

Pengembangan ECU of LPG *Injection* Untuk Mengendalikan AFR Berdasarkan Kondisi Jalan Pada Kendaraan *Bi-Fuel*



LPG

Penulis:
Suroto Munahar, ST., MT.

Editor:
Saifudin, ST., M.Eng

Pengembangan ECU of LPG *Injection* Untuk Mengendalikan *Air To Fuel* *Ratio*- AFR Berdasarkan Kondisi Jalan Pada Kendaraan *Bi-Fuel*

Penulis :
Suroto Munahar, ST., MT.

Editor :
Saifudin, ST., M.Eng

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Pengembangan ECU of LPG Injection untuk Mengendalikan Air To Fuel Ratio- AFR Berdasarkan Kondisi Jalan Pada Kendaraan Bi-Fuel

ISBN: 978 - 623 - 7261 - 62 - 9


Hak Cipta 2017 pada Penulis

Hak penerbitan pada UNIMMA PRESS. Bagi mereka yang ingin memperbanyak sebagian isi buku ini dalam bentuk atau cara apapun harus mendapatkan izin tertulis dari penulis dan penerbit UNIMMA PRESS.

Penulis:

Suroto Munahar, ST., MT. 

Editor:

Saifudin., ST., M. Eng 



Penerbit:

UNIMMA PRESS

Gedung Rektorat Lt. 3 Kampus 2 Universitas Muhammadiyah Magelang

Jalan Mayjend Bambang Soegeng km.05, Mertoyudan, Magelang 56172

Telp. (0293) 326945

E-Mail: unimmapress@ummgl.ac.id

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

All Right Reserved

Kata Pengantar

Peningkatan efisiensi bahan bakar, kualitas pembakaran *engine* dan pengurangan emisi polutan gas buang, menjadi target orientasi teknologi kendaraan. Saat ini kendaraan ramah lingkungan, hemat energi dan nyaman menjadi pioner arah perkembangan teknologi. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar, kontrol emisi gas buang dan pencapaian kinerja *engine* secara optimal. Untuk menyelesaikan permasalahan ini ada beberapa langkah yang diupayakan, diantaranya pengembangan teknologi LPG. Teknologi ini memiliki kelebihan yang tidak dimiliki oleh *gasoline engine*.

Engine Control Unit (ECU) merupakan sistem kontrol yang digunakan untuk mengendalikan operasi *engine*. Perkembang ECU saat ini sebagian besar mengarah pada sistem kontrol *internal engine*. Sedangkan aplikasi sistem kontrol *engine* dengan mempertimbangkan kondisi jalan jarang dilakukan terutama pada kendaraan LPG. Penelitian ini fokus untuk mengembangkan ECU yang dikendalikan oleh kondisi kemiringan jalan. ECU yang dirancang digunakan untuk mengendalikan LPG pada saat kendaraan beroperasi pada jalan turunan. Pengujian AFR pada ECU yang dikembangkan dilakukan pada sudut kemiringan jalan 10°, 15° dan 20° dengan posisi *speed gear* 1,2 dan 3. Hasil yang diperoleh dapat meningkatkan AFR LPG pada jalan turunan mendekati area *stoichiometry* (15,5) serta area *lean* (16). Peningkatan penurunan konsumsi LPG pada kendaraan paling besar pada sudut kemiringan 20° baik posisi *speed gear* 1,2 dan 3. Hal ini menunjukkan

bahwa gaya kinetic, gaya berat dan gaya grafitasi mampu meningkatkan efisiensi LPG.

Dalam pelaksanaan penelitian ini, kami mengucapkan terimakasih kepada LPPM Universitas Muhammadiyah Magelang yang telah membiayai penelitian ini, sehingga penyusunan monograf yang dibuat dapat terlaksana dengan baik. Penyusunan monograf masih memiliki kekurangan dalam segi substansi maupun penyajiannya. Untuk itu, saran dan kritik membangun sangat diharapkan.

