

Perancangan Sistem Pengaturan Perbandingan Udara Bahan Bakar (*Air Fuel Ratio*) pada Mesin Pengapian Busi (*Spark Ignition Engine*) Menggunakan Metode *Fuzzy*

Ratikno Susantya^{1),2)} dan Josaphat Pramudijanto²⁾

¹⁾ Departemen Mekanik dan CNC-VEDC,

Jln. Teluk Mandar Tromol Pos 5, Arjosari, Malang, Indonesia.

Email : ratikno_61@yahoo.com

²⁾ Laboratorium Teknik Pengaturan

Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

Email: jos@ee.its.ac.id

Abstrak

Pada mesin berpembakaran busi (*Spark ignition* mesin), proses pembakaran membutuhkan dua unsur utama, yakni udara dan bahan bakar. Perbandingan yang ideal antara kedua unsur itu adalah 14.7 : 1. Campuran dengan komposisi ini akan menghasilkan pembakaran yang sempurna, gas buangnya relatif bersih (ramah lingkungan).

Saat ini sudah banyak diproduksi kendaraan yang pembakarannya dikontrol dengan elektronik, sehingga pembakaran yang ideal bisa dicapai. Tetapi sayangnya kendaraan yang demikian itu masih relatif mahal, sementara yang konvensional (tanpa kontroler) juga terus diproduksi. Selain itu kendaraan-kendaraan tua, yang pengaturan perbandingan udara bahan bakar (*air fuel ratio*)-nya hanya menggunakan karburator (dengan hasil yang kurang sempurna), masih banyak dipakai orang.

Berkaitan dengan itulah, maka dalam penelitian ini dicoba dibuat suatu kontroler dengan metoda *fuzzy*, untuk mengatur perbandingan udara bahan bakar menjadi ideal. Sedangkan sebagai *plant* adalah mesin Kijang (konvensional), tipe 5K/1300 cc.

Kata Kunci: *Spark ignition* mesin, perbandingan udara bahan bakar (*air fuel ratio*), karburator, *fuzzy*.

1. Pendahuluan

Telah banyak penelitian yang dilakukan di bidang mesin otomotif, salah satunya karya Mochamad Saiful Rokim [1]. Dalam penelitian tersebut dikatakan bahwa *Fuzzy Logic Controller Look Up Table* mampu melakukan penyesuaian saat penyalaan dengan cepat pada mesin Toyota 5K, sehingga dapat meningkatkan performa mesin, hemat bahan bakar.

Penelitian di atas lebih mengarah pada pengupayaan efisiensi mesin. Sedangkan dalam hal ramah lingkungan belum diulas secara mendalam. Berkaitan dengan itulah, penulis ingin mengetahui lebih lanjut hal ramah lingkungan itu, yakni pengaturan perbandingan udara dan bahan bakar, hal yang berkaitan langsung terhadap gas buang yang dihasilkan oleh mesin dalam proses pembakarannya.

Penelitian ini diterapkan diterapkan pada *simultan injection system* pada mesin Toyota 5K, 1300 CC dengan metoda kontrol *Fuzzy*. Dimana dilakukan dengan langkah-langkah memodifikasi mesin yang tadinya masih sistem karburator dirubah menjadi sistem injeksi, memasang sensor-sensor dan merancang sistem beban. Objek penelitian yang telah dimodifikasi dilakukan identifikasi untuk mendapatkan model agar dapat dilakukan simulasi. Dari hasil simulasi didapatkan rancangan kontroler berbasis *fuzzy* yang akan direkomendasikan untuk diterapkan pada mesin konvensional yang telah dimodifikasi.

2. Teori Dasar [2],[3],[4],[5],[6]

Agar dapat bekerja, sebuah mesin otomotif memerlukan perbandingan campuran udara terhadap

bahan bakar atau *Air Fuel Ratio (AFR)* yang terbatas yaitu 5:1 s/d 20:1.

Kerja mesin otomotif memerlukan penyesuaian besar campuran secara spesifik. Misalnya saat mesin dingin campuran yang sesuai adalah lebih kaya dibandingkan setelah panas, karena adanya faktor pengembangan. Formasi campuran harus pada perbandingan yang paling sesuai untuk kondisi tersebut. Demikian pula saat kondisi-kondisi lainnya, seperti saat mulai, percepatan, pengendalian, penanjakan, dan penurunan.

Syarat agar bahan bakar dapat terbakar dengan baik tidak hanya memperhitungkan perbandingan campuran saja tetapi juga tingkat homogenitas campuran sangat berpengaruh.

