

Kode>Nama Rumpun Ilmu : 431 / Teknik Mesin

**LAPORAN
PENELITIAN DOSEN**



PEMODELAN *TRANSMISSION CONTROL SYSTEM* DAN *BRAKE CONTROL SYSTEM* PADA TEKNOLOGI INJEKSI *GASOLINE ENGINE*

Oleh :

1. Suroto Munahar, ST., MT NIDN. 0620127805 Fakultas Teknik
2. Muji Setiyo, ST., MT NIDN. 0627038302 Fakultas Teknik

**Dibiayai LP3M Universitas Muhammadiyah Magelang
Tahun Anggaran 2016**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG
2016**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : *Pemodelan Transmission Control System dan Brake Control System Pada Teknologi Injeksi Gasoline Engine.*

Peneliti/ Pelaksana

a. Nama Lengkap : Suroto Munahar, ST., MT
b. NIDN : 0620127805
c. Jabatan Fungsional : -
d. Program Studi : Mesin Otomotif
e. Nomor HP : 085740742923
f. Alamat surel (e-mail) : surotomnhr@gmail.com

Anggota Peneliti (1)

a. Nama Lengkap : Muji Setyo, ST., MT.
b. NIDN : 0627038302
c. Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Magelang

Tahun Pelaksanaan : Tahun Ke 1 dari rencana 1 tahun

Biaya Tahun Berjalan : Rp. 4.000.000,-


Biaya Keseluruhan : Rp. 4.000.000,-

Mengetahui/menyetujui
Dekan Fakultas Teknik




Yun Arifatul Fatimah, ST, MT, Ph.D
NIP/NIK. 987408139

Magelang, 30 November 2016
Ketua Peneliti


Suroto Munahar, ST, MT.
NIP/NIK. 157808164

Menyetujui,
Ketua LP3M

Universitas Muhammadiyah Magelang




(Dr. Suhswiyadi, M.Ag)
NIP/NIK. 966610111

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | ii |
| DAFTAR ISI..... | iii |
| DAFTAR GAMBAR | v |
| DAFTAR TABEL..... | vi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | vii |
| RINGKASAN | viii |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Permasalahan..... | 3 |
| 1.3 Rumusan Masalah | 4 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.5 Batasan Masalah Penelitian..... | 4 |
| 1.6 Targer Luaran | 4 |
| 1.7 Kontribusi terhadap Ilmu Pengetahuan | 5 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 <i>Engine</i> | 7 |
| 2.2 <i>Air to Fuel Ratio (AFR)</i> | 7 |
| 2.3 <i>Brake System</i> | 8 |
| 2.4 Sistem kontrol..... | 8 |
| BAB 3. METODE PENELITIAN..... | 10 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 10 |
| 3.2 Sistematika Penelitian | 10 |
| 3.3 Diagram Alir Penelitian..... | 13 |
| 3.4 Metode Penelitian..... | 15 |
| 3.5 Rancangan Pemodelan <i>Engine</i> | 15 |
| 3.5.1 Sistem Kontrol <i>AFR</i> | 15 |
| 3.5.2 <i>AFR Modeling</i> Matematis | 15 |
| 3.5.3 <i>Gasoline Engine Modeling</i> | 16 |
| 3.5.4 <i>Transmission Control System Modeling</i> | 18 |

| | |
|---|----|
| 3.7 Controller Model | 20 |
| BAB 4. HASIL DAN ANALISA | 22 |
| 4.1 Sistem <i>Controller</i> | 23 |
| 4.3 DeaccelerasiKendaraan Posisi Kecepatan Rendah Tanpa <i>Brake System</i> Aktif | 29 |
| 4.4 Deaccelerasi Kendaraan Posisi Kecepatan Tinggi Tanpa/dan Dengan <i>Brake</i> <i>System</i> Aktif | 30 |
| BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN | 32 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 32 |
| 5.2 Saran..... | 32 |
| DAFTAR PUSTAKA | 34 |
| LAMPIRAN..... | 36 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1.1 Grafik Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Tahun 1987 sampai 2013 (Badan Pusat statistik, 2015). | 2 |
| Gambar 3.1 Diagram Fishbone Untuk Menganalisa Akar Permasalahan Efisiensi Bahan Bakar..... | 10 |
| Gambar 4.1 Diagram Block <i>Vehicle Modeling</i> | 22 |
| Gambar 4.2 <i>Vehicle modeling</i> dengan <i>Software Matlab/Simulink</i> | 23 |
| Gambar 4.3 <i>Membership Function Engine Speed</i> | 24 |
| Gambar 4.4 <i>Membership Function Throttle Angle</i> | 24 |
| Gambar 4. 5 <i>Membership Function Vehicle Speed</i> | 25 |
| Gambar 4.6 <i>Membership Function Brake Sensor</i> | 25 |
| Gambar 4.7 <i>Posisi Throttle Valve</i> (a) dan <i>Signal Brake</i> (b). | 27 |
| Gambar 4. 8 Kondisi <i>Engine Speed Saat Deaccelerasi</i> (a) dan Perubahan Kecepatan Kendaraan (b)..... | 28 |
| Gambar 4.9 Kondisi <i>AFR Engine</i> (a) dan <i>Fuel Consumption</i> (b)..... | 28 |
| Gambar 4.10 <i>Posisi Throttle Valve</i> (a) dan <i>Signal Brake</i> (b)..... | 29 |
| Gambar 4.11 Kondisi <i>Engine Speed</i> (a) dan <i>Vehicle Speed</i> (b)..... | 29 |
| Gambar 4.12 Kondisi Dinamika <i>AFR</i> (a) dan <i>Fuel Consumption</i> (b)..... | 30 |
| Gambar 4.13 <i>Posisi Throttle Valve</i> | 30 |
| Gambar 4.14 <i>Posisi Engine Speed</i> (a) dan <i>Vehicle Speed</i> (b)..... | 31 |
| Gambar 4.15 Nilai <i>AFR</i> (a) dan <i>Fuel Consumption</i> (b)..... | 31 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1.1 Rencana Target Capain. | 4 |
| Tabel 4.1 <i>Fuzzy set Decision</i> | 26 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1. <i>Driver Dynamics Modeling</i> | 37 |
| Lampiran 2. <i>Engine Modeling</i> | 38 |
| Lampiran 3. <i>Vehicle Modeling</i> | 39 |
| Lampiran 4. <i>Transmission Modeling</i> | 40 |
| Lampiran 5. <i>Vehicle Dynamic Modeling</i> | 41 |
| Lampiran 6. <i>Transmission and Brake Control Modeling</i> | 42 |
| Lampiran 7. <i>Controller Modeling</i> | 43 |
| Lampiran 8. <i>Parameter Vehicle Modeling dengan Software Matlab</i> | 44 |
| Lampiran 9. <i>Ratio Selective Gear Transmission</i> | 45 |
| Lampiran 10. Biodata Ketua/Anggota Tim Peneliti/Pelaksana..... | 46 |
| Lampiran 11. Draft Paper..... | 52 |

RINGKASAN

Perkembangan sistem kontrol teknologi *drive train* kendaraan, saat ini mengalami perubahan sangat signifikan. Orientasi teknologi mengarah kepada keamanan dan kenyamanan pengguna. Hal ini disebabkan oleh tuntutan dari *customer* yang menginginkan kendaran aman dan nyaman untuk dikendarai. Sistem otomatisasi menjadi salah satu orientasi perkembangan teknologi *drive train*. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan, teknologi *drive train* tidak hanya dapat memberikan rasa aman dan nyaman tetapi dapat meningkatkan prestise pengguna, akan tetapi kenyataan saat ini teknologi *drive train* masih memiliki beberapa kelemahan. Kelemahan yang ada diantaranya belum mampu meningkatkan efisiensi kinerja *engine*. Bahkan teknologi *drive train* yang menggunakan sistem otomatis efisiensi *engine* menurun. Hal ini terlihat dengan kenaikan konsumsi bahan bakar. Berdasarkan permasalahan yang ada, sangat perlu diadakan penelitian yang dapat membuat sistem kontrol *drive train* untuk meningkatkan efisiensi *engine*. Salah satu kontrol *drive train* yang dapat dikembangkan yaitu *transmission control system* dan *brake control system*.

Metode yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi *engine*, ketika kendaraan sedang beroperasi dengan *speed gear* dan dilakukan pengereman maka sistem kontrol *economiser* akan bekerja. Sistem kontrol *economiser* bekerja untuk mengatur bahan bakar yang masuk ke *engine*. Sistem ini akan mengurangi bahan bakar pada saat kendaraan dilakukan pengereman dan sistem transmisi terhubung. Bahan bakar yang diinjeksikan ke *engine* akan dikontrol oleh *ECU control system*. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi *engine* dengan kendali *transmission control system* dan *brake control system* yang bersifat *modeling*.

Hasil penelitian *modeling* yang telah dilakukan didapati beberapa kondisi. Pertama, kendaraan berjalan pada kecepatan tinggi baik dengan pengereman atau tanpa pengereman terjadi perubahan nilai *AFR* sangat besar. Kedua, kendaraan berjalan dengan kecepatan rendah dengan pengereman terjadi perubahan nilai *AFR* sangat besar. Ketiga, kendaraan berjalan dengan kecepatan rendah tanpa pengereman tidak terjadi perubahan nilai *AFR*. Peningkatan nilai *AFR* mengilustrasikan kondisi peningkatan efisiensi bahan bakar. Hal ini menunjukkan bahwa proses peningkatan efisiensi bahan bakar ada empat step. Melihat hasil simulasi *modeling* yang telah dirancang sangat berpotensi untuk diterapkan dalam aplikasi nyata.

Kata Kunci : *Transmission control system, brake control system, engine gasoline, fuel system, drive train.*

BAB 1. PENDAHULUAN

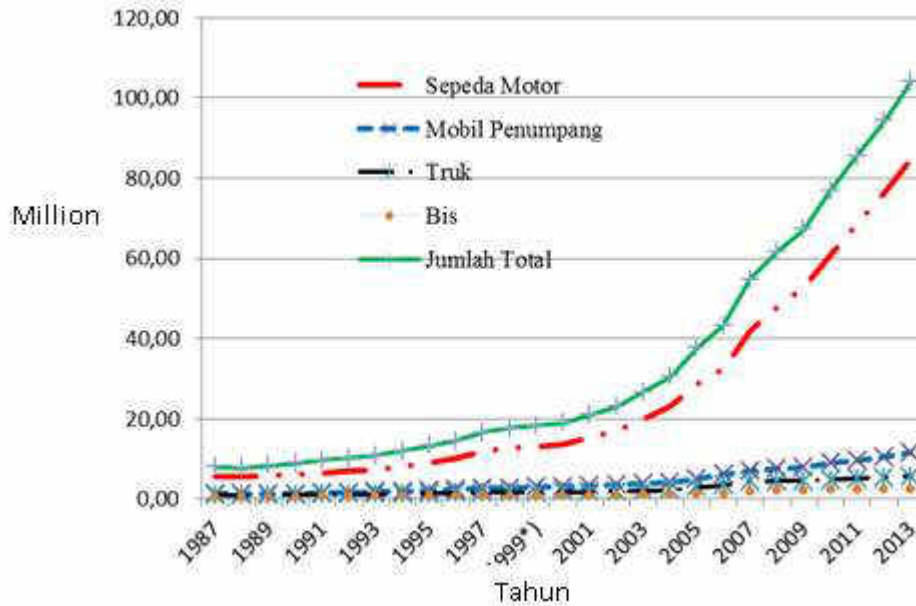
1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi *drive train* kendaraan saat ini mengalami perubahan sangat signifikan. Orientasi teknologi mengarah pada keamanan dan kenyamanan pengendara. Hal ini disebabkan oleh tuntutan *customer* yang menginginkan kendaraan aman dan nyaman untuk dikendarai. Sistem otomatisasi menjadi salah satu orientasi perkembangan teknologi *drive train*. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan, teknologi *drive train* tidak hanya dapat memberikan rasa aman dan nyaman tetapi dapat meningkatkan prestise pengendara.

Teknologi *drive train* yang berkembang saat ini masih memiliki kelemahan, diantaranya teknologi *drive train* belum dapat meningkatkan efisiensi kinerja *engine*. Teknologi *drive train* yang menggunakan sistem otomatis pada tipe tertentu, menurunkan efisiensi *engine*. Penurunan terlihat dengan adanya kenaikan konsumsi bahan bakar. Efisiensi *engine* saat ini menjadi kata kunci dari perkembangan otomotif dunia.

Permasalahan efisiensi *engine* dilatar belakangi oleh kenaikan harga minyak dunia. Tahun 2004 sampai tahun 2014 harga minyak mentah mengalami peningkatan sangat signifikan menurut *Data Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)* (Kolesnikov, 2014). Ketersediaan minyak dunia saat ini tidak mengalami kenaikan. Pasokan minyak mentah stok tidak mengalami penambahan sejak tahun 2005 (Tverberg, 2012), bahkan pada periode selanjutnya mengalami penurunan. Imbas dari kejadian ini menjadi penyebab kenaikan harga minyak. Kenaikan ini menjadi penyebab utama keterpurukan ekonomi diberbagai sektor terutama sektor transportasi. Keterpurukan ekonomi bidang transportasi yang menyebabkan kenaikan harga minyak.

Disisi lain jumlah kendaraan mengalami kenaikan sangat signifikan. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Indonesia tahun 2013 jumlah kendaraan telah mencapai 104.118.969 unit terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Grafik Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Tahun 1987 sampai 2013 (Badan Pusat statistik, 2015).

Berdasarkan isu internasional, bahan bakar fosil semakin berkurang serta mengalami penurunan produksi. Permasalahan di atas, sangat perlu dikembangkan teknologi kendaraan yang memiliki efisiensi bahan bakar tinggi, sehingga dapat menghemat konsumsi bahan bakar, dalam meningkatkan efisiensi *engine* ada beberapa metode.

Metode pertama dengan pengaturan *Air to Fuel Ratio - AFR* atau rasio antara campuran bahan bakar dengan udara (Ebrahimi dkk, 2012; Zhaidkk 2009; Yildiz dkk, 2010). Penelitian ini melakukan pengendalian *AFR* untuk dapat mencapai nilai rasio yang ideal, sehingga dengan pencapaian ini nilai efisiensi bahan bakar dapat ditingkatkan, namun penelitian masih bersifat kontrol *internal engine*.

Metode kedua dengan meningkatkan optimalisasi *Spark Advance-SA* (Zhao dkk, 2013). Metode optimalisasi *SA* adalah suatu metode untuk mengendalikan penyalaan api pada busi dengan tegangan tinggi saat piston pada beberapa derajat sebelum titik mati atas piston sesuai dengan kondisi mesin.

Metode ketiga dengan pengembangan sistem teknologi *hybrid* (Kheir dkk, 2004). Peningkatan efisiensi bahan bakar menggunakan metode *hybrid system* ini dengan mengkolaborasikan antara mesin bensin dan motor listrik. Sistem yang aplikasikan diantaranya menggunakan dengan *fuzzy logic controller*. Kekurangan

metode *hybrid engine* memiliki performa yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan performa *gasoline engines* serta masih memiliki harga sangat mahal.

Metode keempat menggunakan penggunaan energi alternatif, diantaranya dengan penambahan *ethanol* (Mauryadkk, 2011), *methanol* (Pourkhesalian dkk, 2010) maupun dengan sistem lainnya. Penggunaan energi alternatif untuk *gasoline engine* saat ini mulai dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan meningkatkan performa *engine*. Metode ini memiliki kelemahan yaitu *resource* bahan bakar alternatif sangat terbatas jumlahnya, dari beberapa metode yang ada, cara paling sesuai di negara ini dalam peningkatan efisiensi bahan bakar adalah dengan pengaturan *AFR*, karena metode ini membutuhkan biaya tidak terlalu mahal dan dapat diaplikasikan di kendaraan secara meluas.

Teknologi *AFR* saat ini masih memiliki permasalahan, diantaranya teknologi ini dikuasai oleh negara maju yang lebih kuat dan bersifat *black box*. Proses pengaturan *AFR* sebagian besar dalam ruang lingkup *internal engine* belum mengintegrasikan dengan sistem *eksternal engine*. Melihat permasalahan di atas perlu diadakan penelitian untuk pengembangan iptek yang dapat mengembangkan teknologi pengaturan *AFR* dengan mengintegrasikan *eksternal sistem engine*.

Drive train sangat berpotensi untuk dikembangkan dalam mengendalikan sistem bahan bakar dengan metode *AFR control*. *Drive train* dalam kendaraan memiliki beberapa bagian yaitu *clutch*, *transmission*, *propeller shaft*, *drive shaft*, *differential* dan roda. *Transmission* atau transmisi salah satu bagian dari *drive train* yang dapat dikembangkan untuk mengendalikan efisiensi *engine* yang dikombinasikan oleh *brake control system*. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kontrol untuk meningkatkan efisiensi *engine* dengan *transmission control system* dan *brake control system*.

1.2 Permasalahan

Orientasi perkembangan teknologi *drive train* mengarah pada keamanan dan kenyamanan berkendara, tetapi belum mampu meningkatkan efisiensi *engine*. Untuk itu perlu diadakan penelitian dalam meningkatkan efisiensi

engine. Peningkatan ini diantaranya dengan pengaturan sistem bahan bakar yang dikontrol oleh *transmission control system* dan *brake control system*.

Melihat permasalahan ini sangat perlu diadakan penelitian untuk membuat sistem kontrol *engine* yang terintegrasi oleh *drive train/transmission control system* serta *brake control system* guna meningkatkan efisiensi *engine*.

1.3 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana merancang pemodelan sistem kontrol untuk meningkatkan efisiensi *engine* dengan *transmission control system* dan *brake control system*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah membuat rancangan pemodelan sistem kontrol untuk meningkatkan efisiensi *engine* dengan *transmission control system* dan *brake control system*.

1.5 Batasan Masalah Penelitian

1. Sistem kontrol yang dirancang bersifat *modeling*.
2. *Engine* yang digunakan dengan kapasitas 1500 cc dengan teknologi injeksi.
3. *Aplikasi* untuk merancang menggunakan *Software MATLAB/Simulink*.
4. Sistem kontrol *drive train* yang dikembangkan berupa *transmission control system* yang diintegrasikan dengan *brake control system*.
5. Komputer yang digunakan simulator yaitu laptop spesifikasi *RAM 4 GB*.

1.6 Targer Luaran

Luaran yang diharapkan dari penelitian ini ada beberapa yang ingin dicapai. Rencana target capain seperti pada Tabel 1.1

Tabel 1.1 Rencana Target Capain.

| NO | Jenis Luaran | Indikator Capaian |
|----|---|-------------------|
| 1 | Publikasi ilmiah di jurnal nasional/internasional | <i>Published</i> |

Terusan tabel 1.1

| NO | Jenis Luaran | Indikator Capaian |
|----|--|--|
| 2 | Modeling sistem kontrol <i>engine</i> yang diintegrasikan antara <i>transmissioncontrol system</i> dan <i>brake control system</i> . | Rancangan <i>modeling</i> sistem kontrol |

1.7 Kontribusi terhadap Ilmu Pengetahuan

Hasil penelitian dapat ini dimanfaatkan dan dikembangkan untuk teknologi sistem kontrol yang terintegrasi dengan kontrol *drive train* guna meningkatkan efisiensi *engine*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Orientasi teknologi *drive train* kendaraan saat ini mengalami perubahan sangat signifikan. Perubahan ini disebabkan oleh tuntutan dari *customer* yang menginginkan kendaraan aman dan nyaman untuk dikendarai. Faktor lain orientasi teknologi otomotif dunia disamping mengarah pada keamanan dan kenyamanan juga mengarah pada efisiensi, kinerja dan emisi (Kheir dkk, 2004). Orientasi perkembangan teknologi *drive train* selanjutnya mengarah pada sistem otomatisasi. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan, teknologi *drive train* tidak hanya dapat memberikan rasa aman dan nyaman tetapi dapat meningkatkan prestise pengemudi. Teknologi *drive train* yang berkembang saat ini masih memiliki kelemahan, diantaranya teknologi *drive train* yang berkembang saat ini belum dapat meningkatkan efisiensi kinerja *engine*. Perkembangan teknologi *drive train* /kontrol sistem transmisi sudah menggunakan sistem *intelligent* tetapi kebanyakan digunakan untuk kendaraan listrik (Fang dkk, 2015; Mousavi dkk, 2015; Tseng dkk, 2015).

Teknologi *drive train* yang menggunakan sistem otomatis pada tipe tertentu, banyak menurunkan efisiensi *engine*. Penurunan terlihat dengan adanya kenaikan konsumsi bahan bakar. Penelitian peningkatan efisiensi sistem *drive train* telah banyak dilakukan (Zhou dkk, 2014; Vasca dkk, 2011). Teknologi kendaraan yang efisiensi menjadi salah satu kata kunci dari perkembangan otomotif. Permasalahan ini dilatar belakangi oleh beberapa faktor. Faktor pertama ketersediaan minyak dunia yang saat ini tidak mengalami keterbatasan. Pasokan minyak mentah stagnan tidak mengalami penambahan sejak tahun 2005 (Tverberg, 2012). Faktor kedua, kenaikan harga minyak dunia. Tahun 2004 sampai tahun 2014 harga minyak mentah mengalami peningkatan sangat signifikan menurut *Data Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)* (Kolesnikov, 2014). Bahkan pada periode selanjutnya mengalami penurunan. Imbas dari kejadian ini menjadi penyebab kenaikan harga minyak. Kenaikan harga ini menjadi penyebab utama keterpurukan ekonomi diberbagai sektor terutama sektor transportasi. Keterpurukan ekonomi bidang transportasi yang

menyebabkan kenaikan harga minyak. Disisi lain jumlah kendaraan mengalami kenaikan sangat signifikan.

Drive train sangat berpotensi untuk dikembangkan dalam mengendalikan sistem bahan bakar dengan metode *AFR control*. *Drive train* dalam kendaraan memiliki beberapa bagian yaitu *clutch*, *transmission*, *propeller shaft*, *drive shaft*, *differential* dan roda. *Transmission* atau transmisi salah satu bagian dari *drive train* yang dapat dikembangkan untuk mengendalikan efisiensi *engine* yang dikombinasikan oleh *brake control system*. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kontrol untuk meningkatkan efisiensi *engine* dengan *transmission control system* dan *brake control system*.

2.1 Engine

Engine berbahan bakar bensin merupakan bagian dari *internal combustion engine*. *Internal combustion engine* adalah suatu mekanisme yang merubah energi panas menjadi energi gerak dengan pemanfaatan pembakaran di dalam *engine*. *Internal Combustion Engine* terbagi menjadi beberapa tipe yaitu *gasoline engine*, *diesel engine* dan *jet engine*. *Gasoline engine* atau *spark ignition engine* dapat juga dikenal dengan mesin bensin. *Gasoline engine* merupakan mesin pembakaran dalam yang bekerja dengan pemanfaatan tenaga dihasilkan oleh hasil pembakaran bensin dengan udara.