Magelang, Januari 2020

Penulis

Daftar Isi

Halaman Judul	ii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Acknowledgement	ix
Daftar Singkatan	x
1. Pendahuluan.....	11
1.1. Latar Belakang.....	11
1.2. Identifikasi Masalah	13
1.3. Perumusan Masalah.....	14
1.4. Dasar Pemikiran	14
1.5. Tujuan dan Urgensi Studi.....	15
2. Kajian Pustaka.....	16
2.1. Rekam Jejak (<i>State of The Art</i>) Penelitian	23
2.2. <i>Engine</i>	23
2.3. <i>Air to Fuel Ratio</i> (AFR).....	24
2.4. Sistem Kontrol `	24
2.5. Kerangka Konsep Penelitian.....	26
3. Metode	27
3.1. Data Penelitian.....	27
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian.....	27
3.3. Peta Rencana (<i>Roadmap</i>) Penelitian	28
3.4. Peralatan Penelitian	28
3.5. Alur Proses Penelitian	28

3.6. Waktu dan Tempat Penelitian.....	29
3.7. Break-through / terobosan dalam penelitian.....	29
3.8. Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>) Penelitian	29
3.9. Tahap ketiga pengujian.....	31
4. Hasil dan Pembahasan	33
4.1. Data Penelitian	33
5. Kesimpulan dan Rekomendasi	46
Daftar Referensi	47
Lampiran 1. Pemasangan Injector LPG	53
Lampiran 2. ECU yang telah dikembangkan	54
Lampiran 3. Pemasangan Sensor AFR Meter Saat Pengujian Kendaraan.....	55
Lampiran 4. Pengujian Bagian - Bagian Komponen ECU.....	56
Lampiran 5. Aplikasi Pengukur Sudut Kemiringan Jalan	57
Glosarium	58
Indeks	59
Profil Penulis dan Editor	61

Acknowledgement

Monograf ini merupakan luaran dari Penelitian Revitalisasi Visi Institusi (PRVI) tahun 2019 yang dibiayai oleh dibiayai oleh Universitas Muhammadiyah Magelang dengan Anggaran Pendapatan dan Belanja Universitas (APBU) tahun akademik 2019/2020.

Daftar Singkatan

AFR	<i>Air to Fuel Ratio</i>
AFFC	<i>Adaptive Feed Forward Controller</i>
APC	<i>Adaptive Posicast Controller</i>
CPU	<i>Central processing unit</i>
EVc	<i>Electric Vehicle</i>
EFI	<i>Electronic Fuel Injection</i>
FCs	<i>Fuel Cells Vehicle</i>
ECU	<i>Engine Control Unit</i>
HVc	<i>Hybrid Vehicle (HVc).</i>
HC	<i>Hydro Carbon</i>
LPG	<i>Liquid Petroleum Gas</i>
LPDI	<i>Liquid Phase Direct Injection</i>
LCGC	<i>Low Cost Green Car</i>
LCEP	<i>Low Carbon Emission Program</i>
PID	<i>Proportion Integrated Derivative</i>
PWM	<i>Pulsa Wide Modulation</i>
PI	<i>Proportion Integrated</i>
RBF	<i>Radial Basis Function</i>

1

Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Perkembangan akhir-akhir ini, perhatian dunia tentang kualitas udara sudah menjadi prioritas utama (Santos, 2017). Kondisi ini sangat terasa terutama di daerah perkotaan karena memiliki jumlah populasi manusia dan sektor transportasi cukup tinggi yang secara langsung berdampak pada kesehatan manusia. Seperti telah diketahui bersama, bahwa sektor transportasi menjadi salah satu penyumbang cukup besar dalam penurunan kualitas udara (R. Colvile et al, 2001). Dalam menangani permasalahan ini perkembangan teknologi otomotif dibelahan dunia menerapkan beberapa kebijakan, salah satunya dengan menerapkan penggunaan bahan bakar LPG sebagai salah satu bahan bakar alternative. Kebijakan ini diterapkan karena memiliki beberapa alasan, diantaranya untuk meningkatkan ekonomi bahan bakar pada kendaraan sebagai cara efektif untuk mengurangi konsumsi minyak, emisi karbon dan polusi udara.

Teknologi mesin pembakaran internal juga berevolusi ke arah itu (Karagiorgis et al, 2007; Michalek et al, 2004).

LPG menjadi pilihan di beberapa negara disebabkan memiliki karakteristik yang mampu bersaing terhadap *gasoline engine*. Perkembangan teknologi LPG saat ini sudah sampai pada aplikasi injeksi secara langsung, dimana LPG cair disuntikkan langsung ke ruang bakar melalui teknologi fase cair injeksi langsung (LPDI). Namun, konverter dan model *mixer* masih tetap paling banyak digunakan karena dapat menjadi jembatan pada kendaraan dengan *bi-fuel*. Teknologi *bi-fuel* sangat menjanjikan diaplikasikan secara luas, karena dapat diterapkan pada berbagai bahan bakar cair yang sangat besar populasinya, sehingga kendaraan dapat menggunakan bahan bakar cair namun juga dapat menggunakan LPG.