Perbandingan campuran pada mesin otomotif bervariasi dan dapat diatur sesuai kebutuhan. Daya yang besar memerlukan campuran yang sedikit kaya (λ sekitar 0,85 s/d 0,95), tetapi untuk keperluan hemat bahan bakar campuran bisa sedikit miskin (λ sekitar 1 s/d 1,05). Apabila campuran terlalu kaya pemakaian bensin jadi boros dan dayanya juga turun, sementara bila campuran terlalu miskin daya mesin berkurang dan pemakaian bahan bakar juga menjadi lebih boros. Sehingga nilai $\lambda = 1$ merupakan pilihan paling baik untuk emisi gas buang, daya yang dihasilkan, dan konsumsi bahan bakar.

Untuk dapat mengatur dengan tepat perlu diketahui struktur bahan bakar yang digunakan. Terdapat tiga komponen penyusun utama bensin, yaitu :

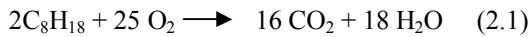
1. *Parrafin*, misalnya *Octana* C_8H_{18}
2. *Napthenes*, misalnya *Cyclohexane* C_6H_{12}

3. *Aromatic*, misalnya *Benzena* C₆H₆

Campuran ideal untuk pembakaran antara udara dan masing-masing senyawa penyusun bensin dapat dihitung dari massa relatif masing-masing atom dan kesetimbangan reaksi kimia. Massa relatif atom-atom penyusun bensin dan oksigen adalah :

- Carbon, C : 12
- Hidrogen, H : 1
- Oxygen, O : 16

Persamaan reaksi kesetimbangan untuk proses pembakaran sempurna dari *Octana* adalah:



massa molekul relatif dari 2 C₈H₁₈ adalah :

$$2 ((12 \times 8) + (1 \times 18)) = 228$$

massa molekul relatif dari 25 O₂ adalah :

$$25 (16 \times 2) = 800$$

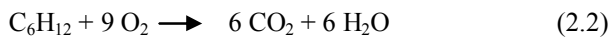
Sehingga perbandingan antara Oksigen dan Oktana untuk pembakaran sempurna adalah 800 : 228 = 3,5 : 1 dengan kata lain untuk membakar 1 Kg Oktana dibutuhkan 3,5 Kg Oksigen.

Kandungan Oksigen dalam udara bebas adalah 23% per satuan massa udara atau 21% per satuan volume, berarti setiap 1 Kg udara bebas mengandung 0,23 Kg Oksigen. Sehingga untuk mendapatkan 1 Kg Oksigen diperlukan 4,35 Kg Udara.

Campuran ideal antara udara dan bensin untuk proses pembakaran Oktana secara keseluruhan adalah (3,5 x 4,35) : 1 = 15,2 : 1.

Dengan perhitungan yang sama untuk *Cyclohexane* dan *Benzena* didapatkan :

***Cyclohexane* :**



Air - fuel ratio : 14,7 : 1

***Benzena* :**



Air - fuel ratio : 13,2 : 1

Perhitungan perbandingan di atas disebut perhitungan perbandingan ideal atau perbandingan *Stoichiometric*.

Nilai λ mengindikasikan seberapa besar penyimpangan jumlah udara dalam campuran dibandingkan dengan kebutuhan secara teori.

Tabel 1. Arti Nilai λ

Nilai λ	Keterangan
$\lambda \ll 1$	udara yang dimasukkan sangat kurang dari kebutuhan teori.
$\lambda < 1$	udara yang dimasukkan kurang dari kebutuhan teori.
$\lambda = 1$	udara yang dimasukkan sesuai dengan kebutuhan teori.
$\lambda > 1$	udara yang dimasukkan lebih banyak dari kebutuhan teori.
$\lambda \gg 1$	udara yang dimasukkan jauh lebih banyak dari kebutuhan teori.

Campuran sesuai adalah campuran yang menghasilkan daya paling baik dengan emisi gas buang yang ramah lingkungan untuk keadaan kerja tertentu.

Ketika mesin di-*start* dan masih dingin, komponen mesin juga masih dingin, banyak bensin yang telah disemprotkan kembali mengembun. Agar bensin yang tercampur dengan udara membentuk campuran yang mudah terbakar, bensin harus diperbanyak. Pertimbangan lain, saat mesin masih dingin, penyesuaian celah-celah pada komponen belum sebaik setelah temperatur kerja, kemungkinan ada kebocoran kompresi yang lebih besar, disamping faktor gesekan yang masih tinggi sehingga campuran yang sesuai adalah campuran kaya, agar menghasilkan daya lebih besar.

