

## Estimasi Waktu Injeksi Bahan Bakar pada Mesin 4 Langkah dengan Menggunakan ANFIS

<sup>1</sup>M. Aziz Muslim\*), <sup>1</sup>Dwi Fadila K & <sup>1</sup>Goegoes Dwi N

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

*muh\_aziz@ub.ac.id\**

### Abstrak

Perbandingan udara dan bahan bakar (*Air to Fuel Ratio*) adalah factor yang sangat menentukan dalam perbaikan emisi bahan bakar dan efisiensi penggunaan bahan bakar suatu mesin. Bila diasumsikan udara yang masuk ke mesin adalah konstan, maka penentuan perbandingan udara dan bahan bakar dapat diatur dengan menentukan waktu dan durasi operasi dari injektor bahan bakar. Pada makalah ini, akan disajikan estimasi penentuan waktu injeksi bahan bakar dengan menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*. Dari hasil eksperimen, didapatkan bahwa ANFIS dapat memberikan prediksi waktu injeksi bahan bakar dengan baik.

### 1 Pendahuluan

Pengaturan dalam mesin berarti mengatur bahan bakar dan asupan udara serta waktu pengapian untuk mencapai kinerja yang diinginkan dalam bentuk torsi atau daya keluaran. Sampai akhir 1960-an, mengendalikan output mesin, torsi dan RPM itu dicapai melalui beberapa kombinasi dari mekanik, pneumatik, atau sistem hidrolis. Kemudian, pada 1968, sistem kontrol elektronik (*engine control system/ECS*) diperkenalkan oleh Volkswagen 1600 dengan menggunakan sebuah mikroprosesor untuk membentuk sistem injeksi [1].

Perkembangan teknologi elektronika dan bertambahnya tingkat kesadaran dunia akan pentingnya mengurangi polusi udara dan penghematan bahan bakar minyak menuntut system ECS yang lebih maju. Sehingga dikembangkanlah suatu perangkat yang disebut *Main Control Unit (MCU)*. Versi sederhana dari MCU disebut sebagai *Electronic Control Unit (ECU)* dengan tugas yang lebih sedikit, biasanya hanya mengatur system yang terkait dengan kinerja mesin. Perangkat keras ECU biasanya terdiri dari pensuplai daya untuk menggerakkan aktuator (misal injektor bahan bakar), power supply, sirkuit referensi, antarmuka untuk modul komunikasi dan memori eksternal.

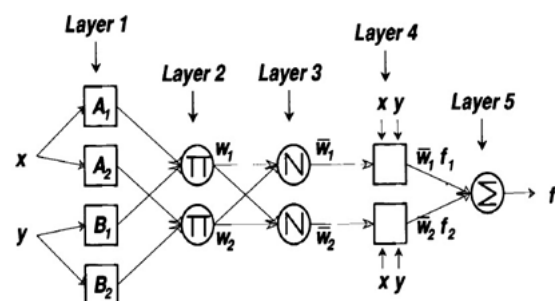
Dari berbagai bentuk dan sistem ECU konvensional yang sudah ada terdapat kelemahan yaitu informasi karakter mesin hanya bisa diketahui oleh mekanik kemudian pengetahuan tersebut ditransfer ke ECU dalam bentuk

pengaturan ulang kurva pengapian dan durasi injektor. Oleh karena itu diperlukan ECU cerdas yang mampu membaca karakter mesin baik yang bersifat statis dan karakter yang bersifat dinamis. Isermann [2] mengusulkan suatu sistem kecerdasan berdasarkan jaringan syaraf tiruan guna membentuk suatu *look-up table* yang diadaptasi secara *online*. Sistem kecerdasan dilatih untuk mengenali karakter mesin melalui masukan-masukan sensor untuk menghasilkan keluaran berupa tabel (berisi derajat pengapian pada range rpm tertentu) yang menghasilkan kinerja kendaraan paling optimum. Berdasarkan [2], pada makalah ini diusulkan estimasi penentuan waktu injeksi bahan bakar (bensin) dengan metode ANFIS. Dengan menggunakan metode ANFIS, diharapkan akan diperoleh suatu sistem cerdas yang dapat diimplementasikan di ECU.