2.2 Air to Fuel Ratio (AFR)

AFR merupakan perbandingan antara udara dengan bahan bakar/bensin dengan perbandingan tertentu. *AFR* secara ideal memiliki perbandingan 14,67 : 1 (Robert, 2002; Wang dkk,2006). Kondisi ini memiliki karakteristik yaitu pembakaran dalam *engine* yang paling optimal, performa *engine* baik, dan emisi *gas buang* rendah (Heywood, 1988). Perbandingan 14,67 : 1 memiliki arti yaitu perbandingan antara 14,67 satu satuan udara dan 1 satu satuan bahan bakar. *AFR* pada *engine* kendaraan dinyatakan dengan simbol *lamda* (λ). *Lamda* (λ) adalah jumlah udara / jumlah syarat udara menurut teori. *Lamda* (λ) =1 adalah jumlah udara masuk ke dalam silinder *engine* sama dengan jumlah syarat udara dalam teori. *Lamda* (λ) < 1 jumlah udara yang masuk lebih kecil dari jumlah syarat udara

dalam teori, pada situasi ini *engine* kekurangan udara, campuran gemuk, dalam batas tertentu dapat meningkatkan daya *engine*. $\lambda > 1$ jumlah udara yang masuk lebih banyak dari syarat udara teoritis, saat ini *engine* kelebihan udara, campuran kurus dan daya kurang. $\lambda > 1,2$ dalam situasi seperti ini campuran bahan bakar dan udara sangat kurus sehingga pembakaran dimungkinkan tidak dapat terjadi pada tempat yang lebih luas. *AFR* campuran kurus yang aman pada mesin saat berputar pada putaran rendah secara umum yaitu tidak melebihi 21:1, namun batas maksimal campuran kurus yang diijinkan 22:1 (Aleiferis dkk, 2004).

2.3 Brake System

Sistem rem/ *brake system* merupakan sistem yang penting dari suatu kendaraan. Sistem rem berfungsi sebagai alat pengaman pada kendaraan yang didesain untuk mengurangi kecepatan dan menghentikan kendaraan. Pada sistem rem, secara umum tenaga pengereman diperoleh dari gaya gesek *brake shoes* pada bidang gesek yang berputar bersama-sama dengan roda.

2.4 Sistem kontrol

Sistem kontrol adalah suatu sistem yang digunakan untuk mengelola *input* sehingga mewujudkan suatu kerja /*output*. Sistem kontrol yang sering digunakan ada beberapa tipe yaitu sistem kontrol *open loop* dan sistem kontrol *closed loop*. Sistem kontrol *closed loop* sangat sesuai untuk menangani permasalahan sistem *nonlinear* tinggi dan sistem *time delay* yang terjadi pada *engine* pembakaran dalam.

Sistem kontrol *closed loop* dalam kontrol *engine* merupakan sistem yang memberikan umpan balik dari *output* yang diolah menjadi referensi *input*. Sistem kontrol *open loop* maupun *closed loop* berkontribusi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Demikian juga dalam mengontrol sistem *engine* untuk mengendalikan torsi menggunakan *torque feedback*.

2.4.1 Sistem nonlinear

Sebuah sistem dapat dikendalikan jika sistem yang terjadi berupa sistem linear. Fenomena *engine* pembakaran dalam yang terjadi berupa

sistem *nonlinear*. Pendekatan yang perlu dilakukan dalam permasalahan ini yaitu dengan permodelan *nonlinear* (Togun N.K. dkk, 2012).

2.4.2 *Transmission system*

Transmisi merupakan bagian dari drive train yang mengatur kecepatan kendaraan berdasarkan kebutuhan berkendara. Transmisi memiliki beberapa tipe dan model yang saling berhubungan.

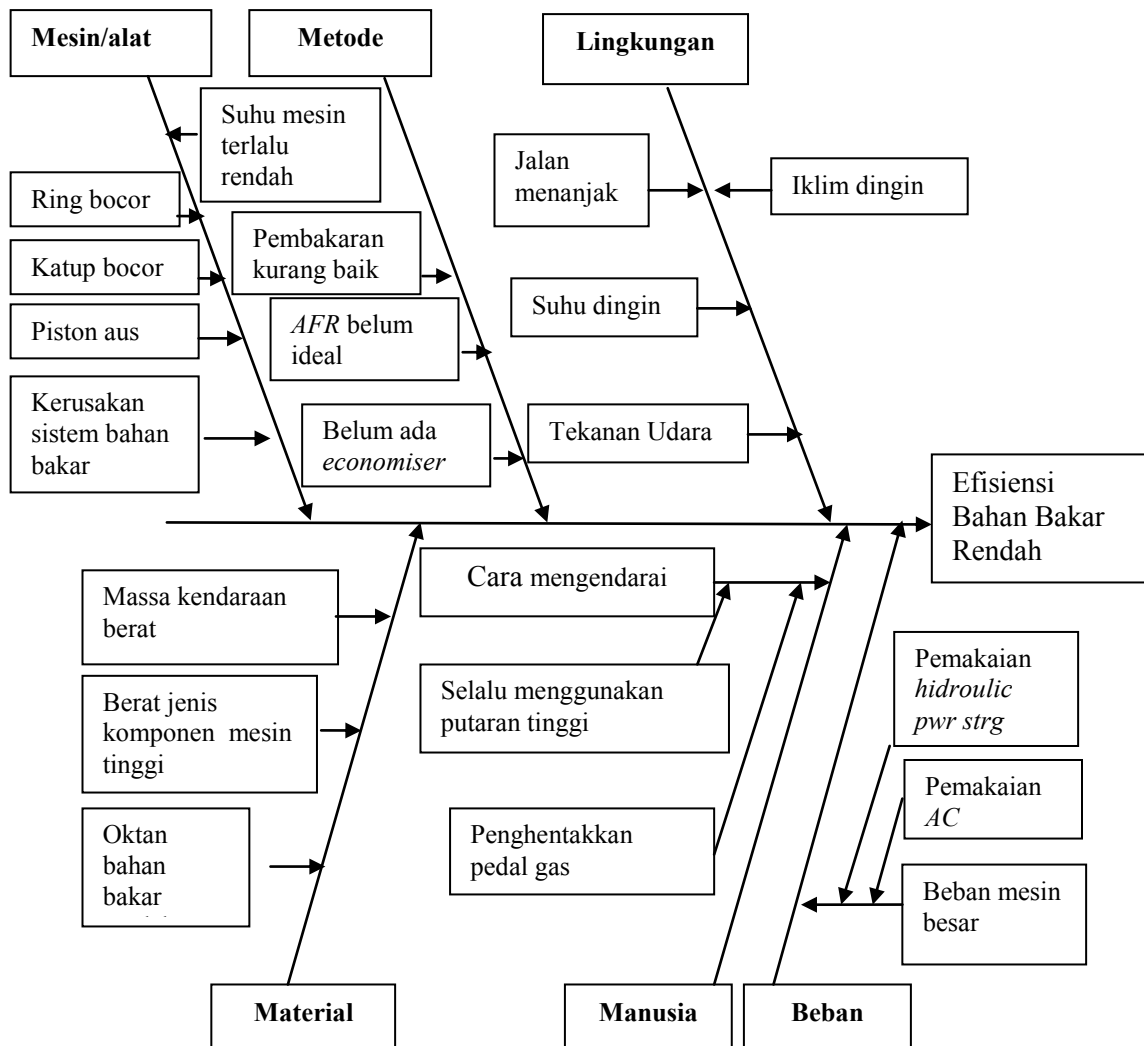
BAB 3.METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian direncanakan selama lima bulan, dimulai bulan April sampai dengan Agustus 2016. Lokasi penelitian di Laboratorium Teknik Otomotif dan Laboratorium Sistem Otomasi Industri.

3.2 Sistematika Penelitian

Analisa permasalahan efisiensi bahan bakarsecara terperinci dapat terlihat padadiagram *fishbone* Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram *Fishbone* Untuk Menganalisa Akar Permasalahan Efisiensi Bahan Bakar.

Efisiensi bahan bakar pada kendaraan memiliki banyak faktor yang mempengaruhinya, diantaranya pertama faktor lingkungan. Lingkungan sangat berpengaruh terhadap efisiensi bahan bakar. Kondisi jalan menanjak, iklim dingin, suhu dingin dan tekanan udara tinggi menyebabkan konsumsi bahan bakar naik. Ketika kendaraan melewati jalan menanjak *engine* bekerja dengan kondisi membutuhkan tenaga besar, sehingga suplai bahan bakar diperbanyak. Kondisi iklim / suhu dingin sebagian besar bahan bakar akan menempel pada dinding *intake manifold*. Proses pencampuran bahan bakar secara homogen sulit tercapai. Bahan bakar akan mengalami keterlambatan masuk ke *engine*, sehingga mesin ketika pertama kali dihidupkan dan mesin beroperasi akan mengalami gangguan. Hal ini dapat diatasi dengan penambahan bahan bakar. Tekanan udara tinggi mendorong udara yang masuk ke *engine* mengalami peningkatan, sehingga *engine* beroperasi pada campuran kurus. Kondisi ini *engine* beroperasi pada suhu yang tinggi, tenaga kurang dan kerusakan komponen – komponen lebih cepat terjadi. Penyelesaian kondisi ini *engine* akan memberikan suplai tambahan ke ruang bakar.

Faktor kedua yang mempengaruhi efisiensi bahan bakar yaitu faktor beban *engine*. Kenyamanan berkendara saat ini menjadi prioritas utama. Peningkatan fasilitas asesories kendaraan dikembangkan, diantaranya pemanfaatan sistem *air conditioner*. Sistem *air conditioner* akan mengontrol temperatur dan kelembaban udara ruangan kendaraan pada kondisi ideal. *Power steering* akan memberikan tenaga tambahan pada sistem kemudi saat kendaraan berjalan. Pada model *power steering* tipe hidrolis, mesin berputar akan menggerakkan pompa hidrolis untuk mensirkulasikan oli ke masing – masing *tie rod* pada sistem kemudi melalui *chamber*. Tenaga yang dibangkitkan ini akan membantu saat pengemudi memutar *steering wheel*, sehingga saat mengemudi terasa lebih ringan. Konsekuensinya beban *engine* meningkat, bahan bakar yang disuplai bertambah.

Faktor ketiga yang mempengaruhi efisiensi bahan bakar yaitu faktor manusia. Ketika mengendarai kendaraan ada sebagian pengemudi memiliki kecenderungan untuk menjalankan *engine* pada putaran tinggi, menghentakkan pedal gas secara berterusan. Cara seperti ini akan diproses oleh *ECU* sebagai

kondisi beban besar, sehingga *ECU* akan meningkatkan suplai bahan bakar ke *intake manifold*.

Faktor keempat yang mempengaruhi efisiensi bahan bakar yaitu faktor material. Kendaraan yang memiliki bodi besar akan membutuhkan tenaga besar saat pengemudi melakukan proses akselerasi. Oktan bakar rendah menyebabkan proses *flash point* pada ruang bakar rendah, proses penyalaan membutuhkan waktu cukup lama, respon terhadap siklus *engine* lambat sehingga menimbulkan tenaga yang dibangkitkan oleh piston berkurang. Proses ini ditangkap oleh *ECU* sehingga *ECU* akan memberikan tambahan bakar ke *engine*.

Faktor kelima yang mempengaruhi efisiensi bahan bakar yaitu faktor mesin atau alat. *Engine* memiliki *life time* ketika beroperasi atau *engine* memiliki umur ekonomi. Standarisasi industri pembuat kendaraan, ketika kendaraan beroperasi secara *continue* memiliki umur ekonomi berkisar 5 tahun. Ketika seseorang menggunakan kendaraan kurang dari 5 tahun, kendaraan akan pada kondisi prima, namun setelah lebih dari usia 5 tahun kendaraan akan mengalami proses penurunan. Saat kendaraan beroperasi, komponen – komponen utama *engine* mengalami gesekan secara berterusan, sehingga komponen – komponen *engine* akan mengalami keausan. Piston menjadi semakin mengecil, katub *intake* dan *exhaust* mengalami kebocoran, ring kompresi semakin mengecil, post *injector* semakin membesar. Kondisi ini menyebabkan kompresi dalam ruang bakar menurun, tenaga yang dihasilkan berkurang sehingga saat *engine* beroperasi membutuhkan jumlah bahan bakar relatif tinggi.

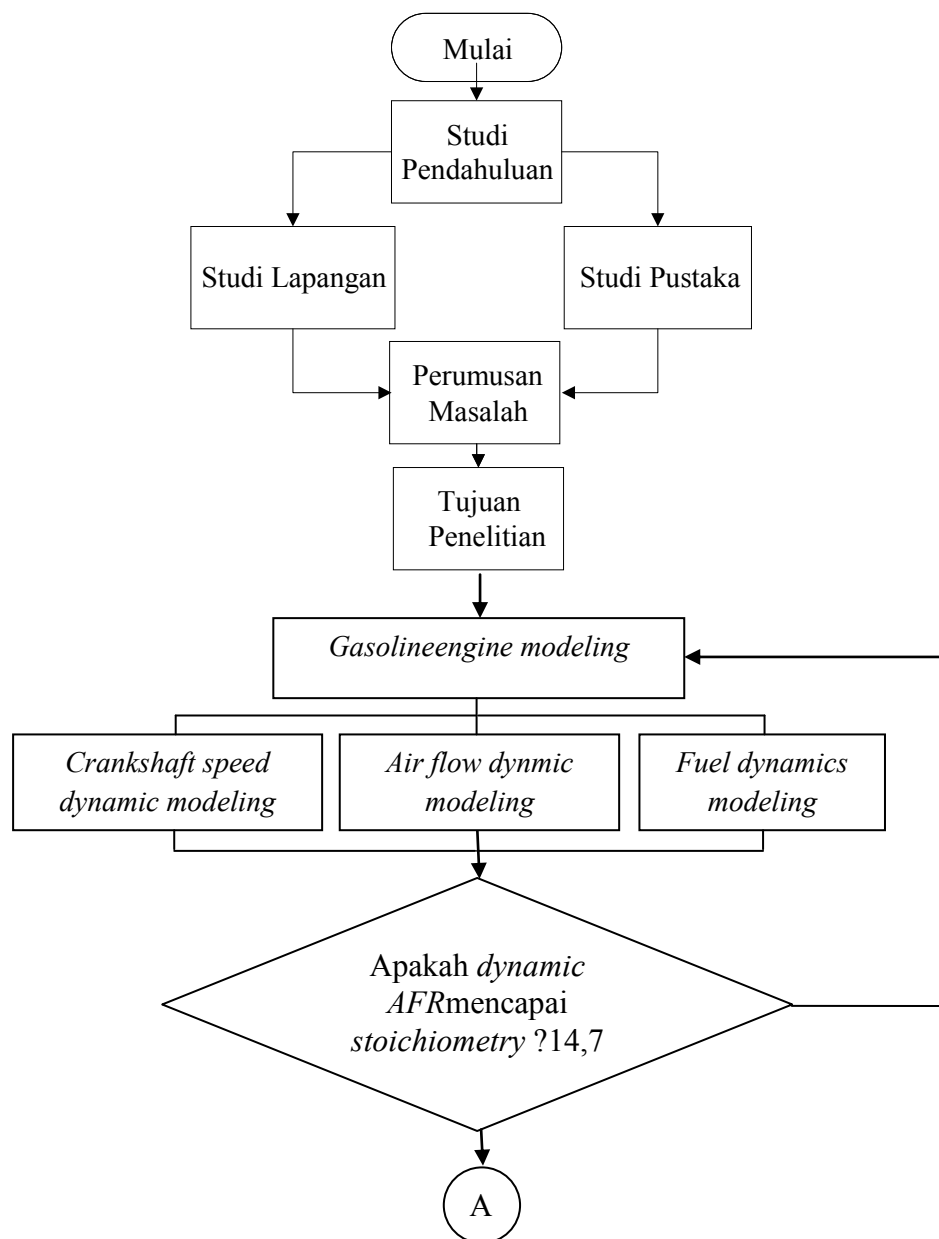
Faktor keenam yang mempengaruhi efisiensi bahan bakar yaitu faktor metode. *Engine* yang memiliki pembakaran kurang baik, misalnya sistem pengapian tidak tepat, kualitas nyala api dalam *spark plug* jelek, ruang bakar kotor sangat berpengaruh terhadap *performance* kendaraan. Demikian juga dengan sistem bahan bakar yang tidak mengacu pada *AFR stoichiometry* akan meningkatkan konsumsi bahan bakar. *Engine* yang beroperasi pada campuran gemuk akan menghasilkan emisi *exhaust gas* yang tinggi. Kondisi ini *engine* akan mengeluarkan gas beracun yang akan dilepas ke udara bebas, sehingga dapat merusak lapisan *ozon* pada atmosfer. *Engine* yang tidak memiliki sistem

economizer akan menyebabkan suplai bahan bakar tidak efektif, sehingga bahan bakar disuplai ke ruang bakar banyak yang terbuang.

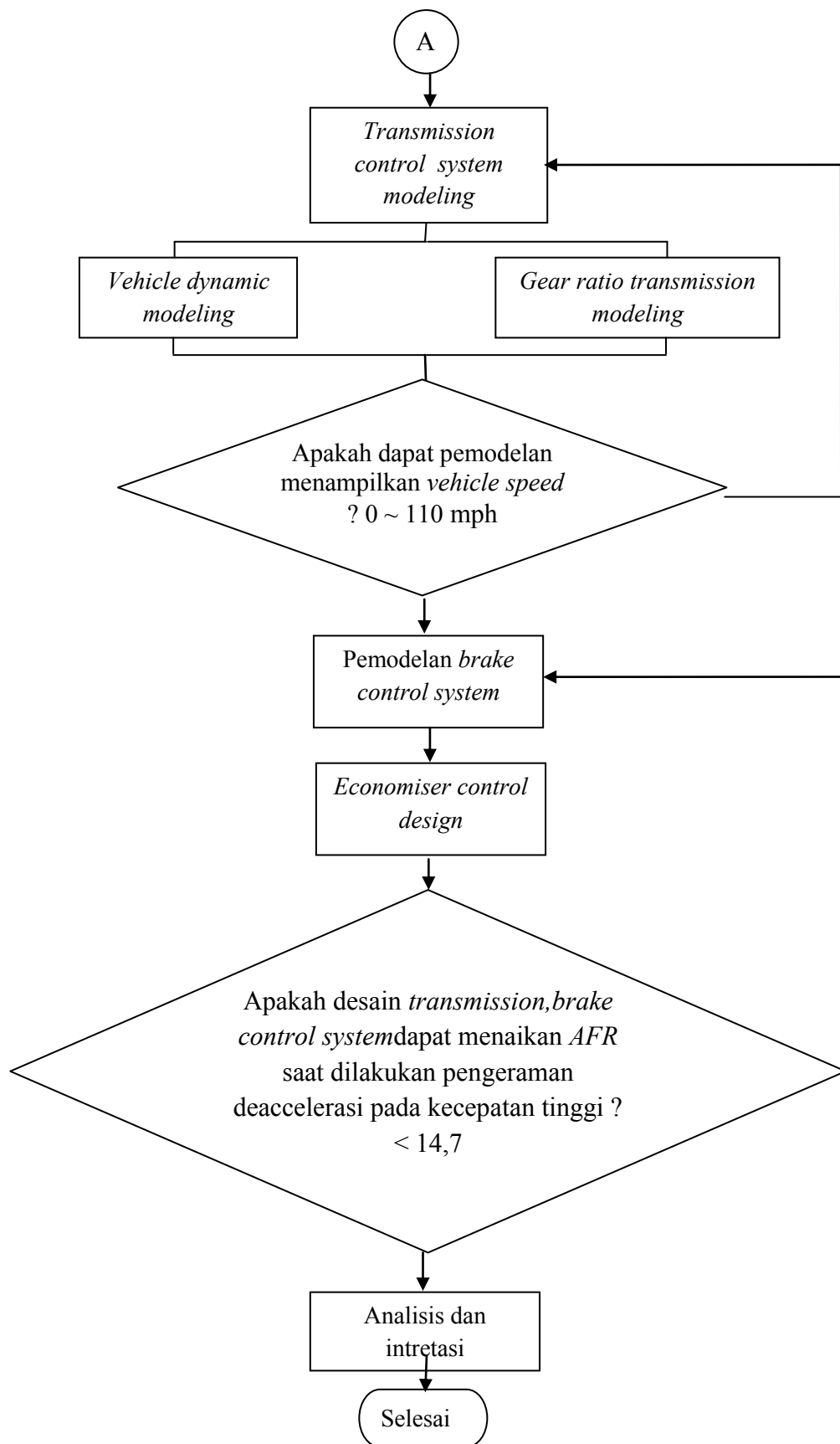
Penelitian ini untuk menyelesaikan permasalahan efisiensi bahan bakar menggunakan pendekatan faktor metode dengan menambahkan sistem *economizer* yang dikendalikan oleh *ECU* secara otomatis.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian dalam menyelesaikan permasalahan tertera dalam Gambar 3.2



Gambar 3.2 Flow Chart Penelitian.



Terusan Gambar 3.2.

3.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini diawali dengan *preliminary research*. Kegiatan ini berisi studi pustaka dan studi lapangan.

3.4.1 Studi pustaka

Studi literatur dilakukan dengan cara mencari jurnal ilmiah berhubungan dengan teknologi kendaraan hemat bahan bakar yang telah dilakukan. Hal ini dilakukan untuk mencari sistem konfigurasi, dimensi, dan parameter lainnya yang telah digunakan.

3.4.2 Studi lapangan

Studi lapangan dapat dilakukan dengan cara mengamati *engine* kendaraan pada saat ini untuk dilakukan pengamatan, agar dapat informasi akurat.

3.4.3 Diskusi dengan praktisi

Selain studi literatur dan studi lapangan, dilakukan juga diskusi dengan praktisi agar dapat mendapatkan ide dan saran untuk meningkatkan kualitas penelitian.

3.5 Rancangan Pemodelan *Engine*

Rancangan ini ada beberapa proses. Proses pertama merancang *software* kontrol *AFR* yang berupa *AFR modeling*.

3.5.1 Sistem Kontrol *AFR*

Rancangan ini meliputi beberapa bagian yang saling berkaitan, diantaranya *AFR modeling* matematis dan *AFR modeling* dengan *Matlab Simulink*. *AFR modeling* matematis berisi persamaan – persamaan yang mempresentasikan suatu sistem. Hasil dari *AFR modeling* matematis akan digunakan dalam pembuatan *AFR Modeling* dengan *Matlab Simulink*.

3.5.2 *AFR Modeling* Matematis

Modeling merupakan salah satu cara untuk memberikan gambaran secara umum terhadap sistem yang akan dibuat. *Modeling* ini berisi tentang blok diagram

yang selanjutnya dilengkapi dengan penjelasan berupa persamaan matematika dalam mendekati nilai sebuah sistem.

Penelitian ini *AFR control modeling* dikembangkan menggunakan *software Matlab Simulink*. Adapun bagian – bagian *AFR control modeling* yang dibuat ada beberapa bagian fundamental, diantara pertama *gasoline engine modeling*. *Modeling* mempresentasikan kondisi dinamika mesin bensin yang terdiri dari *intake manifold pressure, intake manifold temperature, engine rotation* dan *fuel flow dynamics*. Kedua *vehicle dynamics modeling*. *Modeling* ini mempresentasikan kondisi kendaraan pada kondisi berjalan. *Vehicle dynamics modeling* terdiri dari *transmission modeling* dan *vehicle dynamics modeling*.