Dalam beberapa dekade terakhir, banyak pendekatan telah dilakukan untuk meningkatkan ekonomi bahan bakar LPG, diantaranya dengan metode campuran stoikiometri ($\lambda = 1$) dapat mencapai efisiensi termal yang baik. Baru-baru ini, sistem pengendalian suhu LPG untuk meningkatkan emisi kendaraan berbahan bakar LPG telah banyak dikembangkan. Selain itu, penerapan sistem kontrol, emisi kendaraan LPG dapat dikurangi jauh di bawah operasi bensin.

Walaupun perkembangan teknologi LPG telah mengalami perkembangan cukup signifikan, namun pengendali LPG dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitar belum banyak dilakukan. Hal ini perlu dilakukan disebabkan mesin kendaraan beroperasi sangat dipengaruhi kondisi lingkungan. Pada kesempatan ini penelitian akan difokuskan kepada pengembangan sistem ECU LPG yang dikendalikan oleh lingkungan. Salah satu dengan menggunakan kondisi jalan yaitu ketika kendaraan melewati jalan menurun, maka aliran *LPG* yang masuk ke mesin akan dikurangi. Alasan ini diangkat karena kendaraan berjalan menurun tidak membutuhkan banyak tenaga karena dibantu oleh energy kinetik dari kendaraan. Metode yang akan diaplikasikan dalam penelitian yang akan dilakukan adalah dengan mengaplikasikan sensor kondisi jalan. Sensor ini akan menjadi mengendalikan LPG saat kendaraan melalui jalan menurun.

1.2. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah penelitian ada beberapa item, diantaranya:

- a. Kebutuhan energi bersih sebagai bahan bakar ramah lingkungan menjadi sebuah keharusan.

- b. Sumber energi alternatif (LPG) menjadi salah satu peluang sebagai bahan bakar kendaraan yang dapat menghasilkan emisi lebih bersih.
- c. Peningkatan jumlah kendaraan yang didominasi kendaraan berbahan bakar bensin yang sangat membutuhkan teknologi hemat bahan bakar dan daya mesin.
- d. Perilaku pengemudi merupakan perilaku yang sangat berpengaruh terhadap operasi kendaraan dan konsumsi bahan bakar.

1.3. Perumusan Masalah

Bagaimana mengembangkan sistem kontrol *Air To Fuel Ratio* - AFR LPG dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan untuk meningkatkan efisiensi mesin LPG saat kendaraan melalui jalanan turunan.

1.4. Dasar Pemikiran

Dasar pemikiran pelaksanaan studi ini adalah tentang kebutuhan penghematan energi untuk kendaraan LPG, sebagaimana diuraikan sebagai berikut.

Efisiensi bahan bakar dan daya mesin merupakan kebutuhan sangat esensial. Hal ini dilatarbelakangi oleh ketersediaan energi, harga energi, perkembangan jumlah kendaraan serta pemenuhan kenyamanan berkendara. Efisiensi bahan bakar dan daya mesin menjadi faktor yang saling bertolak belakang. Permasalahan ini, perlu solusi cerdas yang

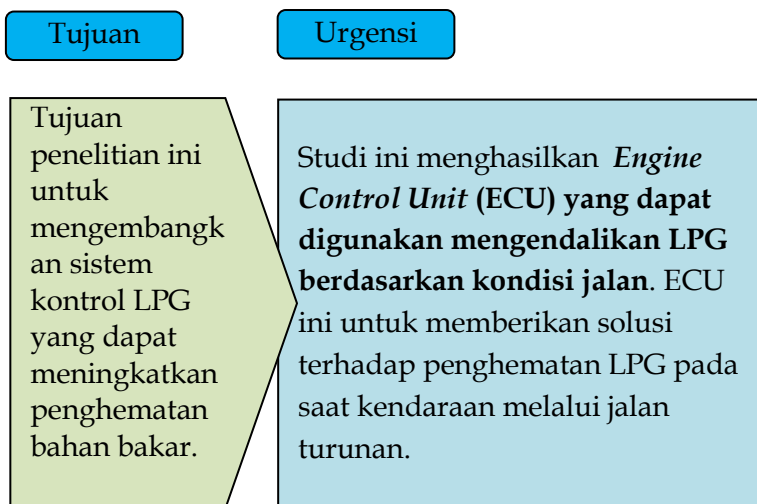
dapat memberikan jalan keluar dari kedua kebutuhan berdasarkan kondisi jalan.