### 2 Metode Penelitian

#### 2.1 Metode ANFIS

ANFIS adalah gabungan dari dua sistem yaitu sistem logika fuzzy dan jaringan syaraf tiruan. Sistem ANFIS berdasar pada sistem inferensi fuzzy yang dilatih menggunakan algoritma pembelajaran *backpropogation* [3]. Arsitektur ANFIS secara fungsional sama dengan fuzzy rule base model Sugeno. Arsitektur ANFIS juga sama dengan jaringan syaraf tiruan model *Radial Basis Function* dengan sedikit batasan tertentu.



Gambar 1. struktur ANFIS [3]

Pada Gambar 1, diperlihatkan struktur dari ANFIS. Dari 5 layer yang terdapat pada ANFIS, hanya layer 1 dan layer 4 yang bersifat *trainable*,

ketiga layer yang lain bersifat tetap. Berturut-turut, proses yang berlangsung pada tiap layer ANFIS dapat dituliskan sebagai berikut:

a) Layer 1.

Semua simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif (parameter dapat berubah) dengan fungsi simpul :

$$O_{1,i} = \mu A_i(x) \quad (1)$$

$$O_{1,j} = \mu B_j(y) \quad (2)$$

dimana  $i = 1, 2, \dots$  jumlah himpunan fuzzy untuk input 1, dan  $j = 1, 2, \dots$  jumlah himpunan fuzzy untuk input 2

dengan  $x$  dan  $y$  adalah masukan pada simpul input. Simpul  $O$  berfungsi untuk menyatakan derajat keanggotaan tiap masukan terhadap himpunan fuzzy  $A$  dan  $B$ . Fungsi keanggotaan yang dipakai adalah tipe *Generalized Bell*:

$$\mu A(x) = \frac{1}{\left| \frac{x-c}{a} \right|^2 + 1} \quad (3)$$

dimana

$c$  adalah *center* dari fungsi *Generalized Bell*

$a$  dan  $b$  adalah parameter *spread* dari Gaussian

b) Layer 2.

Semua simpul pada lapisan ini adalah nonadaptif (parameter tetap). Fungsi simpul ini adalah mengalikan setiap sinyal masukan yang datang. Tiap-tiap node merepresentasikan  $\alpha$  predikat dari aturan ke- $i$ .

$$O_{2,i} = \mu A_i(x) \mu B_j(y) \quad (4)$$

Tiap keluaran simpul menyatakan derajat pengaktifan (*firing strength*) tiap aturan fuzzy.

c) Layer 3.

Lapisan Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul nonadaptif yang menampilkan fungsi derajat pengaktifan ternormalisasi (*normalized firing strength*).

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (5)$$

d) Layer 4.

Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul sebagai berikut :

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (6)$$

dengan  $\bar{w}_i$  adalah derajat pengaktifan ternormalisasi dari lapisan 3 dan parameter  $p$ ,  $q$ , dan  $r$  menyatakan parameter konsekuen yang adaptif.

e) Layer 5.

Pada lapisan ini hanya ada satu simpul tetap yang fungsinya untuk menjumlahkan semua masukan. Fungsi simpul sebagai berikut:

$$O_{5,i} = \sum \bar{w}_i f_i \quad (7)$$

## 2.2 Pengambilan Data

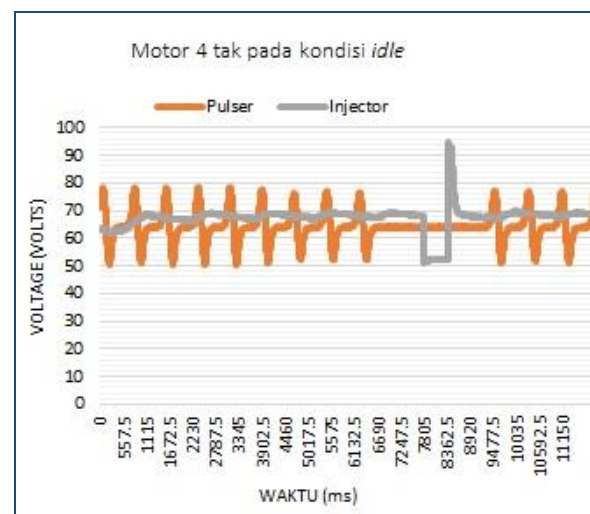
Pada penelitian ini, akan dilakukan estimasi waktu injeksi bahan bakar pada sepeda motor 4 tak dengan menggunakan ANFIS. Untuk melatih ANFIS, diperlukan data pelatihan yang diperoleh dari pengukuran langsung pada sepeda motor. Gambar 2 memperlihatkan contoh pemasangan probe bagi pengambilan data pada sepeda motor. Akuisisi data dilakukan dengan menggunakan *Digital Storage Oscilloscope* yang memiliki kemampuan hingga  $2 \times 10^6$  sampling per detik.