Selama temperatur berubah dari dingin menjadi panas, berangsur-angsur bensin dikurangi sampai pada perbandingan yang sesuai untuk kondisi panas. Pada temperatur kerja campuran dirancang paling ramah lingkungan, $\lambda = 0,9 - 1,1$. Hal ini dipertahankan pada berbagai kecepatan kerja mesin.

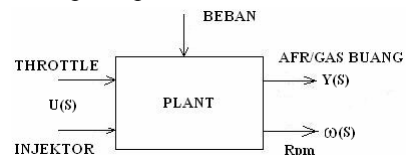
Saat percepatan, dimana katup gas dibuka dengan seketika, penambahan udara terjadi dengan seketika. Agar mesin tidak mati maka bahan bakar juga harus ditambahkan dengan seketika.

Untuk keadaan beban penuh (saat kendaraan menanjak/katup gas terbuka penuh) campuran harus menghasilkan daya maksimal, maka nilai yang sesuai $\lambda = 0,85 - 0,95$.

Tetapi saat kendaraan tidak memerlukan daya (saat jalan turun), jumlah bensin dapat dikurangi dari kebutuhan untuk penghematan bahan bakar.

3. Perancangan Sistem

Model umum *plant* pada penelitian ini bisa diskemakan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Model umum *plant* AFR

Berdasarkan data yang diperoleh dari identifikasi *plant*, dicari parameter modelnya, menggunakan metoda model pendekatan struktur ARX. Parameter ($b_0, b_1, a_0, a_1, p_0, p_1, q_0, q_1$) yang telah didapatkan itu bisa dilihat pada Tabel 2, 3, dan 4.

Tabel 2. Parameter $b_0, b_1, a_0, a_1, p_0, p_1, q_0, q_1$ beban 0

Throttle	b ₀	b ₁	a ₀	a ₁	p ₀	p ₁	q ₀	q ₁
3.33	136.3	-0.03066	673.3	250.9	7.29	-0.00164	12.42	179.3
3.43	102.8	-0.02314	348.9	261.3	17.31	-0.003894	30.23	188
3.52	71.58	-0.01611	127.6	289.1	5.776	-0.0013	11.65	118.7
3.52	129.2	-0.02906	244.5	309.7	3.66	-0.0008236	7.358	127.9
3.76	87.31	-0.01964	110.3	240	4.042	-0.0009094	13.97	187.2
3.77	26.19	-0.005893	30.72	227.8	0.4945	-0.0001113	2.453	192.8

Tabel 3. Parameter $b_0, b_1, a_0, a_1, p_0, p_1, q_0, q_1$ beban 1

Throttle	b_0	b_1	a_0	a_1	p_0	p_1	q_0	q_1
3.33	298.9	-0.06725	1092	353.4	72.58	-0.01633	146.4	199.5
3.43	691.8	-0.1557	1944	406.6	4.535	-0.00102	7.75	105.9
3.52	129.2	-0.02906	244.5	309.7	3.66	-0.0008236	7.358	127.9
3.52	58.45	-0.01315	93.47	166.2	3.501	-0.0007877	7.063	94.89
3.76	139.7	-0.03144	182.9	211.6	12.21	-0.002748	39.17	187.3
3.77	35.75	-0.008044	41.42	207.4	6.284	-0.001414	20.26	200

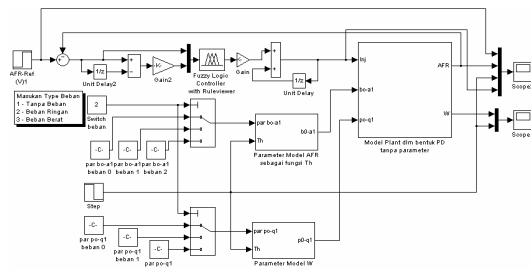
Tabel 4. Parameter $b_0, b_1, a_0, a_1, p_0, p_1, q_0, q_1$ beban 2

Throttle	b_0	b_1	a_0	a_1	p_0	p_1	q_0	q_1
3.33	95.43	-0.02247	1261	301.9	8.734	-0.001965	29.13	210.7
3.43	313.5	-0.07054	1965	255.7	42.03	-0.009456	110.7	205.6
3.52	38.35	-0.008628	69.86	144.2	1.824	-0.0004104	3.304	105.5
3.52	154.9	-0.03484	708.4	136	8.67	-0.001951	30.34	237.9
3.76	71.43	-0.01607	269.5	59.28	83.96	-0.01889	411.5	197.5
3.77	40.72	-0.009161	140.4	50.35	1.555	-0.0003498	8.657	330.8