Pemecahan masalah:

Untuk menyelesaikan kedua kebutuhan esensial tersebut maka perlu mengembangkan sistem kontrol mesin LPG yang bekerja berdasarkan kondisi jalan. Pada saat kendaraan melewati jalan lurus LPG akan diatur AFRnya kondisi sekitar 15,5 (normal). Namun pada saat kendaraan melewati jalan turunan, maka LPG akan diatur AFRnya pada kondisi campuran kurus. Kondisi ini penghematan bahan bakar dapat di tingkatkan secara masif.

1.5. Tujuan dan Urgensi Studi

Tujuan dan urgensi dari studi analisis kelayakan ini disajikan dalam [Gambar 1.3](#) sebaga berikut.



Gambar 1.1 Tujuan spesifik dan urgensi studi.

2

Kajian Pustaka

Saat ini kualitas udara menjadi prioritas utama dalam mengurangi dampak pemanasan global (Santos, 2017). Penurunan kualitas udara sangat terasa dampaknya terutama di daerah perkotaan karena memiliki jumlah populasi manusia dan sektor transportasi cukup tinggi yang secara langsung berdampak pada kesehatan manusia. Seperti telah diketahui bahwa sektor transportasi menjadi salah satu penyumbang cukup besar dalam penurunan kualitas udara (R. Colvile et al, 2001). Dalam perkembangan sektor transportasi selain kualitas udara, kinerja *engine* dan optimalisasi bahan bakar sangat dipertimbangkan (Majecki et al., 2015; Karagiorgis et al. 2007; Arsie, 2013). Saat ini energi menjadi kebutuhan utama diberbagai bidang. Permasalahan energi menjadi sangat kompleks, dari berkurangnya persediaan minyak fosil dunia (Tverberg, 2012a), tingginya harga bahan bakar (Knoema, 2017), maupun krisis energi yang berkepanjangan.

Perkembangan teknologi dalam menyelesaikan permasalahan energi dan pengurangan emisi polutan telah banyak dilakukan, diantaranya dengan dikembangkan teknologi *Electric Vehicle* - EVc dan *Fuel Cell* - FCs. Dalam jangka waktu menengah teknologi EVc dan FCs sangat menjanjikan dari segi efisiensi bahan bakar dan pengurangan emisi (Fang et al., 2016). Namun demikian, teknologi tersebut memiliki harga produk teknologi masih sangat tinggi dan kurangnya ketersediaan infrastruktur. Pada teknologi EVc pengisian baterai membutuhkan waktu cukup lama sehingga kurang praktis. Pengembangan lain dengan teknologi *hybrid*, yang mengintegrasikan antara *gasoline engine/diesel engine* dengan EVc. Teknologi ini memiliki efisiensi bahan bakar cukup baik (Kheir et al, 2004). Kelemahan teknologi ini, harga tinggi untuk kepemilikan produk masih sangat tinggi serta respon *engine* kurang baik.

Orientasi pada *fuel economy* dan *low emission* menjadi trend teknologi otomotif nasional hampir secara keseluruhan (Gakindo, 2014). Perubahan ini terasa terutama pada kendaraan *gasoline engine* tipe *EFI*. Teknologi ini mengalami perubahan dari tipe *EFI* konvensional ke tipe *Low Cost Green Car* (LCGC). Perkembangan terbaru 4 tahun terakhir teknologi

kendaraan sudah menjadi *Low Carbon Emission Program (LCEP)*. Walaupun perkembangan teknologi kendaraan telah mengarah pada *LCEP*, namun pembakaran *engine* pada campuran (*Air to Fuel Ratio- AFR*) kurus (*lean combustion*) atau pembakaran *stoichiometry* masih belum tercapai pada seluruh putaran *engine*. Teknologi pengaturan *AFR* saat ini masih memiliki banyak kelebihan. *Power engine* dapat dihasilkan secara optimal, emisi polutan rendah, harga lebih murah, dapat dikembangkan dengan pemakaian energi alternatif serta infrastruktur di pasar cukup tersedia banyak. Dengan melihat kelebihan ini, *sustainable* sistem kontrol *AFR* dimasa mendatang masih baik.