Gambar 2. pemasangan probe untuk pengambilan data

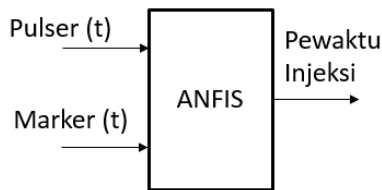
## 2.3 Rancangan Penelitian

Penentuan waktu injeksi pada penelitian ini menggunakan 2 buah sinyal, yaitu sinyal *pulser*, dan sinyal dari *injector*.



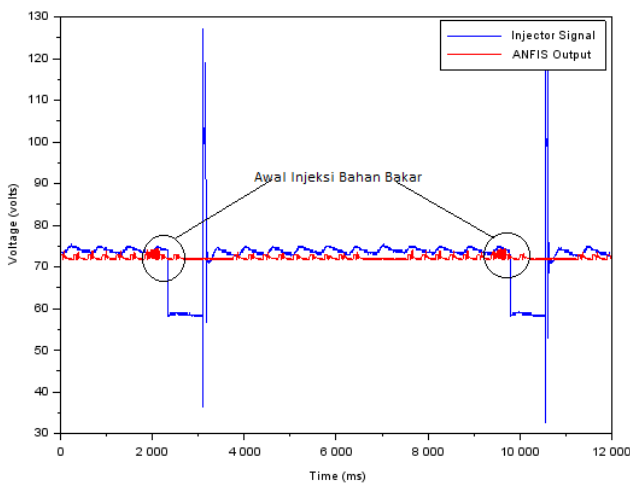
Gambar 3. contoh data latih untuk ANFIS

Selanjutnya akan dicari hubungan antar kedua sinyal tersebut untuk mengestimasi waktu injeksi bahan bakar yang optimum. Contoh data yang dipergunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 3. Secara umum terlihat bahwa data tersebut bersifat *seasonal* dan dapat diprediksi. Gambar 4 memperlihatkan struktur input-output yang dipilih bagi ANFIS. Sinyal pulser merupakan sinyal yang terkait erat dengan kecepatan putaran mesin dan dari sinyal juga dapat diketahui siklus yang sedang berlangsung dari mesin 4 langkah. Untuk mempermudah proses pembelajaran ANFIS, maka ditambahkan input kedua, yaitu *marker*. Input ini berupa data "0" atau "1" untuk menandai siklus yang terjadi pada mesin 4 tak. Sebagai *target* pembelajaran ANFIS adalah sinyal *injector* yang berisi sinyal pulsa dari *injector*. Tujuan dari pembelajaran ANFIS ini adalah untuk menandai waktu permulaan pemberian injeksi, sehingga durasi injeksi, walaupun termasuk dalam pulsa *injector*, tidak menjadi target pembelajaran. Bahasan mengenai durasi injeksi akan menjadi topik penelitian dalam waktu dekat.



Gambar 4. struktur input-output ANFIS

Pada penelitian ini digunakan SCILAB untuk mengembangkan perangkat lunak bagi prediksi waktu injeksi. SCILAB dipilih karena merupakan software tak berbayar dengan fasilitas yang sangat mirip dengan MATLAB.