3.5.3 Gasoline Engine Modeling

a. Air flow modeling

1) Manifold Air Pressure Modeling

$$\dot{p}_i = \frac{kR}{V_i} (-\dot{m}_{ap} + \dot{m}_{at} T_a + \dot{m}_{EGR} T_{EGR}) \quad (1)$$

Manifold air pressure modeling (Wang dkk, 2006) mempresentasikan kondisi tekanan udara dalam *intake manifold engine*. Tekanan yang terjadi pada *intake manifold* berupa tekanan udara negatif yang dibangkitkan oleh pergerakan piston. Satuan yang digunakan untuk mengetahui besar tekanan *intake manifold* menggunakan satuan Bar. *Crank shaft* pada *engine* bergerak untuk memutar *fly wheel*. Pergerakan *crank shaft* ini disebabkan oleh tekanan yang terjadi pada pembakaran di atas piston. Gerakan piston saat turun dari Titik Mati Atas (TMA) *engine* pada langkah buang menyebabkan terjadi bertambahnya ruangan dalam silinder, sehingga menimbulkan efek tekanan negatif atau kevakuman pada *intake manifold*.

2) Manifold Air Temperature Modeling

$$\dot{T}_i = \frac{RT_i}{p_i V_i} [-\dot{m}_{ap} (k - 1) T_i + \dot{m}_{at} (k T_a - T_i) + \dot{m}_{EGR} (k T_{EGR} - T_i)] \quad (2)$$

Manifold air temperature modeling (Wang dkk, 2006) mempresentasikan kondisi temperature udara yang terjadi saat *engine* beroperasi. Udara lingkungan disekitar *engine* sangat mempengaruhi kerja *engine* beroperasi. Kondisi udara sangat dingin akan memberikan dampak proses pengabutan menjadi lambat. Hal ini disebabkan karena bahan bakar yang diinjeksikan di *intake manifold* akan melekat pada bagian saluran masuk, sehingga saat *engine* beroperasi bahan bakar menjadi lambat. Kondisi udara lingkungan saat siang hari, sangat berpengaruh pada proses pembakaran di *engine*. Satuan yang digunakan untuk temperature udara *intake manifold* menggunakan *Kelvin*.

b. *Crankshaft Speed Dynamics*

$$\dot{n} = \frac{1}{I_n} \left(P_f(p_i, n) + P_p(p_i, n) + P_b(n) + \frac{1}{I_n} H_u \Gamma i(p_i, n, \lambda) \dot{m}_f(t - \Delta\tau_d) \right) \quad (3)$$

Crankshaft speed dynamics modelingn (Wang, S.W.dkk, 2006) mempresentasikan kondisi putaran *engine*. Proses pergerakan *crankshaft* memiliki prinsip kerja mengubah gerak lurus naik turun piston menjadi gerakan putar pada *engine*. *Crankshaft speed* sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya pembukaan *throttle valve* pada *throttle body*, jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ke *engine*, beban kendaraan yang diputar oleh sistem *engine*, aliran udara dalam *air system* maupun gesekan pada sistem mekanis *engine*. Gesekan pada kendaraan sangat banyak, dimulai dari roda, differensial, transmisi, kopling maupun sistem *engine*.

c. *Fuel dynamics*

1) *Air to fuel ratio measurement*

$$\lambda = \frac{\dot{m}_{ap}}{\dot{m}_f} \quad (4)$$

$$\dot{m}_f = \dot{m}_{fv} + \dot{m}_{ff} \quad (5)$$

$$\dot{m}_{fv} = (1 - X_f) \dot{m}_{fi}, \quad (6)$$

$$\dot{m}_{ff} = \frac{1}{\tau_f} (-\dot{m}_{ff} + X_f \dot{m}_{fi}) \quad (7)$$

Fuel dynamics mempresentasikan tentang dinamika bahan bakar yang digunakan saat terjadi proses pembakaran. Bagian - bagian *fuel dynamics* meliputi

lamda. *Lamda* merupakan perbandingan antara *AFR* secara *teori* dengan *AFR* secara aplikasi. *Lamda* 1 memiliki arti bahwa *AFR* teori sama dengan *AFR* aplikasi. Sistem kontrol *AFR* yang menggunakan sistem kontrol *closed loops* untuk mengoreksi campuran udara dan bahan bakar memanfaatkan *lamda* sebagai setting program. Parameter yang digunakan menggunakan *sensor* oksigen. *Sensor* ini akan mendeteksi campuran udara *exhaust gas* yang terdapat pada *muffler*. Prosesi kontrol dengan perhitungan perbandingan antara *AFR stoichiometry* dengan *AFR* yang koreksi oleh *sensor* oksigen.

2) *Proportion of the fuel that is deposited on the intake manifold*(X_f)

$$X_f(p_i, n) = -0,277p_i - 0,055n + 0,68 \quad (8)$$

3) *Time constant for fuel evaporation.*

$$\tau_f(p_i, n) = 1,35x(-0,672n + 1,68)x(p_i - 0,825)(p_i - 0,825)^2 + (0,06xn + 0,15) + 0,56 \quad (9)$$

Time constant for fuel evaporation merupakan waktu yang digunakan untuk merubah proses bahan bakar menjadi gas. Proses evaporasi ini dibantu dengan penyemprotan bahan bakar yang diinjeksikan dalam *engine*.

3.5.4 Transmission Control System Modeling

a. *Transmission Control System Modeling*

Implementasi transmission model menggunakan rasio gear transmisi.

$$RTR : f4(Gear) : Transmission ratio. \quad (10)$$

Transmission model mempresentasikan kondisi transmisi pada kendaraan nyata. Transmisi ini berupa perbandingan *speed gear ratio* pergerakan maju. *Speed gear* besar akan mempengaruhi moment yang disalurkan ke roda-roda (MatWork, 2015).

b. *Vehicle Dynamics*

Penggerak akhir kendaraan dipengaruhi oleh inersia maupun beban variasi dinamika kendaraan.

$$Iv.Nw : Rfd (Tout - Tload). \quad (11)$$

Kendaraan beroperasi pada jalan raya memiliki beban sangat bervariasi, diantaranya dapat disebabkan oleh kemiringan jalan, kondisi jalan maupun

lingkungan yang mempengaruhi bodi kendaraan. *Final drive* salah satu bagian dari *vehicle dynamics*, bagian ini berfungsi untuk membagi tenaga ke masing – masing roda serta untuk meningkatkan moment dari *engine* ke roda. *Aerodynamics* atau bentuk bodi kendaraan sangat berpengaruh terhadap laju kendaraan dengan hambatan udara disekitarnya.

3.6 AFR modeling dengan Matlab Simulink

AFR modeling yang dibuat dalam *software Matlab Simulink* memberikan gambaran secara jelas terhadap sistem yang dikerjakan dalam aplikasi nyata. Dengan modeling ini sistem kontrol dapat disimulasikan sesuai dengan kondisi kendaraan beroperasi. Pada bagian ini merupakan blok dari *AFR modeling Matlab Simulink* yang dikembangkan dalam penelitian, sedangkan *blok* bagian bawah merupakan *AFR modeling Matlab Simulink* dari sistem *defaultnya engine*.

AFR modeling yang dikembangkan mengkolaborasikan terhadap putaran *engine*, dinamika bahan bakar, suhu udara dalam *intake manifold*, dan tekanan udara dalam *intake manifold*. *AFR modeling* dengan *Matlab Simulink* yang dikembangkan terdapat dua *modeling*. Pertama *gasoline engine modeling* yang beroperasi tanpa *brake control system*. Kondisi ini *engine* beroperasi sesuai kondisi *defaultnya engine* dalam kendaraan tanpa kontrol ekonomiser. Kedua *gasoline engine modeling* yang beroperasi dengan *brake control system*. Kondisi ini *engine* beroperasi dengan kontrol ekonomiser. *Modeling AFR* ini ada 3 bagian utama .

3.6.1 Driver dan Brake Control

Driver berisi posisi pembukaan *throttle valve* atau katup pedal gas dan posisi *brake pedal* atau pedal rem pada kendaraan. Saat kendaraan dilakukan langkah akselerasi maka akan terjadi kenaikan sudut *throttle valve* yang besarnya sudut maksimal 90°. Posisi *throtlte valve* dibaca dalam satuan sudut. Pada aplikasi kendaraan nyata pembukaan *throttle valve* bergantung kepada kebutuhan tenaga yang akan digunakan untuk menggerakkan kendaraan.

Pada langkah pengereman *brake pedal* akan memberikan sinyal “1”. Langkah tidak pengereman *brake pedal* memberikan sinyal “0”. Model ini menggambarkan langkah pengereman dengan prinsip kerja sistem digital.

Subsystem driver disamping memodelkan kondisi *throttle valve*, juga memodelkan penginjakan *brake pedal*. Secara umum *brake pedal* aktif disebabkan pengemudi akan memperlambat laju kendaraan atau menghentikan kendaraan. *Brake pedal* aktif akan dimodelkan dengan memberikan sinyal “1”. Sinyal “1” akan dibaca oleh sistem *modeling* dengan mengkonversi ke dalam sistem *engine*.

3.7 Controller Model

Controller model mempresentasikan sistem kontrol yang terdiri dari *engine control model* dan *vehicle dynamicss model*. *Controller model* memiliki 2 input dan 5 output. Input yang masuk pada *controller model* diantaranya *throttle* dan *brake position*. Output yang keluar dari *controller model* meliputi *AFR*, *engine speed*, *vehicle speed*, *fuel consumsion* dan *throttle valve position*. *Engine control model* memiliki beberapa bagian.

3.7.1 Engine Control Model

Engine control model memiliki 3 bagian yaitu *spark ignition engine*, *contoller* dan *economiser control*. *Spark ignition engine* mempresentasikan dinamika mesin. *Spark ignition engine* dilengkapi dengan *air temperature manifold model*, *air pressure manifold model*, *fuel flow dynamicss*, *AFR* dan *crank shaft dynamicss*. *Economiser control subsystem* merupakan sistem kontrol pengembangan dalam penelitian yang ditunjukkan dengan garis putus – putus. *Econimiser control model* merupakan sistem yang dikembangkan pada aplikasi nyata, sehingga pada sistem ini menjadi *add value* pada sistem *AFR control*.

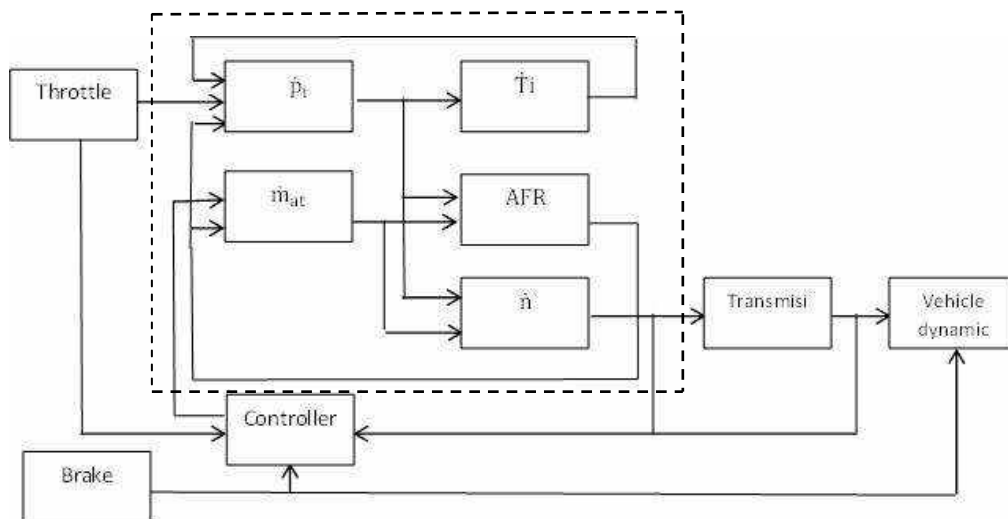
3.7.2 Vehicle Dynamics Model

Model ini mempresentasikan dinamika kendaraan dengan memberikan beberapa bagian penjelasan. *Transmission* salah satu bagian kendaraan yang

terdiri dari perbandingan roda gigi paling rendah sampai perbandingan roda gigi paling tinggi. Model ini dimulai dari perbandingan roda gigi 1 sampai perbandingan roda gigi 5. Modeling ini menggambarkan kondisi dinamika kendaraan saat beroperasi di jalan raya .

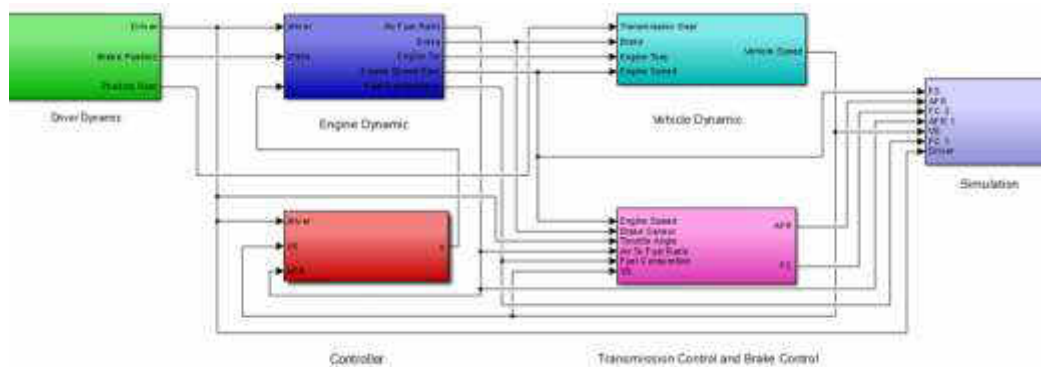
BAB 4. HASIL DAN ANALISA

Penelitian ini mempresentasikan dinamika *vehicle* dengan pemodelan matematis. Dinamika *engine* dimodelkan secara integratif. Dinamika pengemudi dipresentasikan dengan perilaku pengemudi saat mengendarai kendaraan (*driver behaviour*). *Throttle valve* digunakan untuk mengendalikan *engine* kendaraan saat penambahan kecepatan/accelerasi maupun perlambatan/deaccelerasi kendaraan. Perlambatan kendaraan juga dapat dilakukan dengan *brake system* dan pengurangan percepatan terhadap operasi gigi transmisi. Pemodelan kendaraan -*Vehicle Modeling* disajikan dengan beberapa item diantaranya *engine modeling*, *transmission modeling*, *vehicle dynamic modeling*, *brake system* serta sistem kontrol yang diintegrasikan dalam sistem kendaraan. Percepatan kendaraan terjadi karena adanya pembukaan *throttle valve* dan penambahan gigi percepatan pada transmisi. Perlambatan yang terjadi pada kendaraan dapat disebabkan oleh efek pengereman dengan *brake system* maupun penutupan *throttle valve*. Dalam sistem kontrol yang dikembangkan, sistem rem/*brake* tidak hanya digunakan untuk memperlambat kendaraan, tetapi juga digunakan juga sebagai mengendalikan bahan bakar. Sistem kontrol bahan bakar memiliki beberapa inputan diantaranya kecepatan kendaraan, putaran *engine*, posisi *throttle valve* dan posisi kerja sistem *brake*. Kecepatan kendaraan dapat dirubah dengan menaikkan atau menurunkan speed gear memberikan ratio pada transmisi. Adapun diagram block *vehicle modeling* terlihat dalam gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Block *Vehicle Modeling*.

Hubungan antara *driver dynamic*, *engine*, *vehicle dynamic* serta sistem kontroler terlihat dalam gambar 4.2.



Gambar 4.2 *Vehicle Modeling Dengan Software Matlab/Simulink.*

Brake position mempresentasikan perilaku pengemudi pada saat proses perlambatan kendaraan dengan mengaktifkan *brake system*. Signal pengereman dibangkitkan oleh *braking sensor* yang memiliki besaran yang ditransfusikan dari tekanan pengereman antara 0 sampai 5 kg/cm². Tekanan hidrolik di atas 3 kg/cm² dimodelkan sebagai pengereman sangat diperlukan untuk menghentikan kendaraan. Tekanan di bawah 3 kg/cm² pengereman hanya sebagai perlambatan kendaraan. *Position gear* mempresentasikan posisi transmisi pada kendaraan yang memiliki seleksi *gear* antara 1 sampai 4. *Drive dynamic* terbagi menjadi beberapa mode. *Mode deaccelerasi braking* mempresentasikan perlambatan kendaraan oleh *driver* dengan menekan pedal rem. *Mode deaccelerasi unbraking* mempresentasikan driver melakukan perlambatan kendaraan tanpa menekan pedal rem. *Deaccelerasi unbraking* memiliki dua kondisi. Pertama perlambatan kendaraan dengan posisi gear transmisi tinggi (gear 3 atau gear 4). Kedua, Perlambatan kendaraan dengan posisi gear transmisi rendah (gear 1 dan gear 2). Mode akselerasi mempresentasikan peningkatan kecepatan kendaraan dengan menambah pembukaan *thottle valve* dan menambah posisi gear transmisi.

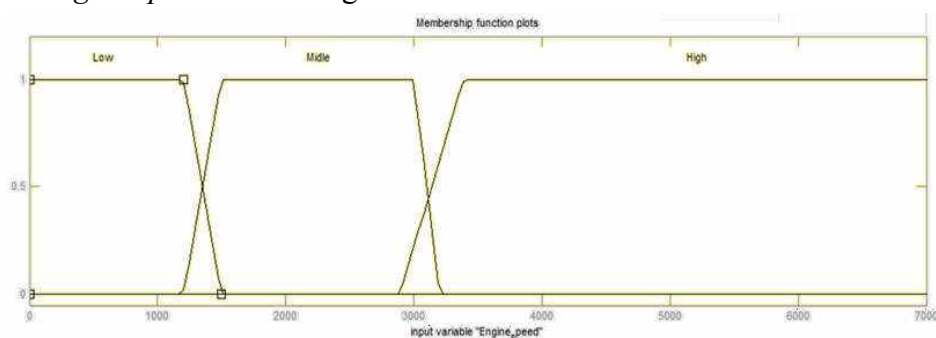
4.1 Sistem Controller

Pendekatan dalam sistem controller bahan bakar dengan metode *Proportional Integral Derivative - PID*. *Steady state* tercapai untuk pencarian *AFR stoichiometry* bahan bakar. *Compensator Formula PID* yang dikendalikan dengan

beberapa nilai $P + I\frac{1}{2} + D\frac{N}{1+N\frac{1}{s}}$. Nilai aplikasi *Proportional* 0,000006, *Integral* 0.0027 dan *Derivative* 0,000006. Pencarian nilai optimal dengan sistem *tuning* dengan pencarian nilai *KP*, *KI* dan *KD*. Untuk *control economizer* dengan pengembangan *control inteligent system – fuzzy*.

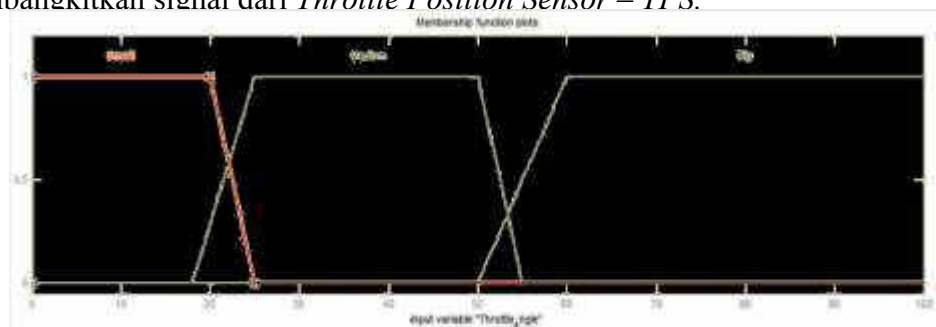
4.1.1 Transmission and Brake Control

Sistem *control* yang dikembangkan dalam penelitian ini mengembangkan integrasi antara *transmission,brake, engine speed* dan *vehicle speed control*. Pengembangan kontrol inteligen /*fuzzy system* diembededkan dalam *ECU (Engine Control Unit)* untuk mengontrol bahan bakar. Bahan bakar yang ke *enginediatur* berdasarkan putaran *engine*, kecepatan kendaraan, posisi *selective gear* transmisi, dan *deaccelerasi* kendaraan. Posisi putaran *engine* sebagai inputan dari sistem kontrol dengan nilai keanggotaan yang dipresentasikan pada *membership function engine speed* terlihat di gambar 4.3.



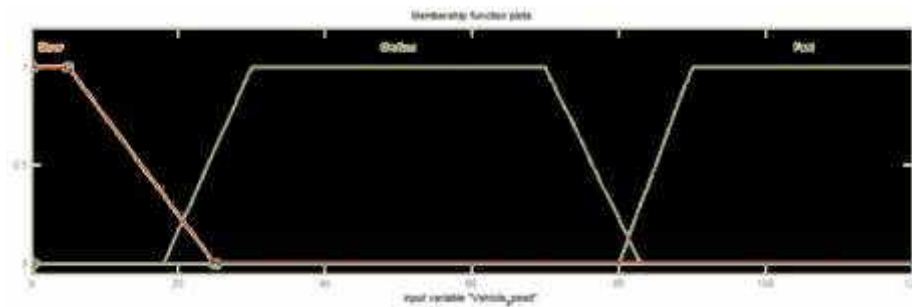
Gambar 4.3 Membership Function Engine Speed.

Inputan sistem kontrol yang lain diantaranya posisi *throttle angle*, yang dipresentasikan kondisi *throttle valve* dengan *membership function* pada gambar 4.4. *Throttle angle* digunakan inputan *programming* sistem kontrol *ECU* dengan membangkitkan signal dari *Throttle Position Sensor – TPS*.



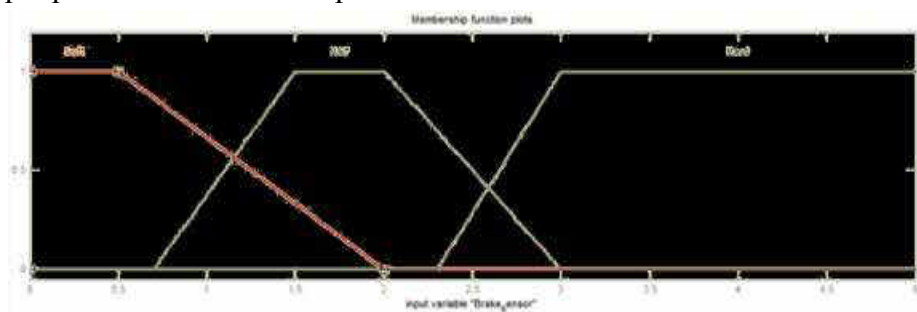
Gambar 4.4 Membership Function Throttle Angle.

Kecepatan kendaraan digunakan untuk memformulasikan perhitungan bahan bakar yang masuk ke engine. Deaccelerasi kendaraan kecepatan tinggi pada penggunaan *selective gear* transmisi posisi gigi tinggi (3 dan 4) menjadi pertimbangan controller untuk memberikan economizer bahan bakar. Dinamika kecepatan kendaraan menjadi inputan controller dengan *membership function vehicle speed* yang terlihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Membership Function Vehicle Speed.

Dinamika pengemudi/driver saat melakukan proses perlambatan kendaraan dengan pelepasan pedal gas (penutupan *throttle valve*), pemilihan posisi *selective gear* posisi rendah memberikan inputan pada controller. Kondisi ini bahan bakar diinjeksikan ke engine posisi berkisar *stoichiometry*, namun saat pengemudi melakukan perlambatan kendaraan dengan menginjak pedal rem, maka bahan bakar yang diinjeksikan ke engine akan ditingkatkan efisiensinya. Peningkatan ini dengan mengurangi jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ke engine. Estimasi pengereman yang dilakukan oleh driver, sebagai inputan sistem controller dengan nilai keanggotaan *membership function brake sensor* terlihat dalam gambar 4.6. Signal yang dibangkitkan berupa signal digital berasal dari *brake sensor*. Secara umum pemasangan *brake sensor* pada unit kendaraan terdapat pada *master rem* atau pedal rem.