Dari tabel parameter dapat dimengerti bahwa parameter adalah sebagai fungsi *throttle* dan beban. Hubungan antara parameter dengan beban dinyatakan dalam kelompok tabel 0, 1 dan 2. Sedangkan hubungan antara parameter dan *throttle* diasumsikan sebagai hubungan linier sebagai parameter $= \alpha_0 + \alpha_1 th$

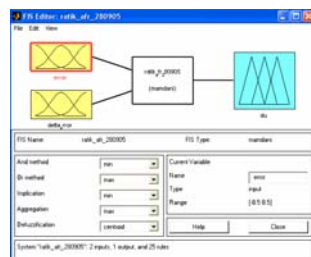
Dari data $b_0, b_1, a_0, a_1, p_0, p_1, q_0, q_1$, dengan menggunakan metoda MP3L, dipakai untuk mencari harga α_0 dan α_1 .

Model *plant* sistem yang didapatkan, dalam bentuk *simulink* yang telah diberi kontroler adalah sebagai berikut :



Gambar 2 Bentuk *simulink* model *plant* dengan kontrol fuzzy

FIS editor kontroler fuzzy yang dipakai adalah :



Gambar 3 *FIS* editor

Sedangkan *Rule basenya* adalah sebagai berikut :

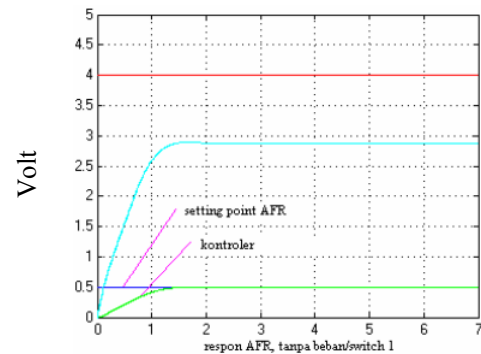
If error is BN and delta_error is BN then du is BN
If error is BN and delta_error is SN then du is BN
If error is BN and delta_error is Z then du is BN
If error is BN and delta_error is SP then du is SN
If error is BN and delta_error is BP then du is SN
If error is BN and delta_error is BN then du is BN

If error is SN and delta_error is SN then du is BN
If error is SN and delta_error is Z then du is SN
If error is SN and delta_error is SP then du is SN
If error is SN and delta_error is BP then du is Z
If error is Z and delta_error is BN then du is SN
If error is Z and delta_error is SN then du is Z
If error is Z and delta_error is Z then du is Z
If error is Z and delta_error is SP then du is Z
If error is Z and delta_error is BP then du is SP
If error is SP and delta_error is Z then du is SP
If error is SP and delta_error is SN then du is Z
If error is SP and delta_error is Z then du is SP
If error is SP and delta_error is SP then du is SP
If error is SP and delta_error is BP then du is SP
If error is BP and delta_error is BN then du is SP
If error is BP and delta_error is SN then du is SP
If error is BP and delta_error is Z then du is BP
If error is BP and delta_error is SP then du is BP
If error is BP and delta_error is BP then du is BP

4. Simulasi dan analisa hasil

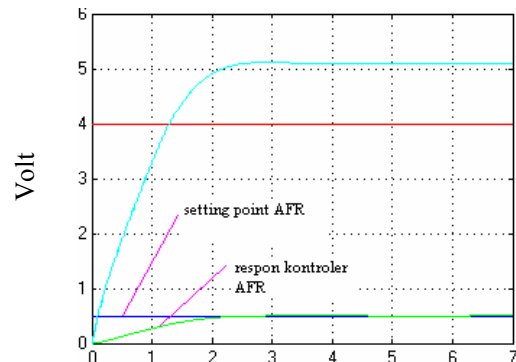
Simulasi dilakukan dalam 3 keadaan sistem pembebanan. Hasilnya seperti berikut :

a. Pada keadaan tanpa beban, respon kontroler sangat bagus, bisa mendekati *setting point*, yakni 0,5 Volt.



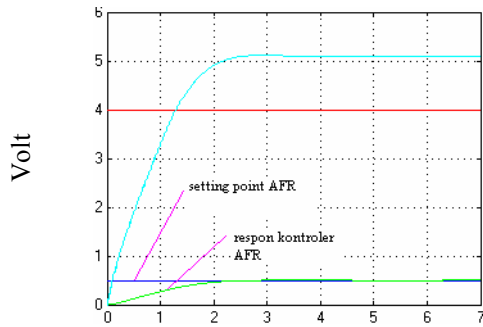
Gambar 4 Grafik respon *AFR*, beban 0, setelah diberi kontroler

b. Pada keadaan beban ringan ini kontroler masih bisa mendekati *setting point*, ada *error* tetapi relatif kecil.