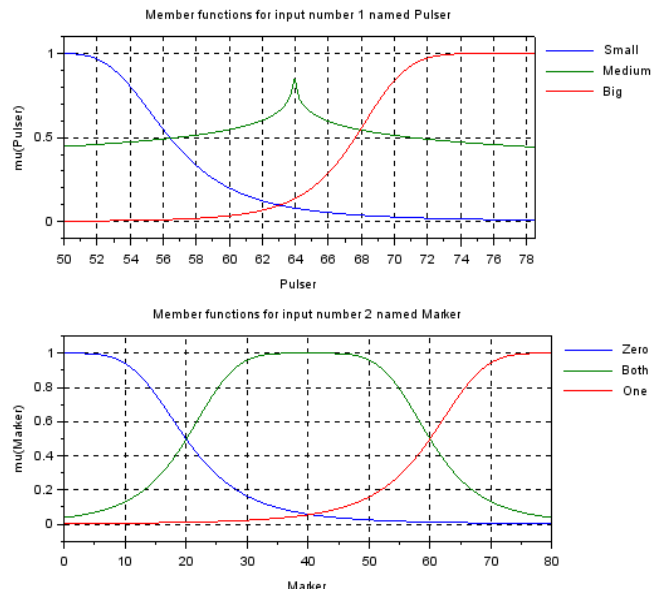


Gambar 5. hasil prediksi waktu injeksi dengan ANFIS

### 3 Hasil dan Diskusi

Hasil simulasi diberikan pada Gambar 5. Waktu injeksi ditandai dengan keluaran dari ANFIS yang beresilasi secara cepat. Akhir dari osilasi tersebut menandai waktu dimulainya injeksi bahan bakar. Terdapat kesalahan waktu injeksi sebesar 50 ms lebih cepat bila dibanding dengan sinyal yang sesungguhnya.

Fungsi keanggotaan kedua input ANFIS pada awalnya adalah *uniform*. Seiring dengan proses pembelajaran, maka dihasilkan fungsi keanggotaan yang tidak homogen sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 6. Dari hasil pembelajaran juga dihasilkan 9 buah fungsi linear orde 1 yang merupakan bagian konsekuen dari aturan fuzzy Sugeno yang dihasilkan dari proses pembelajaran ANFIS. Kesembilan buah fungsi tersebut diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 6. fungsi keanggotaan input pada ANFIS

EDIT VARIABLE :		
Information :		
name :	StartInject	
range :	32.5 127.0	
Nro. Member Function :	9	
Member functions:		
name :	type :	par :
<input type="checkbox"/> f1	constant	-0.70062943959 0.0039684698911 107.9222553
<input type="checkbox"/> f2	linear	-0.030624613063 0.039310580467 4.1378324748
<input type="checkbox"/> f3	linear	-0.099390259567 1.0199062339 0.38164181629
<input type="checkbox"/> f4	linear	-0.80797691219 0.0031198173429 127.25050919
<input type="checkbox"/> f5	linear	-0.023442609112 0.030904213015 4.8787024524
<input type="checkbox"/> f6	linear	0.19385054479 0.80179236314 0.44498217861
<input type="checkbox"/> f7	linear	0.23426627088 0.004353570963 62.9483062
<input type="checkbox"/> f8	linear	0.0013469718289 0.043125301121 2.4137438175
<input type="checkbox"/> f9	linear	-0.20003052308 1.1188804323 0.22915178176

Gambar 7. Bagian konsekuen aturan fuzzy hasil pembelajaran ANFIS

#### 4 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa ANFIS dapat dipergunakan untuk memprediksi waktu injeksi bahan bakar dengan akurasi yang cukup baik. Untuk efisiensi pembakaran, durasi injeksi juga harus diberikan. Topik ini akan menjadi acuan dalam penelitian lanjutan.

#### 5 Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dilaksanakan dengan pendanaan Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, sesuai dengan Addendum Surat Perjanjian Penugasan Dalam Rangka Pelaksanaan Program Direktorat Penelitian dan

Pengabdian kepada Masyarakat Nomor:  
007/Add/SP2H/PL/DIT.LITABMAS/V/2015,  
tanggal 12 Mei 2015

#### 6 Daftar Pustaka

- [1] Long Xie, Study on Automotive Embedded System Design of Engine, Brake and Security System, 2006
- [2] Isermann, R, "Diagnosis Methods for Electronic Controlled Vehicles", International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, Vol. 36, No. 2-3, 2001.
- [3] Jyh-Shing, Roger Jang, "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System," IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics, Vol. 23 No.3, 1993, pp. 665-685.