Gambar 4.6 Membership Function Brake Sensor.

Rule Base yang dirancang pada sistem *fuzzy* terlihat dalam tabel 4.1. *Fuzzy set decision* menjadi pola pengambilan keputusan *programming* sistem controller yang diembeddedkan dalam sebuah *chip microcontroller*.

Tabel 4.1 *Fuzzy set Decision*.

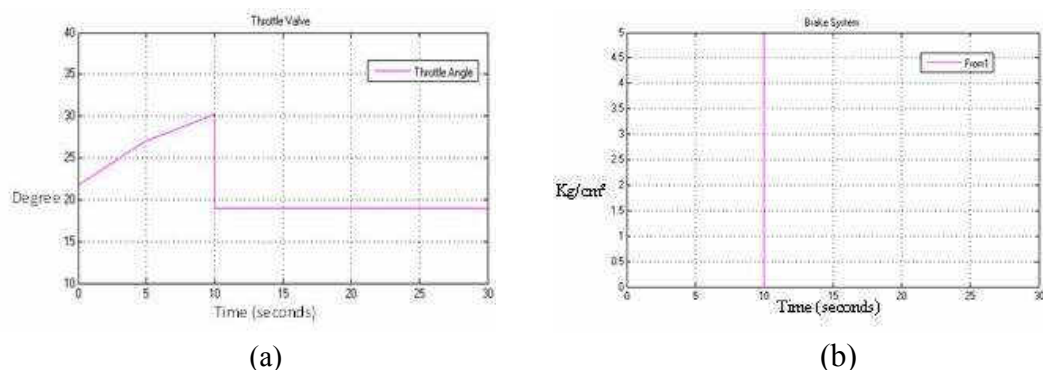
| No | Engine speed | Brake position | Vehicle speed | Throttle Angle | Sistem kontrol |
|----|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------|
| 1 | Low (0 to 1400 rpm) | none | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 2 | Medium (1200 to 3200 rpm) | none | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 3 | High (2800 to 7000 rpm) | none | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 4 | Low (0 to 1400 rpm) | none | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 5 | Medium (1200 to 3200 rpm) | none | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 6 | High (2800 to 7000 rpm) | none | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 7 | Low (0 to 1400 rpm) | none | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 8 | Medium (1200 to 3200 rpm) | none | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Small (0 to 25%) | On |
| 9 | High (2800 to 7000 rpm) | none | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Small (0 to 25%) | On |
| 10 | Low (0 to 1400 rpm) | none | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 11 | Medium (1200 to 3200 rpm) | none | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 12 | High (2800 to 7000 rpm) | none | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 13 | Low (0 to 1400 rpm) | none | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 14 | Medium (1200 to 3200 rpm) | none | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 15 | High (2800 to 7000 rpm) | none | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 16 | Low (0 to 1400 rpm) | none | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 17 | Medium (1200 to 3200 rpm) | none | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 18 | High (2800 to 7000 rpm) | none | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 19 | Low (0 to 1400 rpm) | none | Slow (0 ~ 25 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 20 | Medium (1200 to 3200 rpm) | none | Slow (0 ~ 25 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 21 | High (2800 to 7000 rpm) | none | Slow (0 ~ 25 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 22 | Low (0 to 1400 rpm) | none | Medium (18 ~ 83 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 23 | Medium (1200 to 3200 rpm) | none | Medium (18 ~ 83 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 24 | High (2800 to 7000 rpm) | none | Medium (18 ~ 83 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 25 | Low (0 to 1400 rpm) | none | Fast (80 ~ 120 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 26 | Medium (1200 to 3200 rpm) | none | Fast (80 ~ 120 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 27 | High (2800 to 7000 rpm) | none | Fast (80 ~ 120 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 28 | Low (0 to 1400 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 29 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 30 | High (2800 to 7000 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 31 | Low (0 to 1400 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 32 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 33 | High (2800 to 7000 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 34 | Low (0 to 1400 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 35 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Small (0 to 25%) | On |
| 36 | High (2800 to 7000 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Small (0 to 25%) | On |
| 37 | Low (0 to 1400 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 38 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 39 | High (2800 to 7000 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 40 | Low (0 to 1400 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 41 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 42 | High (2800 to 7000 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 43 | Low (0 to 1400 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 44 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 45 | High (2800 to 7000 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 46 | Low (0 to 1400 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 47 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 48 | High (2800 to 7000 rpm) | Soft (0 ~ 2) kg/cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 49 | Low (0 to 1400 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 50 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 51 | High (2800 to 7000 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 52 | Low (0 to 1400 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 53 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 54 | High (2800 to 7000 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 55 | Low (0 to 1400 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 56 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Small (0 to 25%) | On |
| 57 | High (2800 to 7000 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | On |
| 58 | Low (0 to 1400 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 59 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 60 | High (2800 to 7000 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 61 | Low (0 to 1400 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 62 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 63 | High (2800 to 7000 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 64 | Low (0 to 1400 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 65 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 66 | High (2800 to 7000 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 67 | Low (0 to 1400 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 68 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 69 | High (2800 to 7000 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 70 | Low (0 to 1400 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 71 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 72 | High (2800 to 7000 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 73 | Low (0 to 1400 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |

Terusan table 4.1

| No | Engine speed | Brake position | Vehicle speed | Throttle Angle | Sistem kontrol |
|-----|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------|
| 75 | High (2800 to 7000 rpm) | Half (0,7- 3) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 76 | Low (0 to 1400 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 77 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 78 | High (2800 to 7000 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 79 | Low (0 to 1400 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 80 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 81 | High (2800 to 7000 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 82 | Low (0 to 1400 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 83 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Small (0 to 25%) | On |
| 84 | High (2800 to 7000 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | On |
| 85 | Low (0 to 1400 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Small (0 to 25%) | Off |
| 86 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 87 | High (2800 to 7000 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 88 | Low (0 to 1400 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 89 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 90 | High (2800 to 7000 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 91 | Low (0 to 1400 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 92 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 93 | High (2800 to 7000 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | Medium (18 to 55 %) | Off |
| 94 | Low (0 to 1400 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 95 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 96 | High (2800 to 7000 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Fast (80 ~ 120 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 97 | Low (0 to 1400 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 98 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 99 | High (2800 to 7000 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Slow (0 ~ 25 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 100 | Low (0 to 1400 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 101 | Medium (1200 to 3200 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |
| 102 | High (2800 to 7000 rpm) | Hard (2,3- 5) kg/ cm ² | Medium (18 ~ 83 km/jam) | High (50 to 100%) | Off |

4.2 Deaccelerasi Kendaraan Posisi Kecepatan rendah Dengan *Brake System* Aktif

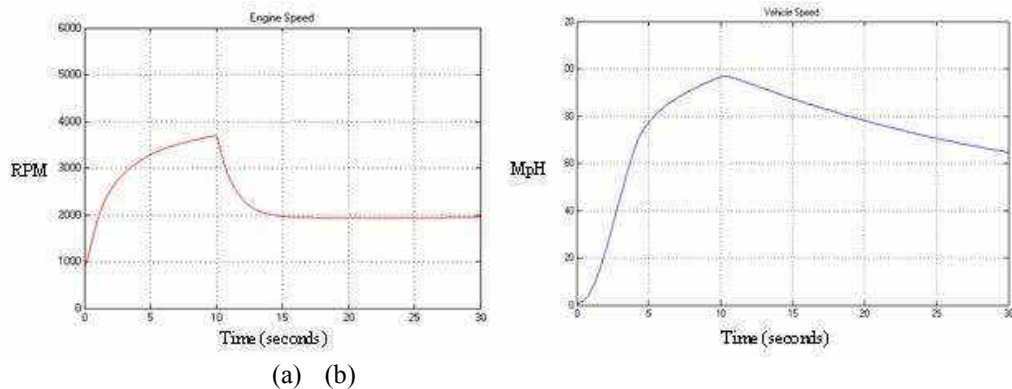
Posisi ini bekerja ketika *driver* melakukan perlambatan kendaraan dengan melepaskan pedal gas atau menutup *throttle valve* dan menginjak pedal rem /*brake system* diaktifkan. *Throttle angle* sebagai sudut pembukaan *throttle valve* diestimasi pada gambar 4.7(a). *Signal brake system* ditimbulkan terlihat dalam gambar 4.7(b) yang ditransfusikan ke kg/cm². *Driver* melepaskan pedal gas atau menutup *throttle valve* dengan diestimasi pada waktu ke 10 *seconds* dan pada waktu tersebut *driver* menginjak pedal rem.



Gambar 4.7 Posisi *Throttle Valve*(a) dan *Signal Brake*(b).

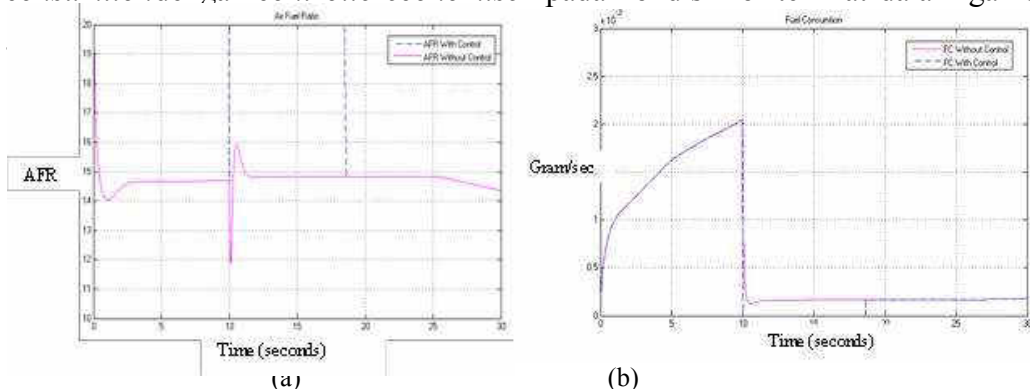
Pedal rem dihubungkan pada *brake sensor*. *Signal braking* dibangkitkan ketika proses pengereman. *Sensorbraking* akan mengeluarkan *signal*

digital.Position gear sebagai bagian *drivetrain* yang berada pada transmisi. Penambahan kecepatan kendaraan dapat ditingkatkan dengan menambah seleksi *gear* ke posisi lebih besar. Moment kendaraan ditingkatkan dengan memposisikan seleksi *gear* transmisi ke posisi *gear* lebih kecil. Kondisi putaran *engine* saat deaccelerasi saat proses perlambatan *vehicle* pada kecepatan rendah terlihat dalam gambar 4.8 (a). *Engine* berputar posisi 3500 *rpm*. Perubahan kecepatan kendaraan sampai 95 *mph* saat deaccelerasi terlihat dalam gambar 4.8(b).



Gambar 4.8 Kondisi *Engine Speed* Saat Deaccelerasi (a) dan Perubahan Kecepatan Kendaraan (b).

Perubahan *AFR* dalam *engine* saat deaccelerasi pada gambar 4.9(a). *AFR* tanpa kontrol saat deaccelerasi berada pada kondisi 14,7. *AFR* dengan kontrol saat deaccelerasi mengalami kenaikan sangat besar. Nilai *AFR* saat pengereman mencapai nilai sangat besar pada waktu 10 *seconds*. *Fuel consumption* tanpa *controllereconomiser* berada pada 0,001 *gram/sec*, sedangkan *fuel consumption* dengan *controllereconomiser* pada kondisi nol terlihat dalam gambar

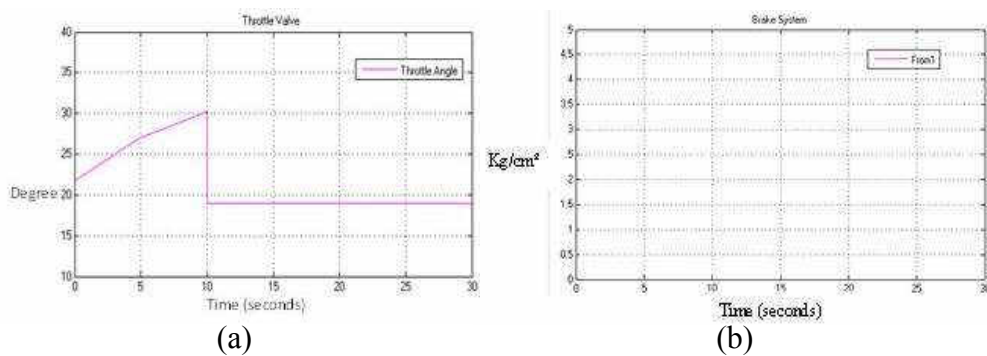


Gambar 4.9 Kondisi *AFR Engine*(a) dan *Fuel Consumption*(b).

Pada waktu ke 18 *seconds* nilai *AFR* kembali ke nilai *stoichiometry*. Kondisi ini diikuti pula oleh *fuel consumption*.

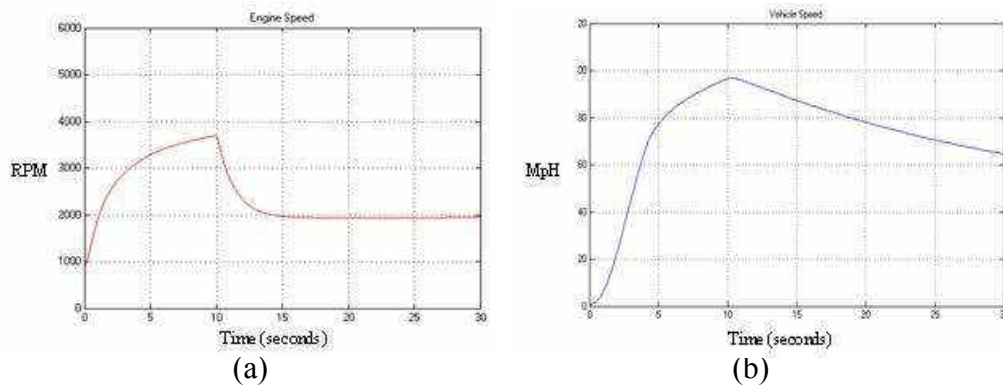
4.3 Deaccelerasi Kendaraan Posisi Kecepatan Rendah Tanpa Brake System Aktif

Driver melakukan perlambatan kendaraan dengan melepaskan pedal gas tanpa menginjak pedal rem. Posisi *throttle angle* pada sudut buka *throttle valve* diestimasi pada gambar 4.10(a) dengan sudut buka pada 30° , sedangkan signal digital pada *brake system* terlihat dalam gambar 4.10(b). Proses pengereman tidak dilakukan oleh pengemudi sehingga *signal* tidak dibangkitkan *signal braking*.



Gambar 4.10 Posisi *Throttle Valve* (a) dan *Signal Brake* (b).

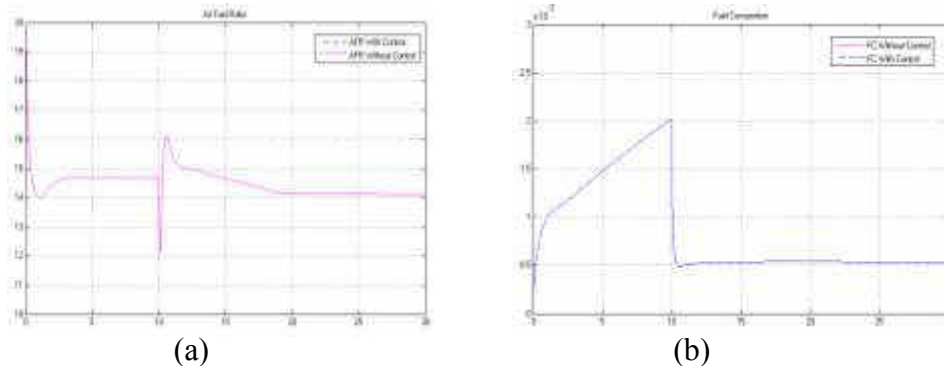
Dinamika *engine speed* saat proses perlambatan kendaraan pada kecepatan rendah terlihat dalam gambar 4.11(a). *Engine speed* berada pada posisi 3500 rpm. Dinamika kecepatan kendaraan saat deaccelerasi terlihat dalam gambar 4.11(b). Kendaraan berjalan pada kecepatan 95 mph. Proses pelepasan pedal gas diestimasi pada waktu ke 10 seconds.



Gambar 4.11 Kondisi *Engine Speed* (a) dan *Vehicle Speed* (b).

Dinamika *AFR* yang masuk ke *engine* saat deaccelerasi terlihat pada gambar 4.12(a). Nilai *AFR* saat deaccelerasi pada kondisi kisaran *stoichiometry*

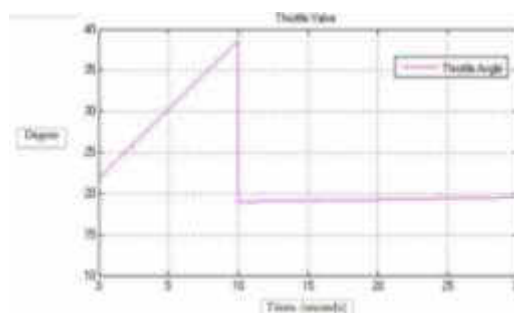
14,7 saat *control economiser* tidak bekerja. Kondisi ini mempresentasikan bahwa bahan bakar masih mengalir ke *engine*. *Fuel consumption* berada pada 0,5 gram/sec dapat terlihat dalam gambar 4.12(b).



Gambar 4.12 Kondisi Dinamika *AFR* (a) dan *Fuel Consumption* (b).

4.4 Deaccelerasi Kendaraan Posisi Kecepatan Tinggi Tanpa/dan Dengan *Brake System* Aktif

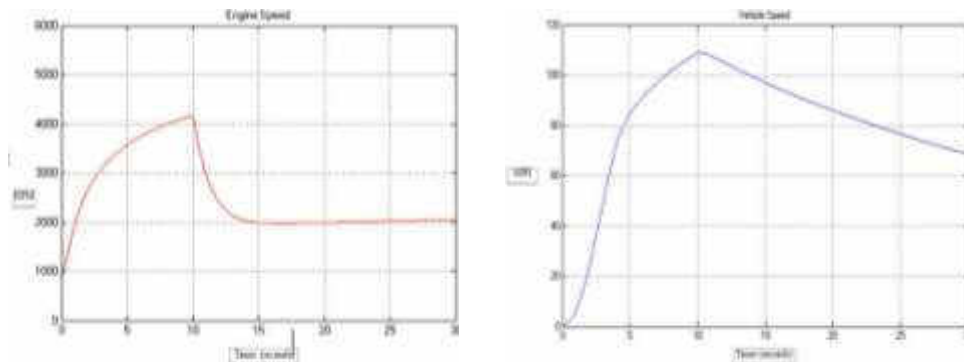
Proses deaccelerasi kendaraan pada kecepatan tinggi tanpa pengereman dan dengan pengereman memiliki kesamaan. Kondisi ini sistem *controller economizer* bekerja. Artinya saat *driver* melakukan perlambatan kendaraan tanpa menginjak pedal rem sistem *control economizer* tetap bekerja dengan mengurangi bahan bakar yang masuk ke *engine*. Demikian halnya saat *driver* melakukan perlambatan kendaraan dengan menginjak pedal rem sistem *control economizer* juga bekerja. Dengan demikian peningkatan efisiensi bahan bakar menjadi beberapa proses. Dinamika *throttle valve* diestimasi pada gambar 4.13 dengan sudut buka pada 38 °.



Gambar 4.13 Posisi *Throttle Valve*.

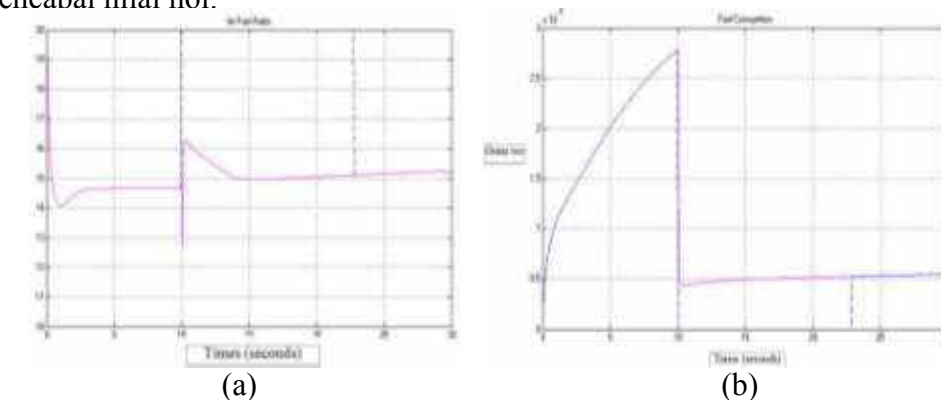
Proses pelepasan pedal gas yang dilakukan oleh *driver* diestimasi pada waktu ke 10 *seconds*. Kecepatan kendaraan saat deaccelerasi terlihat dalam gambar 4.14(b). Kendaraan berjalan pada kecepatan 110 *mph*. *Engine speed*

berada pada posisi 4200 rpm. Dinamika engine speed saat proses perlambatan kendaraan pada kecepatan tinggi terlihat dalam gambar 4.14(a).



Gambar 4.14 Posisi *Engine Speed* (a) dan *Vehicle Speed* (b).

Dinamika AFR yang masuk ke engine saat deaccelerasi terlihat pada gambar 4.15(a). Nilai AFR saat deaccelerasi pada kondisi ini kisaran stoichiometry 14,7 tanpa control ecomizer, sedangkan dengan control economizer nilai AFR mencapai nilai sangat besar. Kondisi ini mempresentasikan bahwa bahan bakar tanpa control ecomizer masih mengalir ke engine, namun control ecomizer bahan bakar yang mengalir ke engine dikurangi. Kondisi ini terlihat dengan pencapaian peningkatan nilai AFR. Fuel consumption berada pada 0,005 gram/sec dapat terlihat dalam gambar 4.15(b) untuk tanpa control ecomizer, sedangkan dengan control ecomizer konsumsi bahan bakar mencapai nilai nol.



Gambar 4.15 Nilai AFR (a) dan *Fuel Consumption* (b).

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian Pengembangan *Modeling Sistem Control* dengan Integrasi *Transmission* dan *brake control system* yang dilakukan didapati kondisi diantaranya :

- a. Kondisi kendaraan saat deaccelerasi pada kecepatan kendaraan rendah saat dilakukan pengereman, maka sistem *control economizer* bekerja. Hal ini terlihat dengan peningkatan nilai *AFR* sangat besar serta penurunan konsumsi bahan bakar.
- b. Kondisi kendaraan saat deaccelerasi pada kecepatan kendaraan rendah tanpa melakukan pengereman, maka sistem *control economizer* tidak bekerja. Hal ini terlihat dengan nilai *AFR* berada pada kisaran nilai *stoichiometry* 14,7 dan konsumsi bahan bakar pada 0,001 gram/sec.
- c. Kondisi kendaraan saat deaccelerasi pada kecepatan kendaraan tinggi tanpa melakukan pengereman maupun dengan pengereman, maka sistem *control economizer* bekerja. Peningkatan nilai *AFR* sangat besar pada kondisi ini tercapai, serta konsumsi bahan bakar menurun.