Gambar 5 Grafik respon *AFR*, beban 1, setelah diberi kontroler.

c. Pada keadaan beban berat ini kontroler juga masih bisa mendekati *setting point*, ada *error* tetapi relatif kecil pula.



Gambar 6 Grafik *AFR*, beban 2, setelah diberi kontroler

5. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil setelah penelitian adalah sebagai berikut:

- Kontroler *Fuzzy* pada Pengaturan Perbandingan Udara Bahan Bakar pada *Spark Ignition* Mesin dapat diterapkan.
- Saat mesin bekerja tanpa beban, kontroler bisa menyesuaikan setting point *AFR*, yakni 0,5 Volt.
- Ketika dilakukan penambahan beban, kontroler masih bisa menyesuaikan, walaupun ada penyimpangan tetapi relatif kecil.
- Ketika diberi beban berat, penyimpangan respon memang meningkat dibanding sewaktu tanpa beban dan beban ringan, tetapi juga tidak terlalu besar.

Hal yang dapat menjadi saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah :

- Saat pengambilan data, jika mesin tidak dipasang pada *test bench* (masih menggunakan unit pengganti beban buatan sendiri), alat itu harus disempurnakan/diperbaiki atau menggunakan sistem/metoda lain. Sehingga data yang diperoleh bisa relatif akurat.
- Perlu penelitian lanjutan yang mempertimbangkan pengaturan udara pada *intake manifold* saat mesin diberi beban, sehingga *AFR* bisa relatif sempurna.

6. Ucapan Terimakasih

Terimakasih penulis sampaikan kepada segenap pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian sampai dengan selesai.

7. Daftar Pustaka

- [1] Mochamad Saiful Rokim, Pengaturan Saat Penyalaan Pada Spark Ignition Mesin Menggunakan Look Up Table Berbasis Fuzzy Logic Controller. **Tesis**. Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, 2004.
- [2] Tom Denton, **Automobile Electrical and Electronic System**, Colchester Institute, Colchester, Essex. 1995.
- [3], **Kombiniertes Zuend-und Benzinein spritzsystem mit Lambda-Regelung (Motronik)**, Robert Bosch Gmbh Stuttgart, Jerman, 1985.

- [4], **Gasoline Fuel-Injection System L-Jetronik**, Robert Bosch Gmbh Stuttgart, Jerman, 1999.
- [5], **Gasoline-Engine Management**, Robert Bosch Gmbh Stuttgart, Jerman, 2001.
- [6] Junisra., **Modul pelatihan Sistem Injeksi Bensin**, Dept Automotif VEDC-Malang. 1987.
- [7], **Motronik Engine Management**, Robert Bosch Gmbh Stuttgart, Jerman, 1994.
- [8], **Otomotive Electric/Elektronik System**, Robert Bosch Gmbh Stuttgart, Jerman, 1995.
- [9] Ismanto, **Modul Pelatihan Sistem Pengapian**, Dept Automotif VEDC-Malang. 2000.
- [10] H. Gerschler, **Fachkunde Kraftfahr zeugtechnik**, Europa-Lehrmittel, Stuttgart. 1994.
- [11] Sri Kusumadewi, **Analisis Desain Sistem Fuzzy**, Graha Ilmu, 2002
- [12] Katsuhiko, Ogata, **Teknik Kontrol Automatik I**, Erlangga, 1997.
- [13] Pasino, Kevin, **Fuzzy Control**, Addison Wesley, Inc., 1998.
- [14] Koko Joni dan Josaphat Pramudijanto, Perancangan Sistem Pengaturan Perbandingan Udara dan Bahan Bakar (Air-Fuel Ratio) Menggunakan Metode ANFIS. **Prosiding Seminar Sitia 2005**, Jurusan Teknik Elektro FTI ITS, 2005.

RIWAYAT PENULIS



Ratikno Susantya dilahirkan pada tahun 1961 di Bantul, Yogyakarta. Lulus S1 dari Jurusan Mesin Produksi FPTK IKIP Yogyakarta tahun 1985. Bidang Mekanik dan CNC yang ditekuni saat ini.



Josaphat Pramudijanto dilahirkan di Pasuruan. Lulus dari bidang studi Teknik Sistem Pengaturan Jurusan Teknik Elektro ITS tahun 1989. Kesempatan mengikuti program S2 di AIT Thailand diselesaikan pada bulan Desember 1997. Bidang PLC dan kontrol pada mesin manufaktur merupakan salah satu bidang yang ditekuni saat ini, selain topik yang terkait dengan implementasi suatu metoda pada plan nyata.

