyebabkan terjadinya deselerasi kendaraan dan AFR referensi menjadi *economic* dengan nilai AFR 15,4. Perubahan *gear* dan *throttle* akan menyebabkan akselerasi kendaraan menjadi fluktuatif. AFR referensi berubah-ubah jenisnya melihat akselerasi kendaraan berada pada himpunan *fuzzy AccLow*, *AccMid*, atau *AccHigh*.

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.