Dengan hasil Pengembangan Pemodelan *Transmission ControlSystem* dan *Brake Control System* Pada Teknologi Injeksi *Gasoline Engine* yang telah dilakukan, kendaraan akan mengalami peningkatan efisiensi bahan bakar pada :

- a. Deaccelerasi kendaraan saat kendaraan pada kecepatan rendah dengan melakukan proses pengereman.
- b. Deaccelerasi kendaraan saat kendaraan pada kecepatan tinggi dengan melakukan proses pengereman.
- c. Deaccelerasi kendaraan saat kendaraan pada kecepatan tinggi tanpa melakukan proses pengereman.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, ini memberikan potensi efisiensi bahan bakar sangat besar. Untuk itu segera dilakukan aplikasi Desain *Transmission ControlSystem* dan *Brake Control System* Pada Teknologi Injeksi *Gasoline Engine* pada kendaraan nyata. Teknologi ini sangat membantu program

pemerintah dalam peningkatan efisiensi energi nasional serta menurunkan emisi gas buang yang dihasilkan kendaraan. Selain itu juga membantu mencegah adanya dampak *global warming* yang dihasilkan oleh asap kendaraan.

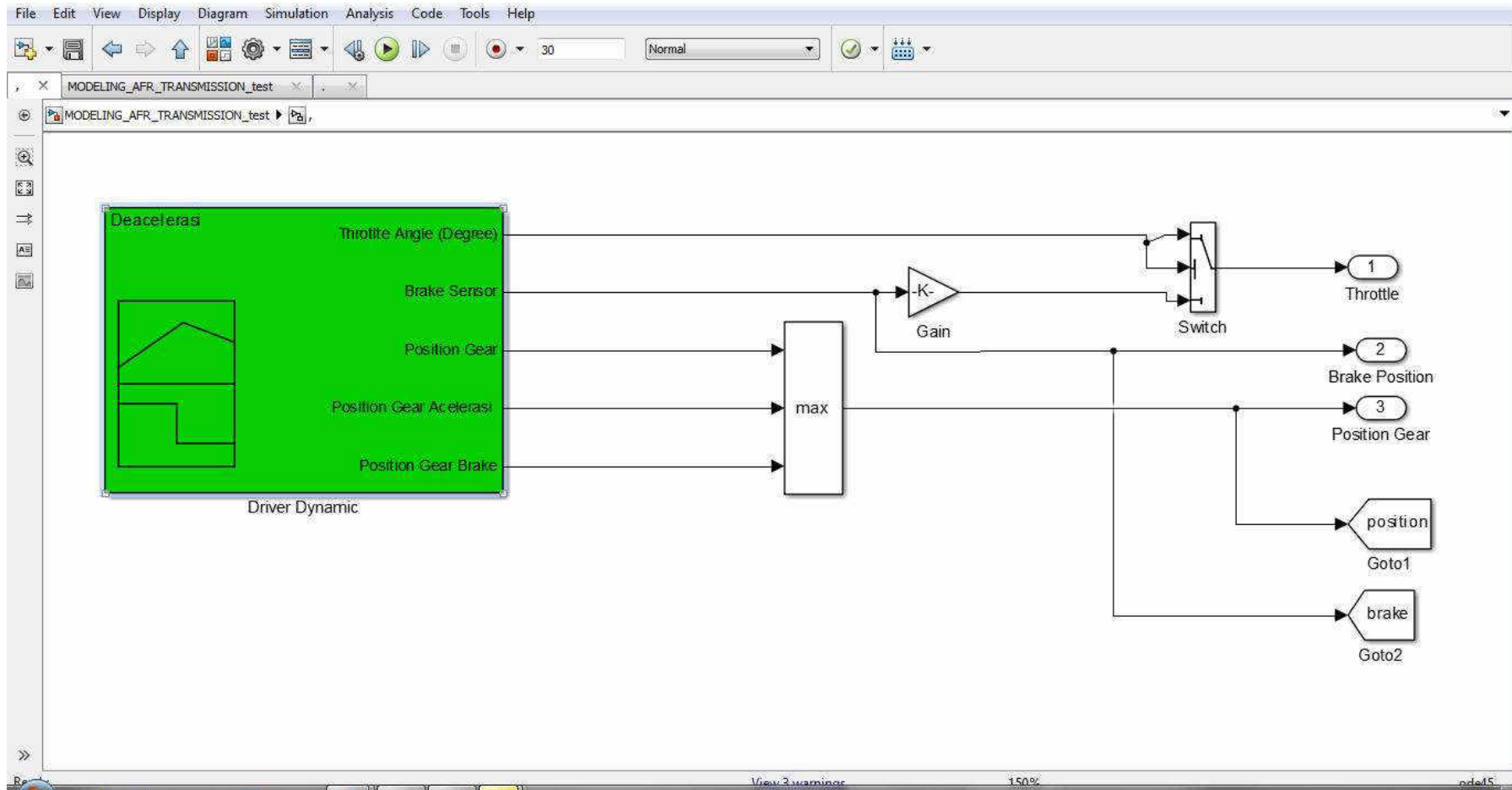
DAFTAR PUSTAKA

- Aleiferis, P.G., Hardalupas, Y., Taylor, A.M.K.P., Ishii, K., dan Urata, Y., 2004, "Flame chemiluminescence studies of cyclic combustion variations and air-to-fuel ratio of the reacting mixture in a lean-burn stratified-charge spark-ignition engine," *Combustion and Flame*, 136, 72 – 90.
- Badan Pusat Statistik, 2015, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis tahun 1987-2013," (<http://www.bps.go.id>, diakses 26 Maret 2015).
- Ebrahimi, B., Tafreshi, R., Masudi, H., Franchek, M., dan Mohammadpour, J. , 2012, "Control Engineering Practice A parameter-varying filtered PID strategy for air – fuel ratio control of spark ignition engines," *Control Engineering Practice*, 20(8), 805–815.
- Fang, S., Song, J., Song, H., Tai, Y., Li, F., & Nguyen, T. S. (2015). Design and control of a novel two-speed Uninterrupted Mechanical Transmission for electric vehicles. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 75 (15), 473-493.
- Kheir, N., Salman, M., dan Schouten, N. J. , 2004, "Emissions and fuel economy trade-off for hybrid vehicles using fuzzy logic," *Mathematics and Computers in Simulation*, 66(2-3), 155–172.
- Kolesnikov, I., 2014, "Crude Oil Price Forecast: Long Term to 2025 | Data and Charts,"(<http://knoema.com/yxptpab/crude-oil-price-forecast-long-term-to-2025-data-and-charts>,diakses 26 Maret 2015).
- Heywood, B., J., 1988, "*Internal Combustion Engine Fundamental*," McGraw-Hill, Inc, United States of America.
- Maurya, R. K., dan Agarwal, A. K. , 2011, "Experimental investigation on the effect of intake air temperature and air–fuel ratio on cycle-to-cycle variations of HCCI combustion and performance parameters," *Applied Energy*, 88(4), 1153–1163.
- Ma, T. (2013). *Model-Based Control Design and Experimental Validation of an Automated Manual Transmission* (thesis, The Ohio State University).
- MathWorks, 2015," Modeling an Automatic Transmission Controller," (<http://www.mathwork.com>, diakses 12 Juli 2015).
- Mousavi, M. S. R., Pakniyat, A., Wang, T., & Boulet, B. (2015). Seamless dual brake transmission for electric vehicles: Design, control and experiment. *Mechanism and Machine Theory*, 94, 96-118.
- Pourkhesalian, A. M., Shamekhi, A. H., dan Salimi, F., 2010," Alternative fuel and gasoline in an SI engine: A comparative study of performance and emissions characteristics," *Fuel*, 89(5), 1056–1063.
- Robert, B.G, 2002," *ElectronicAutomotive Handbook* ," Bosh GmbH Germany.
- Tseng, C. Y., & Yu, C. H. (2015). Advanced shifting control of synchronizer mechanisms for clutchless automatic manual transmission in an electric vehicle. *Mechanism and Machine Theory*, 84, 37-56.
- Togun, N., Baysec, S., dan Kara, T. , 2012," Nonlinear modeling and identification of a spark ignition engine torque," *Mechanical Systems and Signal Processing*, 26, 294–304.
- Tverberg, G.E., 2012, "Oil supply limits and the continuing financial crisis. *Energy*," *Energy*, 37(1), 27 – 34.
- Yildiz, Y., Annaswamy, A. M., Yanakiev, D., dan Kolmanovsky, I., 2010," Spark ignition engine fuel-to-air ratio control: An adaptive control approach," *Control Engineering Practice*, 18(12), 1369–1378.

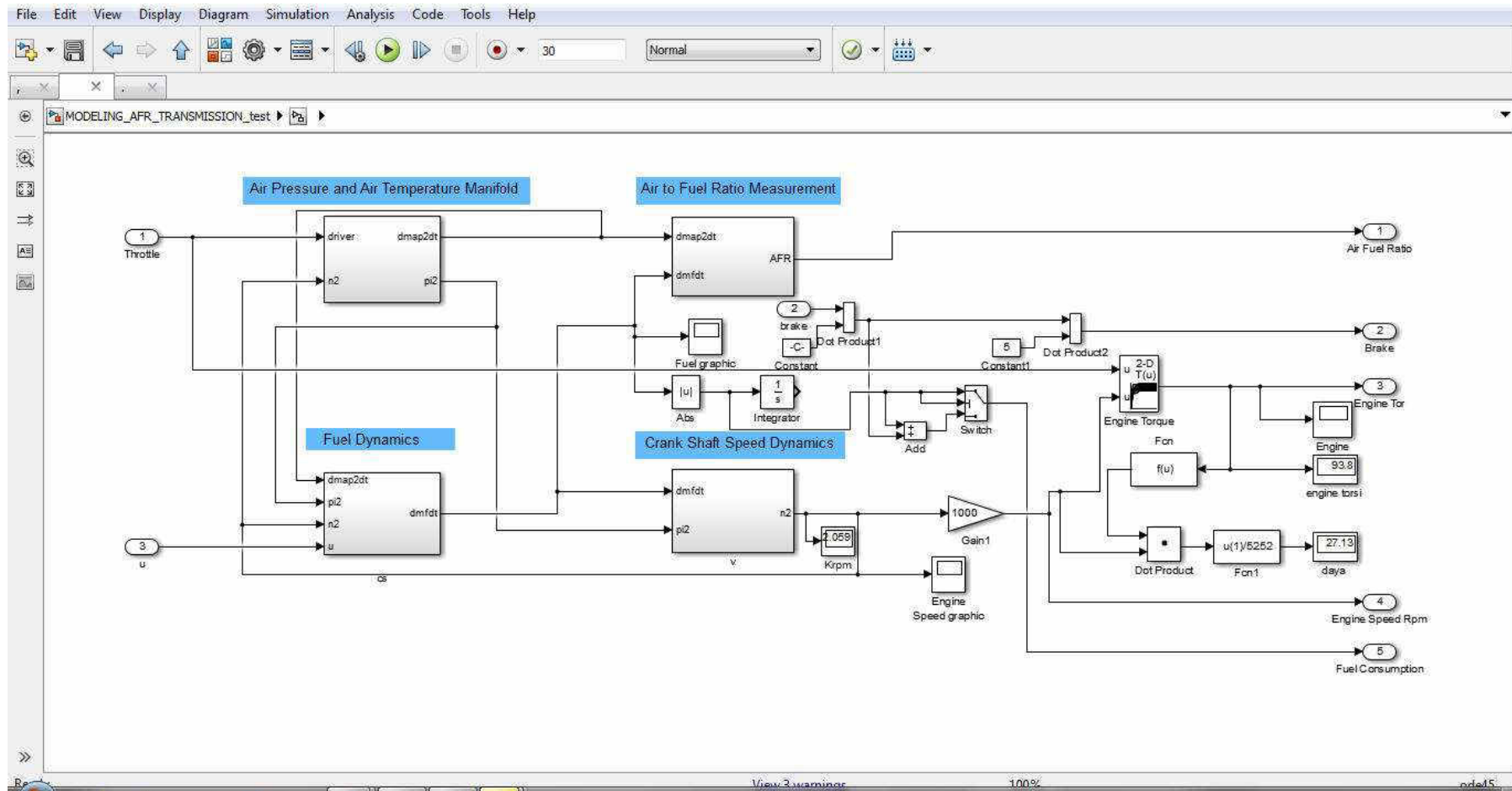
- Zhai, Y.J., dan Yu, D.L, 2009, "Neural network model-based automotive engine air/fuel ratio control and robustness evaluation," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22(2), 171–180.
- Vasca, F., Iannelli, L., Senatore, A., & Reale, G. (2011). Torque transmissibility assessment for automotive dry-clutch engagement. *Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on*, 16(3), 564-573.
- Wang, S.W., Yu, D.L, Goman, J.B.,Page, G. F., dan Douglas, S. S. ,2006," Adaptive neural network model based predictive control for air–fuel ratio of SI engines," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19(2), 189–200.
- Zhao, J., dan Xu, M., 2013, "Fuel economy optimization of an Atkinson cycle engine using genetic algorithm," *Applied Energy*, 105, 335–348.
- Zhou, X., Walker, P., Zhang, N., Zhu, B., & Ruan, J. (2014). Numerical and experimental investigation of drag torque in a two-speed dual clutch transmission. *Mechanism and Machine Theory*, 79, 46-63.

LAMPIRAN

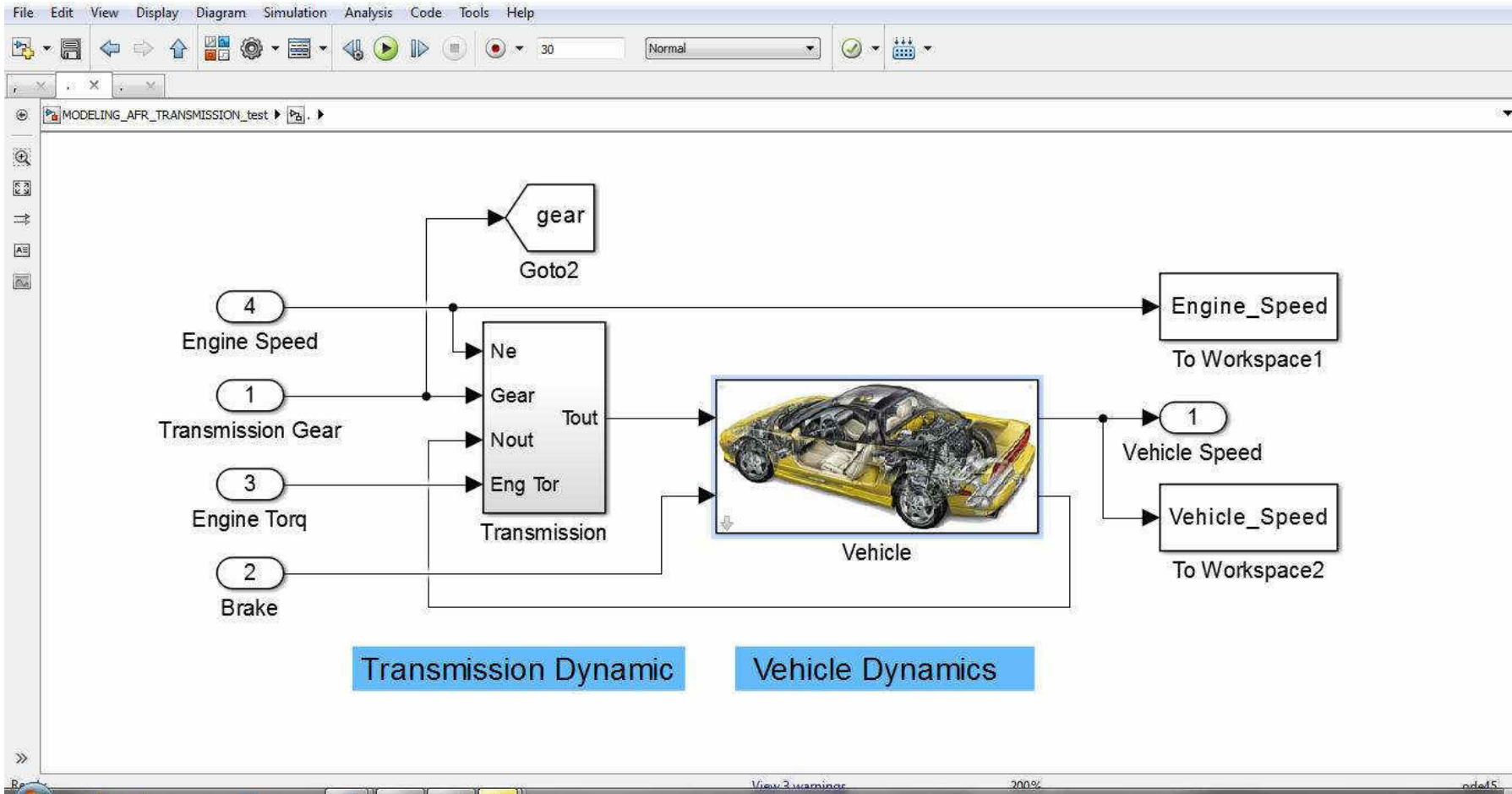
Lampiran 1. Driver Dynamics Modeling.



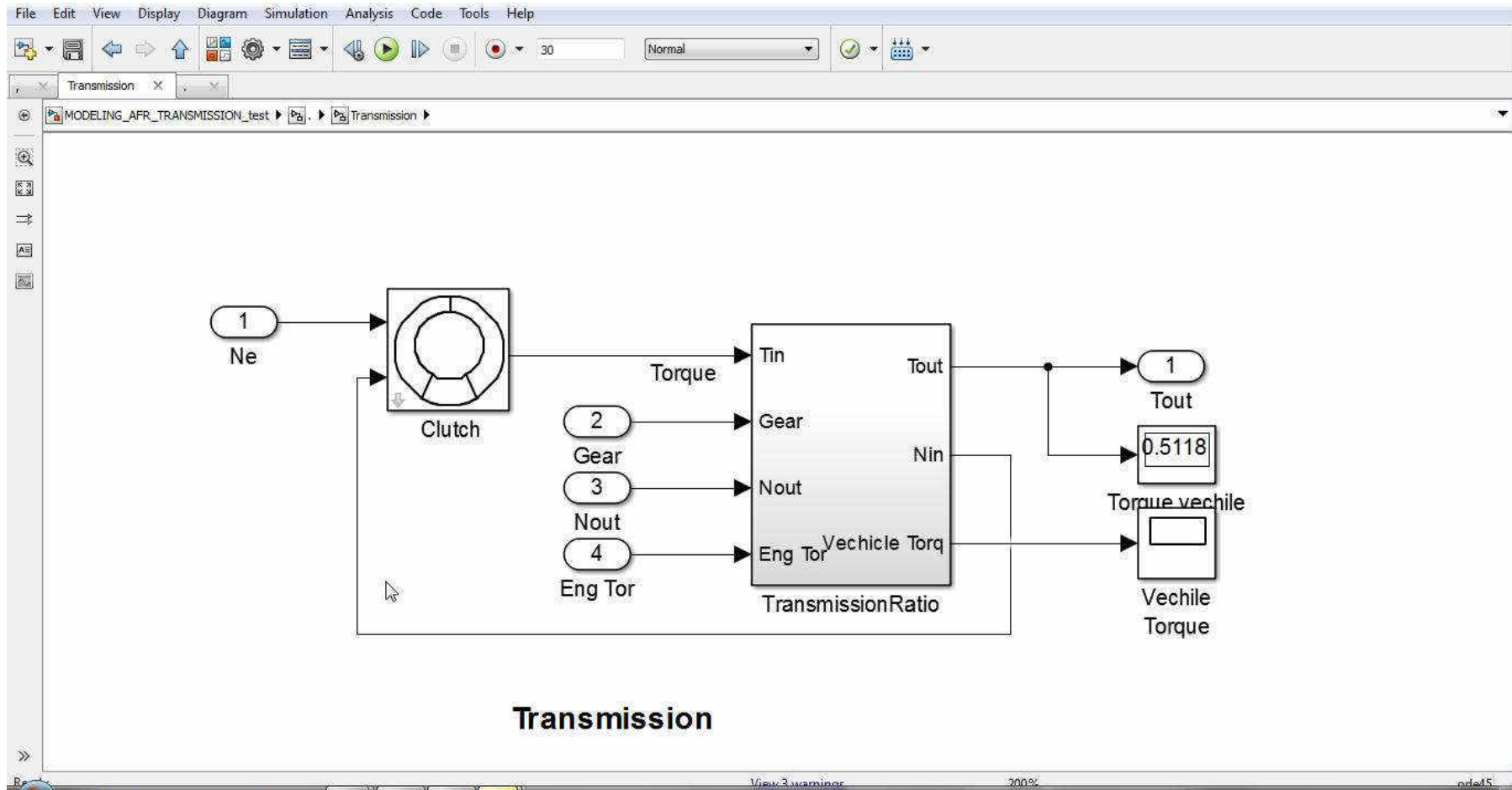
Lampiran 2.Engine Modeling.



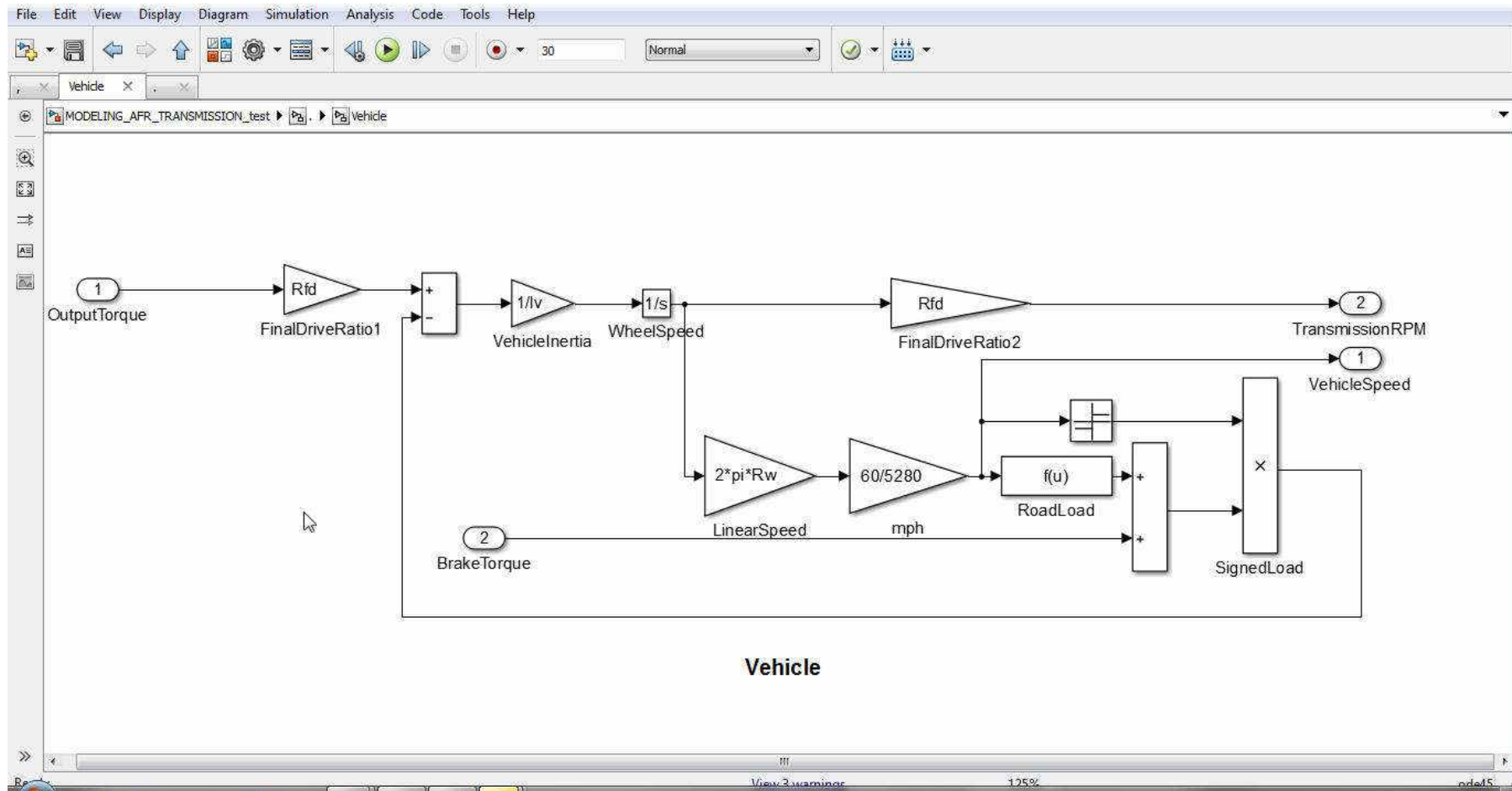
Lampiran 3. Vehicle Modeling.



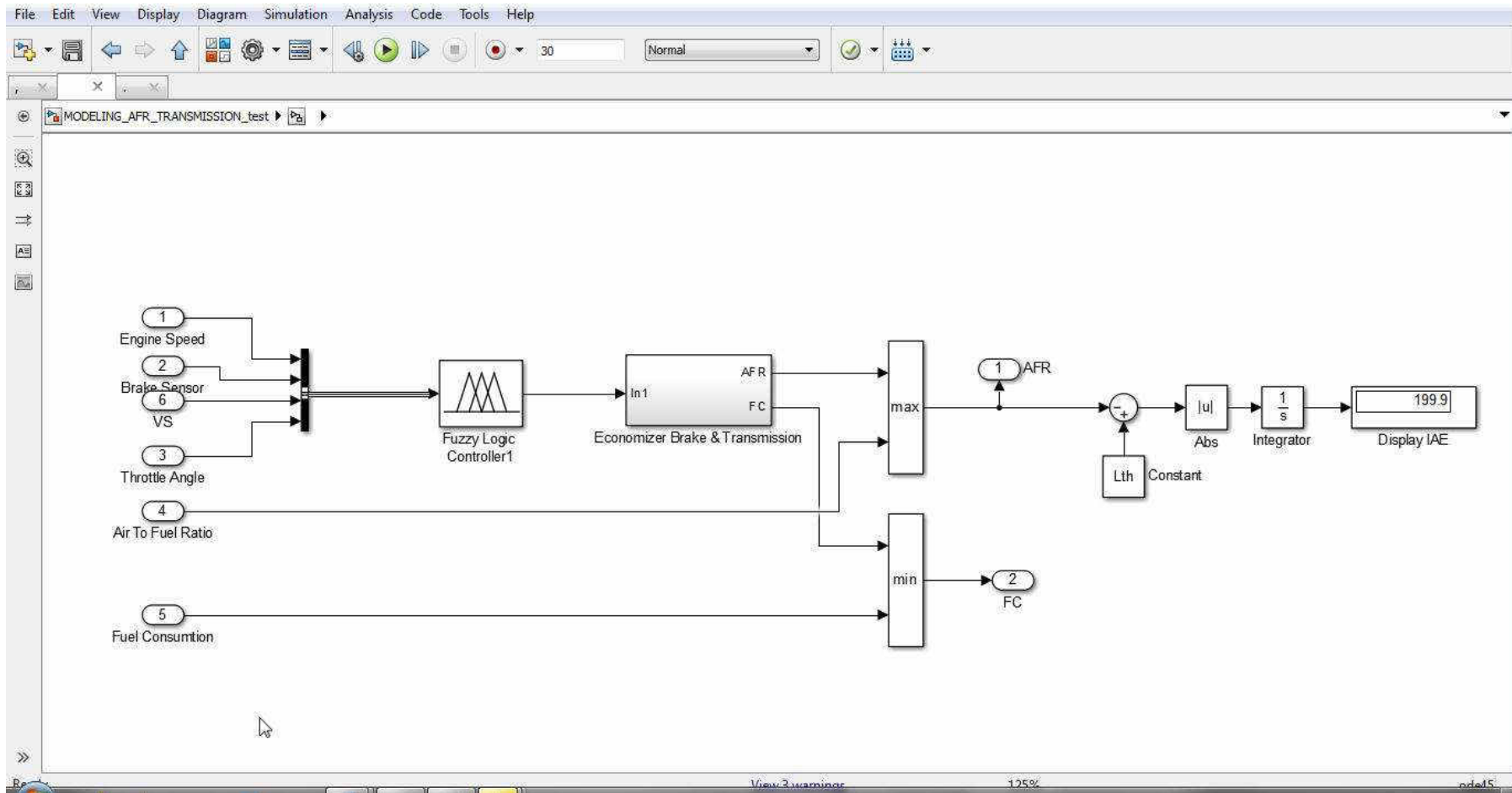
Lampiran 4. Transmission Modeling.



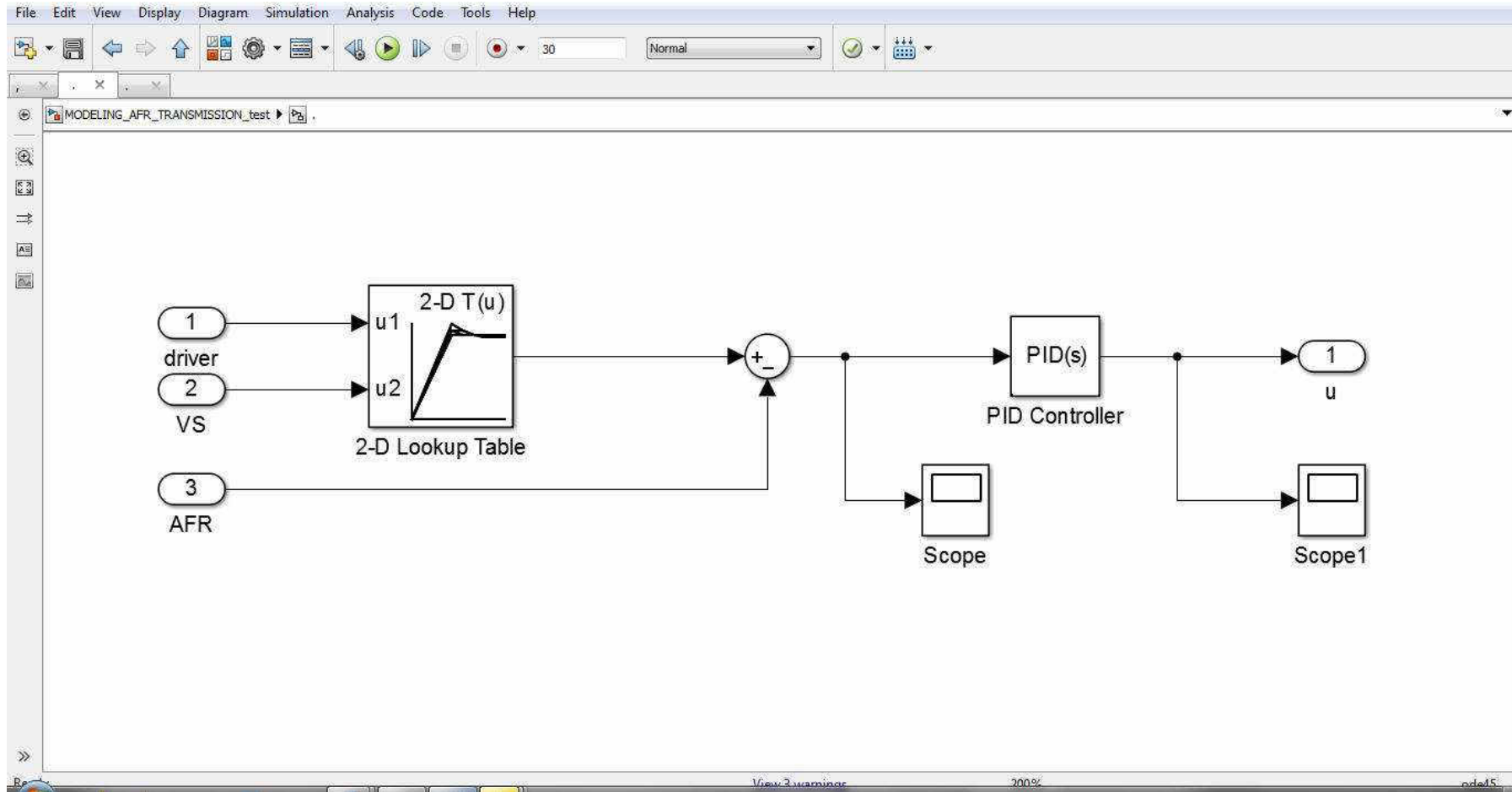
Lampiran 5. *Vehicle Dynamic Modeling.*



Lampiran 6. Transmission and Brake Control Modeling.



Lampiran 7. Controller Modeling.



Lampiran 8. Parameter Vehicle Modeling dengan Software Matlab.

```
runengine.m
1
2 pi2 = 0.24; % manifold pressure (bar)
3 Ti2 = 353; % manifold temperature (Kelvin)= 353-273=80 celsius
4 pc = 0.4125; % critical manifold pressure
5 Ta = 293; % atmospheric temp / ambient temperature/suhu ruangan (kelvin)
6 pa = 1.013; % atmospheric press
7 mat0 = 0; % older model -0.0045;
8 mat1 = 5.9403; % older model -0.0045;
9 mpTa = mat1*pa/sqrt(Ta); % mpTa = 0.35154749987131
10 si = 0.961; % approximation of speed-
11 yi = -0.07; % density equation
12 kappa = 1.4; % cp/cv (Ratio spec heat)
13 Tegr = 298; % egr gas temperature (kelvin)= 298 -278 =20 celsius
14 dmegrdt = 0.0; % egr mass flow (diabaikan)
15 beta2min = 0.000001; % prevents division by zero
16 pi2ini = 0.23926; % manifold pressure initial condition (0.23926)
17 Ti2ini = 293; % manifold temperature initial condition (293)
18 n2ini = 0.9; % crankshaft speed initial condition (0.9)
19 Rfd = 4.2;
20 Rw = 1.897;
21 rload0 = 40;
22 rload2 = 0.02;
23 Iv = 12.09;
24 N20 = 10;
25 Iei = 0.02199;
26 pi= 22/7;
27
```

Lampiran 9. *Ratio Selective Gear Transmission*

| <i>Gear</i> | R_{TR} |
|-------------|----------|
| 1 | 3.55 |
| 2 | 1.91 |
| 3 | 1.31 |
| 4 | 0.97 |
| 5 | 0.82 |

Lampiran 10. Biodata Ketua/Anggota Tim Peneliti/Pelaksana

Biodata Ketua Tim Peneliti

A. Identitas Diri

| | | |
|----|-------------------------------|---|
| 1 | Nama Lengkap (dengan gelar) | Suroto Munahar, ST, MT |
| 2 | Jenis Kelamin | Laki Laki |
| 3 | Jabatan Fungsional | - |
| 4 | NIP/NIK/Identitas lainnya | 157808164 |
| 5 | NIDN | 0620127805 |
| 6 | Tempat dan Tanggal Lahir | Magelang, 20 Desember 1978 |
| 7 | E-mail | surotomnhr@gmail.com |
| 9 | Nomor Telepon/HP | 085740742923 |
| 10 | Alamat Kantor | Jl. Mayjend Bambang Soegeng Mertoyudan Magelang |
| 11 | Nomor Telepon/Faks | 0293 326945 |
| 12 | Lulusan yang Telah Dihasilkan | D-3 =12 orang; S-1 = 0 orang; S-2 = 0 orang; S-3 = 0 |
| 13 | Mata Kuliah yg diampu | 1. <i>Gasoline Engine Management System</i> |
| | | 2. <i>Diesel Engine Management System</i> |
| | | 3. <i>Drive Train Mechanics</i> |
| | | 4. <i>Automotive Mechatronics</i> |

B. Riwayat Pendidikan

| | S1 | S2 | S3 |
|-------------------------------|--|--|----|
| Nama Perguruan Tinggi | Universitas Muhammadiyah Magelang | Universitas Diponegoro | |
| Bidang Ilmu | Teknik Industri | Teknik Mesin | |
| Tahun Masuk-Lulus | 2004-2008 | 2014-2015 | |
| Judul Skripsi/Tesis/Disertasi | Pengembangan Disain Antropometer Dengan <i>Computer Digital Image processing</i> Guna Mengukur Dimensi Tubuh Manusia | Peningkatan Efisiensi Bahan Bakar Dengan Desain dan Implementasi <i>Air to fuel ratio (AFR)</i> dan <i>Brake Control System</i> Pada Mesin Berbahan bakar Bensin | |
| Nama Pembimbing/Promotor | 1. Oesman Raliby A., ST, M.Eng. 2. Dra. Retno Rusdijjati, M.Kes. | 1. Dr. Aris Triwiyanto, ST, MT. 2. Joga Dharma Setiawan, B.Sc, M.Sc, PhD. | |

C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir
(Bukan Skripsi, Tesis, maupun Disertasi)

| No | Tahun | Judul Penelitian | Pendanaan | |
|----|-------|---|-----------|-----------------|
| | | | Sumber | Jumlah |
| 1 | 2014 | Strategi Peningkatan Model <i>Air to Fuel Ratio (AFR)</i> dan <i>Brake Control System</i> pada Mesin Bensin | Mandiri | Rp. 6.000.000,- |
| 2 | 2015 | <i>Smart Controller Design of Air to Fuel Ratio and Brake Control System on Gasoline Engine</i> | Mandiri | Rp. 6.000.000,- |

E. Publikasi Artikel Ilmiah Dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

| No | Judul Artikel | Nama Jurnal | Volume/Nomor/Tahun |
|----|---|---|----------------------------------|
| 1 | Strategi Peningkatan Model <i>Air to Fuel Ratio (AFR)</i> dan <i>Brake Control System</i> pada Mesin Bensin | Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke – 21 UGM Yogyakarta | ISBN : 978 – 602-70455-1-4 /2014 |
| 2 | <i>Smart Controller Design of Air to Fuel Ratio and Brake Control System on Gasoline Engine</i> | <i>Preceeding International Conference on Informatian Technology, computer and electrical Engineering (ICITACEE) 2015</i> | ISBN:978 -4799-9861-6/2015 |

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidak-sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi. Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Penelitian Dosen Pemula.

Magelang, 23Oktober 2016
Pengusul,

Suroto Munahar ,ST, MT

Biodata Anggota Tim Peneliti

A. Identitas Diri

| | | |
|----|-----------------------------|--|
| 1 | Nama Lengkap (dengan gelar) | Muji Setiyo, ST., MT. |
| 2 | Jenis Kelamin | Laki Laki |
| 3 | Jabatan Fungsional | Asisten Ahli |
| 4 | NIP/NIK/Identitas lainnya | - |
| 5 | NIDN | 0627038302 |
| 6 | Tempat dan Tanggal Lahir | Temanggung, 27 Maret 1983 |
| 7 | E-mail | setiyo.muji@ummgl.ac.id |
| 9 | Nomor Telepon/HP | 082330623257 |
| 10 | Alamat Kantor | Jl. Mayjend Bambang Soegeng km.05 Mertoyudan Magelang |

B. Riwayat Pendidikan

| | D3 | S1 | S2 | S3 |
|------------------------------|---|---|-------------------------------|-----------------------|
| Nama Perguruan Tinggi | Universitas Muhammadiyah Magelang | Universitas Muhammadiyah Yogyakarta | Universitas Pancasila Jakarta | Universitas Brawijaya |
| Bidang Ilmu | Teknik Otomotif | Teknik Mesin | Teknik Mesin | Teknik Mesin |
| Nama Pembimbing/ Promotor | 1. Ir. Moehamad Aman, MT 2. Agus Bagyono, ST | 1. Ir. Sudarja, MT 2. Wahyudi, ST, MT. | Prof. Dr. Ir. Prawoto, M.Sae. | Prof. Sudjito, Ph.D |
| Tahun Masuk-Lulus | 2002-2006 | 2007-2009 | 2010-2012 | 2014-sekarang |

C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir

| No | Tahun | Judul Penelitian | Pendanaan | |
|----|-------|---|--------------------------|------------------|
| | | | Sumber | Jumlah (juta Rp) |
| 1. | 2012 | RISET UNGGULAN DAERAH (RUD) : Pemanfaatan LPG Kemasan 12 Kg Sebagai Bahan Bakar Kendaraan Konvensional dan Penerapan Sirkuit <i>De-Ignition</i> Sebagai Rangkaian Pengaman | Pemerintah Kota Magelang | 15 |
| 2. | 2012 | HIBAH PENELITIAN LP3M UMM : Penerapan Sirkuit <i>Fuel Cut Off</i> pada Mesin Berbahan Bakar LPG | LP3M Univ.Muh. | 4 |

| | | | | |
|----|------|---|---------------------------------|-----|
| | | | Magelang | |
| 3. | 2013 | INSENTIF RISET SISTEM INOVASI NASIONAL : Desain Coupling dan Mixer Variable Untuk Mempercepat Pemanfaatan LPG Sebagai Bahan Bakar Angkutan Umum Serta Pemilihan Vaporizer Yang Sesuai (tahun ke-1) | Kementerian Riset dan Teknologi | 220 |
| 4. | 2014 | INSENTIF RISET SISTEM INOVASI NASIONAL : Desain Coupling dan Mixer Variable Untuk Mempercepat Pemanfaatan LPG Sebagai Bahan Bakar Angkutan Umum Serta Pemilihan Vaporizer Yang Sesuai (tahun ke-2) | Kementerian Riset dan Teknologi | 200 |
| 5. | 2014 | PENELITIAN DOSEN PEMULA : Investigasi Penurunan Daya Pada Kendaraan Berbahan Bakar Gas LPG Dengan Metode Pengukuran Efisiensi Volumetris | Dikti | 15 |
| 6. | 2015 | INSENTIF RISET SISTEM INOVASI NASIONAL Pengembangan Sistem Kontrol Pengapian Dan Sistem Deceleration Fuel Cut Off Pada Kendaraan Bi-Fuel Untuk Mendukung Program Konversi Bahan Bakar Gas | Kementerian Riset dan Teknologi | 200 |

D. Publikasi Artikel Ilmiah Dalam Jurnal Dalam 5 Tahun Terakhir



| No | Tahun | Judul Artikel | Nama Jurnal | Volume |
|----|-------|--|---|----------------------------|
| 1 | 2012 | Pemanfaatan LPG Sebagai Bahan Bakar Kendaraan Kaitannya Dengan Sistem Pendinginan Mobil | Jurnal Kajian Permasalahan dan Isu - Isu Strategis Daerah | Vol 12/ No.2 |
| 2 | 2016 | Performance Of Gasoline/LPG Bi-Fuel Engine Of Manifold Absolute Pressure Sensor (MAPS) Variations Feedback | ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences | VOL. 11, NO. 7, APRIL 2016 |

E. Perolehan Hki Dalam 5 Tahun Terakhir

| No | Tahun | Judul / Tema HKI | Jenis | Nomor P/ID |
|----|-------|---|-----------------|--------------|
| 1 | 2010 | Mesin Pembelah Tahu | Paten sederhana | S00201200112 |
| 2 | 2013 | Alat Penyambung Nepel Tabung Gas | Paten | P00201304508 |
| 3 | 2013 | Alat Pencampur Gas Untuk Kendaraan Berbahan Bakar Gas | Paten | P00201304509 |
| 4 | 2015 | Alat Pencampur Gas Dengan Venturi Sekunder Untuk Kendaraan Berbahan Bakar Gas | Paten sederhana | S00201507904 |
| 5 | 2015 | Alat Pengaturan Waktu Pengapian Pada Kendaraan Berbahan Ganda | Paten sederhana | S00201507905 |

F. Pengalaman Mendapatkan Luaran Penelitian Lainnya

| No | Judul Luaran | Jenis Luaran* | Tahun Perolehan | Diskripsi Singkat |
|----|---|--|-----------------|---|
| 1 | Mesin Pembelah Tahu | TTG | 2010 | <p>a. Sebuah alat pembelah tahu pong sebagai bahan kerupuk tahu, dengan kecepatan potong 200-300 tahu/menit</p> <p>b. Telah dimanfaatkan UMKM tahu pong kota magelang</p> |
| 2 | Nepel Pemercepat Pemanfatan LPG Untuk Kendaraan | Prototipe  | 2013 | <p>a. Sebuah kopleng untuk menyambung tabung gas ke konverter kits</p> <p>b. TRL : Intermediete (level 7)</p> |
| 3 | Mixer Variabel Untuk Kendaraan Berbahan Bakar Gas | Prototipe  | 2013 | <p>a. Sebuah mixer gas dengan luasan venturi yang dapat diubah-ubah.</p> |

| | | | | |
|---|--|--|------|---|
| | | | | b. TRL : Intermediete (level 7) |
| 4 | Mixer Dinamis Untuk Kendaraan Berbahan Bakar Gas | Prototipe  | 2014 | a. Sebuah mixer gas dengan venturi otomatis yang bekerja berdasar signal kevakuman b. TRL : Intermediete (level 7) |
| 5 | Modul Sistem Kontrol Pengapian Untuk Kendaraan Bi-Fuel | F  | 2015 | a. Sebuah sirkuit penyesuai saat pengapian pada mesin bahan bakar bi-fuel b. TRL : Intermediete (level 7) |

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima risikonya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan insentif artikel ilmiah 2016.

Magelang, 21 April 2016
Pengusul,



Muji Setiyo, ST, MT
NIK. 108306043

Lampiran 11.Draft Paper

AFR Modeling of EFI Engine Based on Engine Dynamic and Transmission Control System

Pemodelan AFR pada Mesin EFI dengan Kontrol Dinamika Mesin dan Sistem Transmisi

Suroto Munahar¹, Muji Setiyo^{1,*}

^{1,2}Laboratorium Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang
Jl. Mayjend Bambang Soegeng km.05 Mertoyudan Magelang, Indonesia

Received XXMonth 20XX; revised XXMonth 20XX; accepted XXMonth 20XX, Published XXMonth 20XX
Academic Editor: Asmara Yanto (asmarayanto@yahoo.com)

Correspondence should be addressed to setiyo.muji@ummgl.ac.id

Copyright © 2016 by Muji Setiyo. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract

During this time, the AFR control systems on the Light Duty Vehicles (LDVs) generally only engage the engine condition, such as manifold pressure, engine speed. In fact, fuel consumption is not only influenced by the engine dynamics but also influenced by outside factors such as gear position (transmission) and vehicle speed. Therefore, this paper presents a simulation to control the Air to Fuel Ratio (AFR) on Electronic Fuel Injection (EFI) engine that accommodated engine dynamics, vehicle speed dynamics, and gear position dynamics (transmission). Fuzzy Logic Controller (FLC) was selected for AFR modeling because of the engine work in a non-linear condition. The simulation results show that the model developed is able to control the AFR on the vehicle speed changes. Even, the system is able to perform fuel cut-off at the time of deceleration from high speeds.

Keywords: keywords contain three to five words/phrases separated with coma.

Pendahuluan

Sektor transportasi telah menyumbangkan emisi terbesar yang berdampak pada pemanasan global [1,2]. Efek lain adalah penurunan kualitas udara terutama pada perkotaan yang secara langsung mempengaruhi kesehatan manusia [3]. Di sisi lain, pertumbuhan jumlah kendaraan dengan sistem propulsi *spark ignition (SI) engine* dan *compression ignition (CI) engine* dalam dekade terakhir justru semakin meningkat [4]. Peningkatan jumlah kendaraan ini juga berkontribusi signifikan terhadap konsumsi energi dan perekonomian global [5].

Beberapa upaya untuk mengurangi emisi dari sektor transportasi darat memang telah dilakukan. Teknologi *fuel cell (FCs)* dan *electric vehicle (Evs)* merupakan teknologi kendaraan mendatang yang bebas dari emisi *tailpipe* (CO, HC, NO_x). Namun demikian, baik FCs dan EVs memiliki kelemahan dalam keterbatasan jarak tempuh, infrastruktur yang

tersedia, dan biaya kepemilikan yang sangat tinggi [6].

Dalam jangka menengah, pengembangan *hybrid vehicle* dengan mengkombinasikan *gasoline engine* dengan *electric engine* menjadi pilihan yang masuk akal [7]. Namun demikian, harga produk teknologi *hybrid* masih cukup mahal. Aplikasi selanjutnya adalah etanol sebagai energi alternatif [8]. Studi karakteristik etanol sebagai bahan bakar nabati telah banyak dilakukan [9-12]. Etanol telah terbukti menghasilkan emisi dan daya yang *comparable* dengan *SI engine*. Namun, aplikasi etanol dalam secara besar akan berbatasan dengan ketersediaan lahan untuk mengembangkan bahan bakunya [13,14].

Kenyataannya, laporan GAIKINDO dalam *Indonesia Automotive Industry: Report on 2013 Auto Market*, trend perkembangan industri otomotif nasional masih hampir seluruhnya berbasis sistem propulsi SI dan CI [5]. Khusus mobil dengan mesin SI, produksi mobil baru

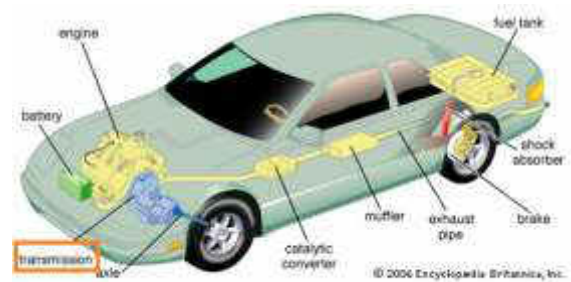
memang telah berubah dari mesin EFI biasa ke *Low Cost Green Car* (LCGC). Bahkan, setelah tahun 2015, LCGC dikembangkan menjadi *Low Carbon Emission Program* (LCEP). Meskipun skema pengembangan industri mobil telah mengarah pada LCGC dan LCEP, dalam kenyataannya pembakaran dengan campuran miskin (*lean combustion*) atau setidaknya pembakaran ideal ($\lambda=1$) belum dapat tercapai pada seluruh rentang putaran mesin [15].

Untuk mengakomodasi teknologi *Electronic Fuel Injection* (EFI) sebelum berpindah ke FCs dan EVs, salah satu cara untuk mengurangi emisi dan menghemat bahan bakar tetapi tetap menghasilkan output daya yang optimal dilakukan dengan teknologi kontrol *Air to Fuel Ratio* - (*AFR*). Teknologi ini banyak diaplikasikan, karena memiliki *economic value* yang besar. Pencapaian *AFR* ideal 14,7 (*stoichiometry*) menjadi prioritas dari sistem control [16].

Dalam dekade terakhir, perkembangan teknologi *AFR* mengalami kemajuan yang sangat signifikan. Diantaranya dilakukan dengan optimalisasi algoritma genetik sebagai sistem pengendali *AFR* untuk peningkatan efisiensi bahan bakar [17] dan aplikasi *Adaptive Neural Network* untuk mencapai kondisi *stoichiometry* pada *gasoline engine* [18]. Hasil yang diperoleh dengan kolaborasi metode *Hessian* dapat mengendalikan *AFR* pada area *stoichiometry*. Selain itu, optimasi sistem non-linear telah dapat dikontrol dengan lebih baik.

Teknologi *AFR* yang berkembang saat ini masih memiliki kelemahan. *AFR* dikontrol sebagian besar hanya berdasar pada kondisi kondisi mesin. Sementara itu, saat kendaraan berjalan, aliran bahan bakar tidak hanya berdasar pada kevakuman mesin, tetapi melibatkan komponen diluar mesin seperti pengereman dan posisi gigi percepatan (*transmisi*). Penelitian kontrol *AFR* dengan pelibatan kondisi external mesin pernah dilakukan oleh Triwiyatno [19] melalui kontrol dari sistem pengereman sebagai kendali *AFR* pada *EFI engine*. Namun demikian, sebuah mobil terdiri dari sistem sistem yang kompleks

dengan aliran daya seperti ditunjukkan dalam gambar 1.

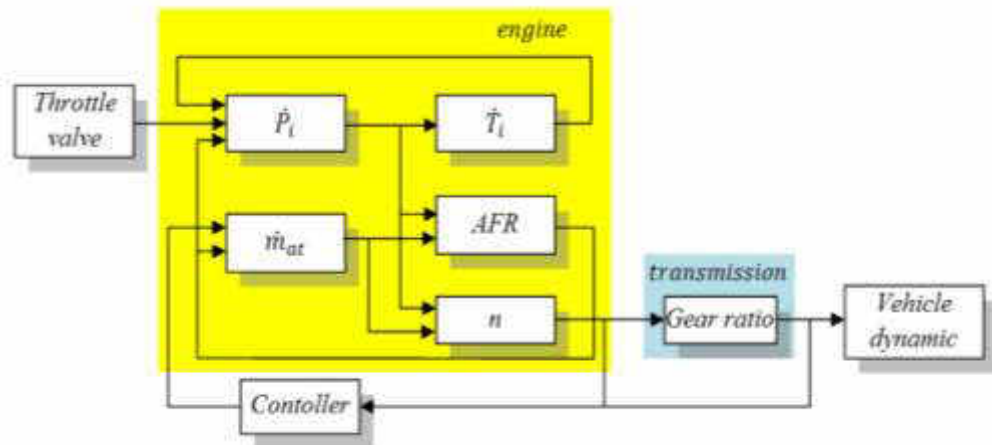


Gambar 1. Sistem pada kendaraan [20]

Mengingat bahwa daya mesin sebelum ditransfer ke roda-roda melalui sebuah sistem transmisi (Gambar 1), penelitian ini akan mengkaji sebuah pemodelan *AFR* yang dikontrol tidak hanya berdasar kondisi mesin, tetapi juga melibatkan *feedback* dari posisi gigi percepatan (*transmission system*). *Transmission control system* didesain untuk mengendalikan supply bahan bakar untuk mencapai *AFR* ideal pada kecepatan rendah dan *zero fuel consumption* saat perlambatan dari kecepatan tinggi. Sistem kontrol dikembangkan dengan *Fuzzy Logic Controller* (*FLC*) karena memiliki kestabilan yang baik dan dapat memecahkan permasalahan dengan data data yang tidak tepat [19-21, 22].

Pemodelan Sistem

Dalam pemodelan ini, sistem kontrol dikembangkan dengan menambahkan *transmission control system* sebagai pengendali bahan bakar, dalam hal ini adalah *AFR*. Sistem kontrol memiliki beberapa inputan diantaranya kecepatan kendaraan, putaran mesin, posisi *throttle valve* dan kecepatan kendaraan. *Speed gear* memberikan ratio pada transmisi untuk merubah kecepatan kendaraan. Diagram blok pemodelan kendaraan disajikan pada gambar 2 sebagai berikut.



Gambar2. Diagram blok pemodelan kendaraan

Engine Modeling

Engine modeling dipresentasikan dengan beberapa bagian, yaitu dinamika di dalam intake manifold (tekanan dan temperatur), aliran udara dalam intake manifold, aliran bahan bakar, AFR dan putaran mesin.

Dinamika tekanan dan temperatur intake manifold

Tekanan intake manifold (\dot{P}_i) sebagai fungsi utama yang terdiri aliran udara, aliran bahan bakar, dan bukaan throttle valve. Rasio kalor spesifik udara (k) ditentukan dengan nilai 1.4 (c_p/c_v). R adalah konstanta gas dengan nilai 287×10^{-5} . Volume saluran intake manifold dinotasikan dengan V_i dalam satuan m^3 . \dot{m}_{ap} dan \dot{m}_{at} adalah tekanan dan massa udara dalam intake manifold. T_a adalah temperatur ambient udara dalam satuan Kelvin. Tekanan dalam intake manifold diformulasikan dengan persamaan (1) sebagai berikut.

$$\dot{P}_i = \frac{kR}{V_i} (-\dot{m}_{ap} + \dot{m}_{at} T_a) \quad (1)$$

Selanjutnya, dinamika temperatur udara dalam intake manifold (\dot{T}_i) disajikan pada persamaan (2).

$$\dot{T}_i = \frac{RT_i}{p_i V_i} [-\dot{m}_{ap} (k - 1) T_i + \dot{m}_{at} (k T_a - T_i)] \quad (2)$$

Dinamika aliran udara dalam intake manifold

Aliran udara dalam intake manifold (\dot{m}_{at}) disajikan dengan persamaan (3) dan (4). Posisi throttle valve dinotasikan dengan $\beta_1(u)$. Fungsi rasio dari tekanan intake manifold melebihi tekanan udara $\beta_2(p_r)$. Nilai \dot{m}_{at0} , \dot{m}_{at1} , u_0 , dan P_c merupakan nilai kontan [23].

$$\dot{m}_{at}(u, p_i) = \dot{m}_{at1} \frac{p_a}{\sqrt{T_a}} \beta_1(u) \beta_2(p_r) + \dot{m}_{at0} \quad (3)$$

$$\dot{m}_{ap}(u, p_i) = \frac{V_d}{120RT_i} (\eta_i \cdot p_i) n \quad (4)$$

Dinamika injeksi bahan bakar dan AFR

Dinamika injeksi bahan bakar telah dilakukan pengamatan [24]. Output injeksi bahan bakar (\dot{m}_f) merupakan model antara penguapan bahan bakar pada intake manifold (\dot{m}_{fv}) dengan bahan bakar yang dideposit pada intake manifold (\dot{m}_{ff}). Fungsi \dot{m}_{fv} diperoleh dari proporsi X_f bahan bakar yang telah diinjeksikan \dot{m}_{fi} . Fungsi \dot{m}_{ff} kebalikan dari waktu konstan evaporasi bahan bakar τ_f , dengan perkalian antara deposit bahan bakar pada intake manifold \dot{m}_{ff} , ditambah dengan proporsi bahan bakar X_f dan bahan bakar yang telah diinjeksikan \dot{m}_{fi} . Formulasi dinamika bahan bakar disajikan dalam persamaan (5), (6), (7), dan (8) sebagai berikut.

$$\dot{m}_{ff} = \frac{1}{\tau_f} (-\dot{m}_{ff} + X_f \dot{m}_{fi}) \quad (5)$$

$$\dot{m}_{fv} = (1 - X_f) \dot{m}_{fi} \quad (6)$$

$$\dot{m}_f = \dot{m}_{fv} + \dot{m}_{ff} \quad (7)$$

$$X_f(p_i, n) = -0,27p_i - 0,055n + 0,68 \quad (8)$$

Sementara itu, parameter waktu konstan evaporasi bahan bakar τ_f diperoleh dari putaran engine n dan tekanan intake manifold p_i dengan formulasi seperti pada persamaan (9).

$$(p_i, n) = 1,35 \times (-0,672n + 1,68) \times (p_i - 0,825)(p_i - 0,825)^2 + (0,06 \times n + 0,15) + 0,56 \quad (9)$$

Perhitungan *AFR* diperoleh dari sub-model aliran massa udara \dot{m}_{ap} dengan output injeksi bahan bakar \dot{m}_f .

$$\lambda = \frac{\dot{m}_{ap}}{\dot{m}_f} \quad (10)$$

Dinamika putaran mesin

Dinamika putaran mesin (*crankshaft speed*) disajikan dalam persamaan 11. *Crankshaft speed* dinotasikan \dot{n} dalam satuan rpm. Tekanan *intake manifold* p_i dan *crankshaft speed* n memiliki hubungan terhadap *friction power* P_f dan *load power* P_b . η_i merupakan *indicated efficiency*. λ dinotasikan λ sebagai *AFR* dan \dot{m}_f sebagai aliran bahan bakar. Untuk itu, *AFR*, *crankshaft speed* (n) dan tekanan *intake manifold* (p_i) menjadi fungsi *indicated efficiency* (η_i).

$$\dot{n} = \frac{1}{I_n} (P_f(p_i, n) + P_p(p_i, n) + P_b(n) + \frac{1}{I_n} H_u i(p_i, n, \lambda) \dot{m}_f(t - \Delta\tau_d)) \quad (11)$$

Delay sistem injeksi

Delay dalam injeksi sistem bahan bakar τ_d telah diamati oleh Manzie [25], yang meliputi sistem injeksi, siklus *engine* dan ekspulsi dari *exhaust valve*. Model delay injeksi disajikan dalam persamaan (12) sebagai berikut.

$$\tau_d = 0.045 + \frac{10\pi}{n} \quad (12)$$

Transmission Modeling

Pemodelan ini terbagi menjadi beberapa sub-sistem. Sub-sistem *clutch* mempresentasikan sistem yang menghubungkan dan memutuskan putaran *engine* ke transmisi. Sistem ini meneruskan putaran *engine* secara halus. *Clutch* terhubung secara bertahap untuk mereduksi torsi. Hubungan antar sistem *clutch* disajikan dalam persamaan (13). K adalah *factor capacity*, N_{in} merupakan input transmisi dalam rpm dan N_e sebagai putaran *engine*. RTQ

mempresentasikan *torqueratio* yang disajikan dalam persamaan (14).

$$K = f2 \frac{N_{in}}{N_e} \quad (13)$$

$$RTQ = f3 \frac{N_{in}}{N_e} \quad (14)$$

Implementasi variabel *drive train* model menggunakan *transmission speed gearratio* (R_{TR}) dalam merubah putaran dan torsi disajikan dalam persamaan (15) sampai (18).

$$R_{TR} = \frac{f4(gear)}{Transmission\ ratio} \quad (15)$$

$$T_{out} = R_{TR} T_{in} \quad (16)$$

$$N_{in} = R_{TR} N_{out} \quad (17)$$

$$R_{TR} = \frac{N_{in}}{N_{out}} \quad (18)$$

Dinamika transmisi mempresentasikan kondisi kecepatan kendaraan yang nyata. *Transmission speed gear ratio* $f4$ memodelkan putaran output transmisi. *Speed gear ratio* akan mempengaruhi moment dan putaran yang disalurkan ke roda-roda. *Transmission gear ratio* pada penelitian ini disajikan dalam tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. *Transmission gear ratio*

| Gear | R_{TR} |
|------|----------|
| 1 | 3.55 |
| 2 | 1.91 |
| 3 | 1.31 |
| 4 | 0.97 |

Vehicle Dynamic Modeling

Penggerak akhir kendaraan dipengaruhi oleh *inersia* I_v dan beban variasi dinamika kendaraan [26]. Dinamika kendaraan disajikan dalam persamaan (19).

$$I_v \cdot N_w = R_{fd} (T_{out} - T_{load}) \quad (19)$$

N_w adalah *wheel speed* dalam rpm. R_{fd} adalah *final drive ratio* pada kendaraan. T_{load} sebagai torsi beban, dan T_{out} adalah torsi output transmisi.

Yang terakhir adalah *aerodynamics* atau bentuk bodi kendaraan yang sangat berpengaruh terhadap laju kendaraan dengan hambatan udara disekitarnya. Kendaraan beroperasi pada jalan dengan beban yang sangat bervariasi. Kemiringan, kerataan jalan, atau kondisi jalan sangat mempengaruhi beban.

$$T_{load} = \text{sgn}(\text{mph})(R_{load0} + R_{load2} \cdot \text{mph}^2 + T_{brake}) \quad (20)$$

R_{load0} , R_{load2} adalah koefisien gesek dan *aerodynamic drag*. T_{brake} adalah *brake torsion*. Mph adalah *vehicle linier velocity*.

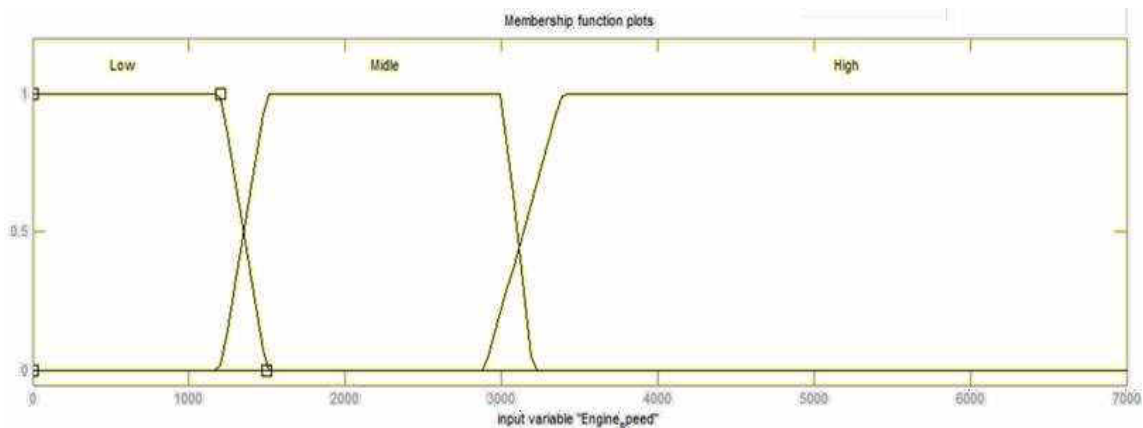
Transmission Control System

Sistem *control* yang dikembangkan dalam penelitian ini mengembangkan integrasi antara *transmission*, *engine speed* dan *vehicle speed control*. Pengembangan kontrol inteligen *fuzzy system* diembededkan dalam *Electronic Control Unit(ECU)* yang ada dalam kendaraan untuk mengontrol bahan bakar. Bahan bakar yang masuk ke *engine* diatur berdasarkan putaran *engine*, kecepatan kendaraan, posisi *selective gear* transmisi, dan perlambatan kendaraan. Putaran *engine* sebagai inputan dari sistem kontrol dengan nilai keanggotaan (*membership function of engine speed*) yang dipresentasikan pada Gambar 3.

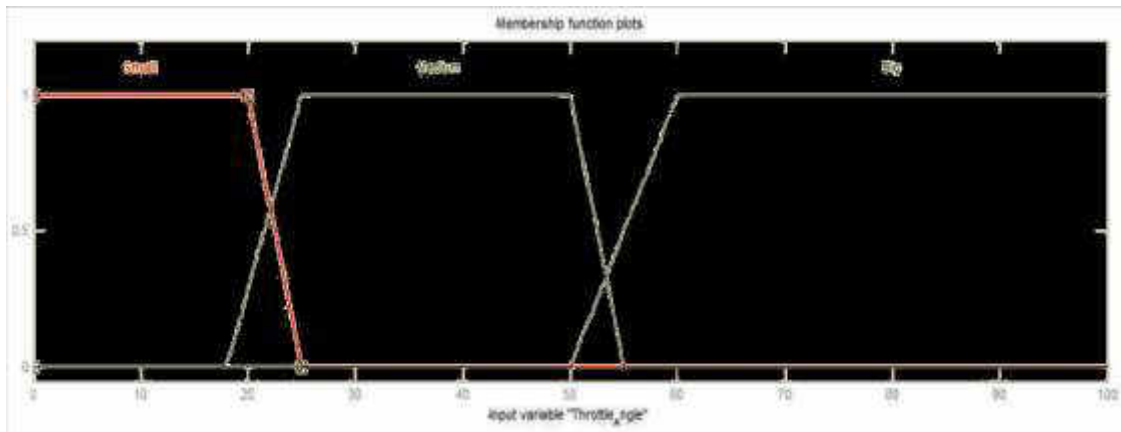
Inputan sistem kontrol yang lain diantaranya posisi *throttle angle* yang dipresentasikan dalam kondisi *throttle valvedengan membership function* pada Gambar 4. *Throttle angle* digunakan sebagai inputan *programming* sistem kontrol *ECU* dengan membangkitkan signal dari *Throttle Position Sensor(TPS)*.

Kecepatan kendaraan digunakan untuk memformulasikan perhitungan bahan bakar yang masuk ke *engine*. Perlambatan kendaraan dari kecepatan tinggi pada penggunaan *selective gear* transmisi posisi gigi tinggi (3 dan 4) menjadi pertimbangan *controller* untuk memberikan *economizer* bahan bakar (*fuel cut off*). Dinamika kecepatan kendaraan menjadi inputan *controller* dengan *membership function vehicle speed* disajikan dalam gambar 5.

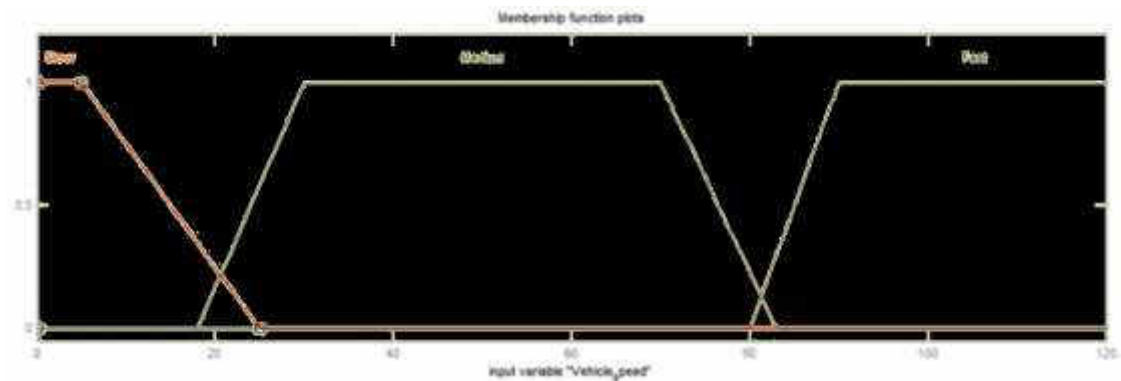
Terakhir, dinamika pengemudi saat melakukan proses perlambatan kendaraan dengan pelepasan pedal gas (penutupan *throttle valve*), pemilihan posisi *selective gear* posisi rendah memberikan inputan pada *controller*. Kondisi ini bahan bakar diinjeksikan ke *engine* posisi berkisar *stoichiometry*, namun saat pengemudi melakukan perlambatan saat kendaraan melaju pada kecepatan tinggi, maka bahan bakar yang diinjeksikan ke *engine* akan dikurangi.



Gambar 3. *Membership function engine speed.*



Gambar 4. Membership function throttle angle.



Gambar 5. Membership function vehicle speed.

Sistem Controller

Pendekatan dalam sistem kontrol bahan bakar adalah dengan metode *PID* dan *fuzzy*. *Compensator Formula PID* yang dikendalikan adalah $P + I \frac{1}{2} + D \frac{N}{1+s}$. Nilai aplikasi *Proportional* 0,000006, *Integral* 0.0027 dan *Derivative* 0,000006. *Decison of fuzzy set* disajikan dalam Tabel 2.

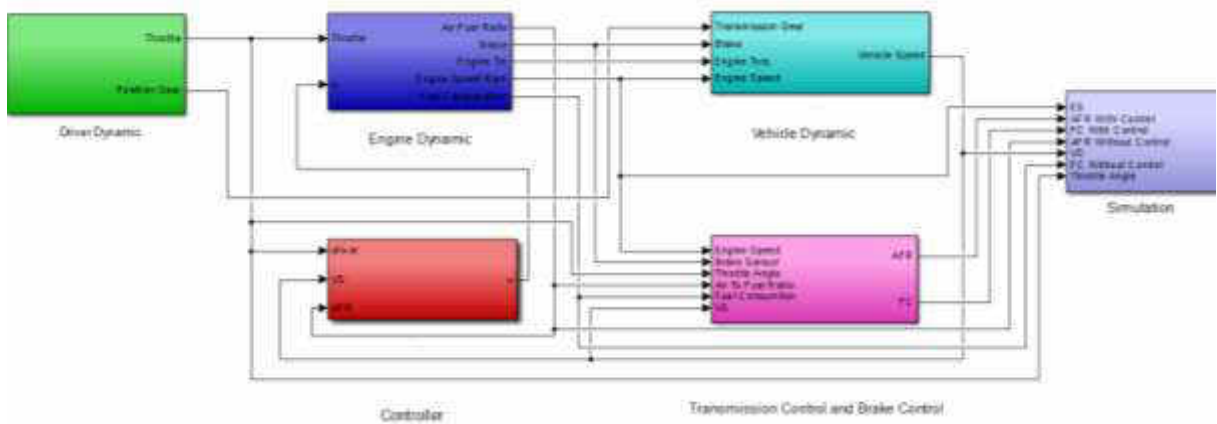
Sementara itu, *drive dynamic* sebagai *driver behaviour* dipresentasikan dalam beberapa bagian. *Throttle angle* memodelkan dengan kondisi sudut pembukaan *throttle valve* dalam satuan *degree*. *Throttle*

angled estimasikan dalam beberapa sudut pembukaan. *Gear position* mempresentasikan posisi transmisi pada kendaraan yang memiliki seleksi gear antara 1 sampai 4. *Drive dynamic* terbagi menjadi beberapa mode. Mode *acceleration* mempresentasikan *driver* ketika menambah pembukaan sudut *throttle valve*. *Mode deceleration* mempresentasikan *driver* sedang melakukan proses perlambatan kendaraan dengan melakukan pengurangan sudut buka *throttle valve*. Skema lengkapnya disajikan dalam Gambar 6.

Tabel 2. *Decison of fuzzy set*

| No | Engine speed | Vehicle speed | Throttle Angle | Economizer Control System |
|----|---------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|
| 1 | Low (0 to 1400 Rpm) | Slow (0 to 25 mph) | Small (0 to 25 %) | Off |
| 2 | Medium (1200 to 3200 Rpm) | Slow (0 to 25 mph) | Small (0 to 25 %) | Off |
| 3 | High (2800 to 7000 Rpm) | Slow (0 to 25 mph) | Small (0 to 25 %) | Off |
| 4 | Low (0 to 1400 Rpm) | Medium (18 to 83 mph) | Small (0 to 25 %) | Off |
| 5 | Medium (1200 to 3200 Rpm) | Medium (18 to 83 mph) | Small (0 to 25 %) | Off |
| 6 | High (2800 to 7000 Rpm) | Medium (18 to 83 mph) | Small (0 to 25 %) | Off |
| 7 | Low (0 to 1400 Rpm) | Fast (80 to 120 mph) | Small (0 to 25 %) | Off |
| 8 | Medium (1200 to 3200 Rpm) | Fast (80 to 120 mph) | Small (0 to 25 %) | On |

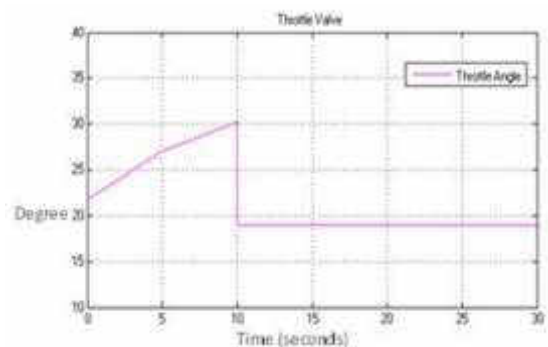
| | | | | |
|----|---------------------------|------------------------|---------------------|-----|
| 9 | High (2800 to 7000 Rpm) | Fast (80 to 120 mph) | Small (0 to 25 %) | On |
| 10 | Low (0 to 1400 Rpm) | Slow (0 to 25 mph) | Medium (18 to 55%) | Off |
| 11 | Medium (1200 to 3200 Rpm) | Slow (0 to 25 mph) | Medium (18 to 55%) | Off |
| 12 | High (2800 to 7000 Rpm) | Slow (0 to 25 mph) | Medium (18 to 55%) | Off |
| 13 | Low (0 to 1400 Rpm) | Medium (18 to 83 mph) | Medium (18 to 55%) | Off |
| 14 | Medium (1200 to 3200 Rpm) | Medium (18 to 83 mph) | Medium (18 to 55%) | Off |
| 15 | High (2800 to 7000 Rpm) | Medium (18 to 83 mph) | Medium (18 to 55%) | Off |
| 16 | Low (0 to 1400 Rpm) | Fast (80 to 120 mph) | Medium (18 to 55%) | Off |
| 17 | Medium (1200 to 3200 Rpm) | Fast (80 to 120 mph) | Medium (18 to 55%) | Off |
| 18 | High (2800 to 7000 Rpm) | Fast (80 to 120 mph) | Medium (18 to 55%) | Off |
| 19 | Low (0 to 1400 Rpm) | Slow (0 to 25 mph) | High (50 to 100%) | Off |
| 20 | Medium (1200 to 3200 Rpm) | Slow (0 to 25 mph) | High (50 to 100%) | Off |
| 21 | High (2800 to 7000 Rpm) | Slow (0 to 25 mph) | High (50 to 100%) | Off |
| 22 | Low (0 to 1400 Rpm) | Medium (18 to 83 mph) | High (50 to 100%) | Off |
| 23 | Medium (1200 to 3200 Rpm) | Medium (18 to 83 mph) | High (50 to 100%) | Off |
| 24 | High (2800 to 7000 Rpm) | Medium (18 to 83 mph) | High (50 to 100%) | Off |
| 25 | Low (0 to 1400 Rpm) | Fast (80 to 120 mph) | High (50 to 100%) | Off |
| 26 | Medium (1200 to 3200 Rpm) | Fast (80 to 120 mph) | High (50 to 100%) | Off |
| 27 | High (2800 to 7000 Rpm) | Fast (80 to 120 mph) | High (50 to 100%) | Off |



Gambar 6 . Pemodelan AFR dengan kontrol mesin dan transmisi.

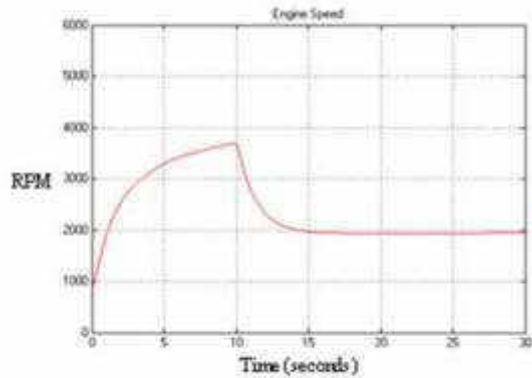
Hasil dan Pembahasan

Gambar 6 menyajikan grafik sudut bukaan *throttle* yang dikendalikan pengemudi selama 30 detik. Sepuluh detik pertama melakukan akselerasi. Kemudian *throttle* ditutup dengan cepat yang menandakan sebuah perlambatan (deselerasi).

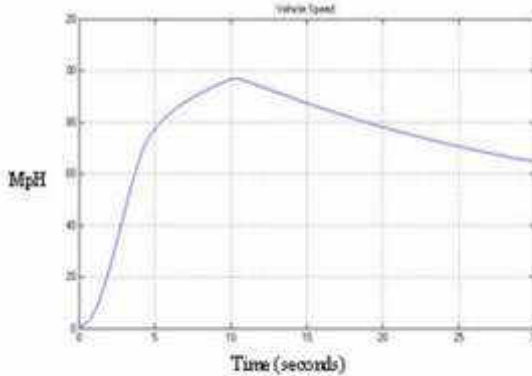
Gambar 6. Dinamika *throttle valve* .

Simulasi pada Kecepatan Rendah

Dinamika *throttle valve* akan berpengaruh pada *engine speed* dan *vehicle speed*. Dinamika *engine speed* saat perlambatan kendaraan pada kecepatan rendah disajikan pada Gambar 7. Sementara itu, dinamika kecepatan kendaraan saat perlambatan (*deceleration*) disajikan pada Gambar 8.



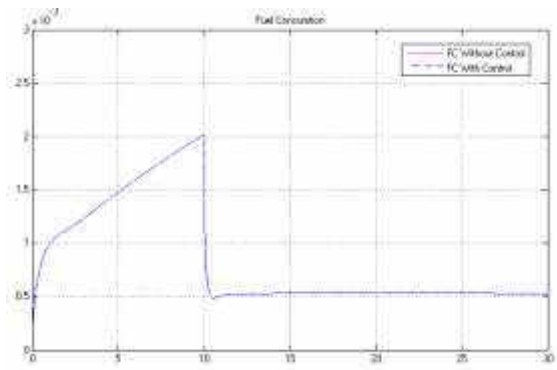
Gambar 7. Hasil simulasi *engine speed*



Gambar 8. Hasil simulasi *vehicle speed* saat perlambatan dimulai pada kecepatan 95 mph

AFR yang terbentuk pada kecepatan rendah saat kendaraan melakukan perlambatan disajikan dalam Gambar 9. Nilai *AFR* saat perlambatan pada kondisi kisaran *stoichiometry* 14,7 dan *control economiser* tidak bekerja. Kondisi ini mempresentasikan bahan bakar masih mengalir ke *engine* dengan cukup banyak. Konsumsi bahan bakar berada pada 0,5 gram/sec yang dapat dilihat pada Gambar 10.

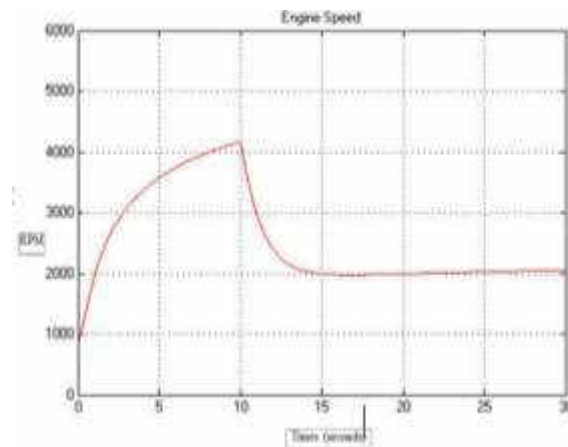
Gambar 9. Dinamika *AFR* saat perlambatan pada kecepatan rendah



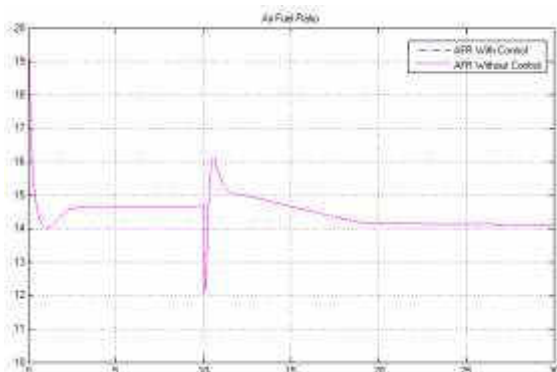
Gambar 10. Konsumsi bahan bakar saat perlambatan pada kecepatan rendah

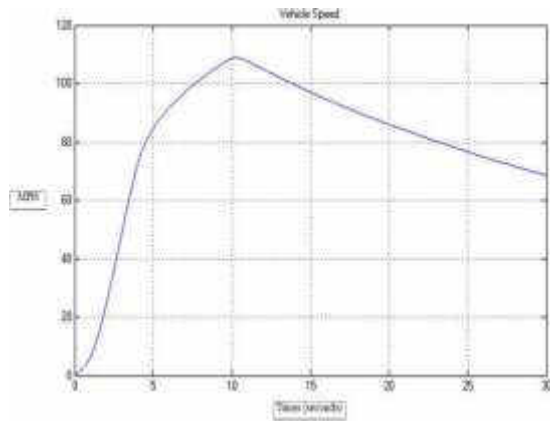
Simulasi pada Kecepatan Tinggi

Pada proses perlambatan kendaraan pada kecepatan tinggi, *economizer control system* mulai bekerja. Hal ini dipresentasikan ketika *driver* melakukan perlambatan kendaraan baik dengan melakukan penutupan sudut *throttle valve* atau perlambatan kendaraan dengan menginjak pedal rem, *economizer control system* bekerja dengan melakukan penghematan bahan bakar. Hasil simulasi *engine speed* dan *vehicle speed* pada kecepatan tinggi disajikan pada Gambar 11 dan Gambar 12 secara berurutan.



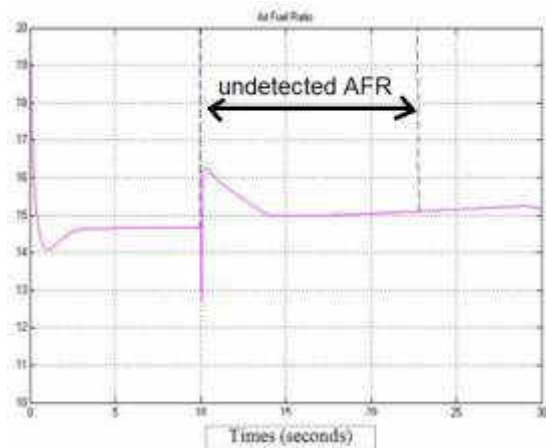
Gambar 11. Hasil simulasi *engine speed*



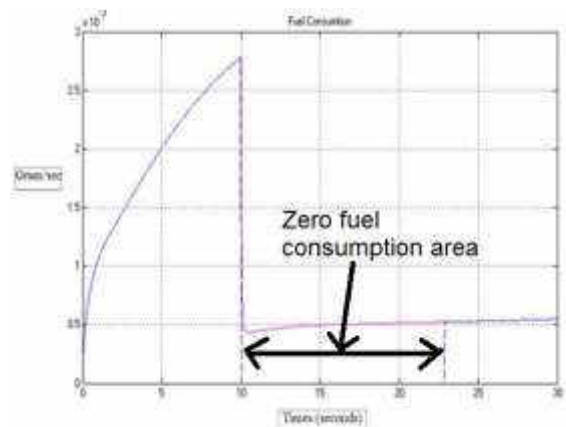


Gambar 12. Hasil simulasi *vehicle speed* saat perlambatan dimulai pada kecepatan 110 mph

Dinamika *AFR* yang terbentuk saat perlambatan pada kecepatan tinggi disajikan dalam Gambar 13. Nilai *AFR* pada kondisi ini kisaran *stoichiometry* 14,7 tanpa *control economizer*, sedangkan dengan *control economizer* nilai *AFR* mencapai nilai sangat besar. Kondisi ini mempresentasikan bahwa bahan bakar tanpa *control economizer* masih mengalir ke *engine*. Namun, saat *control economizer* bahan bakar bekerja, bahan bakar yang mengalir ke *engine* dikurangi. Konsumsi bahan bakar saat *economizer* bekerja berada pada 0,00 gram/sec untuk beberapa saat (Gambar 14).



Gambar 13. Dinamika *AFR* saat perlambatan pada kecepatan tinggi



Gambar 14. Konsumsi bahan bakar saat perlambatan pada kecepatan tinggi

Kesimpulan

Sistem kontrol *AFR* yang dikembangkan dengan *Fuzzy Logic Controller (FLC)* mampu mengatasi permasalahan *AFR* pada mesin bensin *EFI*. Pada saat kendaraan melakukan perlambatan pada kecepatan rendah mampu menahan *AFR* pada kondisi mendekati *stoichiometry*. Sementara itu, saat kendaraan melakukan perlambatan dari kecepatan tinggi, sistem kontrol yang dikembangkan mampu memotong aliran bahan bakar hingga pada *zero fuel consumption* dengan nilai *AFR* yang tidak terdeteksi/ tak berhingga), meskipun hanya beberapa saat. Hasil pengembangan ini menjanjikan untuk diaplikasikan pada kendaraan bermesin *EFI*.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dibiayai oleh LP3M Universitas Muhammadiyah Magelang melalui skema Penelitian Reguler tahun 2016. Proses penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang. Untuk itu, peneliti mengucapkan terimakasih pada kedua institusi tersebut,

Referensi

- [1] J. G. Tamba and D. Njomo, "Assessment of Greenhouse Gas Emissions in Cameroon's Road Transport Sector," *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, vol. 2, no. 6, pp. 475–488, 2012.
- [2] S. Shahid, A. Minhans, and O. C. Puan, "Assessment of greenhouse gas emission reduction measures in transportation sector of Malaysia," *Jurnal Teknologi*, vol. 70, no. 4, pp. 1–8, 2014.

- [3] R. . Colville, E. . Hutchinson, J. . Mindell, and R. . Warren, “The transport sector as a source of air pollution,” *Atmospheric Environment*, vol. 35, no. 9, pp. 1537–1565, Mar. 2001.
- [4] GFEL, “Improving Vehicle Fuel Economy in the ASEAN Region,” London, 2010.
- [5] G. E. Tverberg, “Oil supply limits and the continuing financial crisis,” *Energy*, vol. 37, no. 1, pp. 27–34, 2012.
- [6] M. Messagie, K. Lebeau, T. Coosemans, C. Macharis, and J. Van Mierlo, “Environmental and financial evaluation of passenger vehicle technologies in Belgium,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 5, no. 12, pp. 5020–5033, 2013.
- [7] J. Gonder and A. Simpson, “Measuring and Reporting Fuel Economy of Plug-In Hybrid Electric Vehicles,” in *International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS-22)*, 2006, no. October, pp. 134–141.
- [8] I. E. A. ETSAP, “Ethanol Internal Combustion Engines,” *Technology Brief T06*, no. June, pp. 1–6, 2010.
- [9] J. Rawat, P. V. C. Rao, and N. V Choudary, “Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Corrosion Rate in the Presence of Different Materials of Construction used for Transportation,” *SAE Technical Paper*, vol. 2008-28-1, no. November, 2008.
- [10] L. Fahmi and M. Setiyo, “Pengaruh campuran ethanol pada laju korosi tangki bahan bakar,” in *Semnastek*, 2015, no. November, pp. 1–6.
- [11] K. E. Egeback, M. Henke, B. Rehnlund, M. Wallin, and R. Westerholm, “Blending of Ethanol in Gasoline for Spark Ignition Engines Evaporative Measurements,” Haninge, 2005.
- [12] J. Yanowitz and R. L. McCormick, “Effect of E85 on Tailpipe Emissions from Light-Duty Vehicles Effect of E85 on Tailpipe Emissions from Light-Duty Vehicles,” *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 59, no. 2, pp. 172–182, 2009.
- [13] M. Setiyo, S. Soeparman, N. Hamidi, and S. Wahyudi, “Techno-economic analysis of liquid petroleum gas fueled vehicles as public transportation in Indonesia,” *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 6, no. 3, pp. 495–500, 2016.
- [14] World LPG Association, “Autogas Incentive Policies, 2015 Update,” Neuilly-sur-Seine, 2015.
- [15] M. Masi and P. Gobato, “Measure of the volumetric efficiency and evaporator device performance for a liquefied petroleum gas spark ignition engine,” *Energy Conversion and Management*, vol. 60, pp. 18–27, 2012.
- [16] B. Ebrahimi, R. Tafreshi, H. Masudi, M. Franchek, and J. Mohammadpour, “Control Engineering Practice A parameter-varying filtered PID strategy for air – fuel ratio control of spark ignition engines,” *Control Engineering Practice*, vol. 20, no. 8, pp. 805–815, 2012.
- [17] Z. Yang and X. Wu, “Retrofits and options for the alternatives to HCFC-22,” *Energy*, vol. 59, no. 2013, pp. 1–21, 2013.
- [18] S. W. Wang, D. L. Yu, J. B. Gomm, G. F. Page, and S. S. Douglas, “Adaptive neural network model based predictive control for air-fuel ratio of SI engines,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 19, no. 2, pp. 189–200, 2006.
- [19] A. Triwiyatno, E. W. Sinuraya, J. D. Setiawan, and S. Munahar, “Smart controller design of air to fuel ratio (AFR) and brake control system on gasoline engine,” in *ICITACEE 2015 - 2nd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering*, 2016, pp. 233–238.
- [20] C. G. Foster, O. C. Cromer, G. C. Cromer, and K. W. Purdy, “Automobile,” *Encyclopædia Britannica*. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/automobile>. [Accessed: 11-Dec-2016].
- [21] T. M. Guerra, A. Kruszewski, L. Vermeiren, and H. Tirmant, “Conditions of output stabilization for nonlinear models in the Takagi-Sugeno’s form,” *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 157, no. 9, pp. 1248–1259, 2006.
- [22] M. Zhou, H. Jin, and W. Wang, “A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 49, pp. 203–218, 2016.
- [23] Y.-J. Zhai and D.-L. Yu, “Neural network model-based automotive engine air/fuel ratio control and robustness evaluation,” *Engineering Applications of Artificial*

- Intelligence*, vol. 22, no. 2, pp. 171–180, 2009.
- [24] E. Hendricks, D. Engler, and M. Fam, “A generic mean value engine model for spark ignition engines,” in *Proceedings of the 41st Simulation Conference SIMS*, 2000.
- [25] C. Manzie, M. Palaniswami, D. Ralph, H. Watson, and X. Yi, “Model predictive control of a fuel injection system with a radial basis function network observer,” *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transactions of the ASME*, vol. 124, no. 4, pp. 648–658, 2002.
- [26] MathWorks, “Modeling Engine Timing Using Triggered Subsystems.” www.mathworks.com, 2016.

BUKTI SUBMIT JURNAL NASIONAL

Jurnal : Jurnal Teknik Mesin

ISSN : 2089-4880

Publisher : Institut Teknologi Padang

Indexing : google scholar, crossreff

URL : <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/tmesin/index>

The screenshot shows the author submission interface for Jurnal Teknik Mesin. The page header includes the journal logo and ISSN 2089-4880. Navigation links include HOME, ABOUT, USER HOME, SEARCH, CURRENT, ARCHIVE, ANNOUNCEMENTS, and SUBMISSIONS. The main content area features a table of active submissions with columns for ID, MM-DD SUBMIT, SEC, AUTHORS, TITLE, and STATUS. A submission with ID 530, submitted on 12-11, is listed with the title 'AFR MODELING OF EFTENGINE BASED ON ENGINE DYNAMICS...' and a status of 'Awaiting assignment'. Below the table, there are sections for 'Start a New Submission' and 'Refbacs' (with sub-tabs ALL, NEW, PUBLISHED, IGNORED). The refbacs table is currently empty, displaying the message 'There are currently no refbacs.' and buttons for Publish, Ignore, Delete, and Select All. The right sidebar contains user information, subscription options, author submission counts (Active: 1, Archive: 0), and journal content search options. The bottom of the image shows a Windows taskbar with various open applications and the system clock at 22:36 on 11/12/2011.

| ID | MM-DD SUBMIT | SEC | AUTHORS | TITLE | STATUS |
|-----|--------------|-----|-----------------|---|---------------------|
| 530 | 12-11 | ART | Munahar, Setiyo | AFR MODELING OF EFTENGINE BASED ON ENGINE DYNAMICS... | Awaiting assignment |