Perkembangan teknologi kontrol *AFR* saat ini mengalami peningkatan sangat signifikan. Orientasi kontrol *AFR gasoline engine* pada pencapaian pembakaran optimal (sesuai *stoichiometry*) pada posisi campuran *AFR* sekitar 14,67. Aplikasi dengan menggunakan *compensator closed loop system* dengan variasi *time delay filter PID* telah mampu mengendalikan *AFR*. Metode ini telah dilakukan serta mampu meningkatkan efisiensi bahan bakar dengan baik (Ebrahimi et al., 2012). Studi lain tentang kontrol *AFR* dengan optimalisasi *algoritma genetik*. Metode ini meniru cara kerja sistem genetika dalam makhluk hidup sebagai

pembangkit kromosom dalam menyelesaikan permasalahan kontrol AFR (Zhao & Xu, 2013). Ebrahimi (2012) dan Zhao (2013) telah mengendalikan AFR namun masih diterapkan pada mesin bensin.

Pengembangan *adaptive Radial Basis Function (RBF) neural network* (Wang et al., 2006). Kontrol AFR dilakukan dengan training menggunakan metode *recursive least squares* sebagai pendekatan *modeling AFR dynamic* pada *gasoline engine*. Hasilnya dengan metode model *predictive control* ditambah metode *Hessian* mampu mengendalikan AFR dan menyelesaikan masalah optimasi nonlinear dengan lebih baik. Pengendalian AFR dengan aplikasi *real time* pada *gasoline engine individual cylinder* dengan sistem *closed loop* (Cavina et al., 2010). Dasar pengendalian dengan spektral signal sensor *lamda*. Aplikasi ini telah membuktikan hasil menggembirakan, dengan hasil pengukuran *lamda* perbedaan kurang dari 0.01 mampu mengendalikan AFR dengan lebih baik. Wang et al. (2006) dan Cavina et al. (2010) menggunakan RBF dan *lamda* sebagai variable pengendalian AFR. Namun kedua studi ini baru melakukan pengendalian terhadap kendaraan berbahan bakar bensin. Sedangkan pengendalian AFR untuk kendaraan dengan bahan bakar alternative belum dilakukan.

Studi lain tentang pengaturan kontrol *AFR* dengan metode *algoritma Fuzzi PI* (Jansri & Sooraksa, 2012). *Algoritma Fuzzi PI* melakukan kontrol *AFR* pada sistem nonlinear dengan metode *tracking*. Studi ini sudah memberikan dampak yang cukup baik, namun baru sebatas pada sistem pemodelan. Metode APC mulai dikenalkan secara masif. Kontrol *AFR* dengan aplikasi *Adaptive Feed Forward Controller-AFFC* dan *Adaptive Posicast Controller -APC* (Yildiz et al., 2010). APC digunakan untuk mengontrol permasalahan *AFR*, sedangkan *AFFC* digunakan untuk mensimulasikan kemampuan *tracking*. Hasil experimental pada *gasoline engine* berupa kemampuan APC untuk menangani kontrol *AFR*. Namun demikian, Jansri & Sooraksa (2012) serta Yildiz et al. (2010) baru melakukan penelitian tentang sistem kontrol *AFR* berdasarkan kontrol *internal engine*, sedangkan kontrol *AFR* yang melibatkan sistem kontrol *external engine* belum dilakukan.

LPG merupakan bahan bakar alternative yang banyak dibicarakan para peneliti dunia. Penelitian tentang aplikasi LPG sudah banyak dilakukan dengan berbagai variabel, diantaranya tentang perbandingan *fuel consumption* LPG dengan *gasoline* (Suyabodha, 2017). Penelitian ini mengamati emisi yang dihasilkan oleh kendaraan LPG

dengan metode cara mengemudi. Namun, [Suyabodha \(2017\)](#) belum mengamati kondisi jalan terhadap perubahan konsumsi bahan bakar LPG.

[Kim et al. \(2016\)](#) dan [Morganti et al. \(2014\)](#) mencoba menerapkan sistem *direct injection* pada mesin dengan bahan bakar LPG. Penelitian yang dilakukan dengan variable pembakaran *ultra lean*. Hasil menunjukkan ada peningkatan positif pada sisi penghematan bahan bakar. Namun, aspek lingkungan belum dibahas ([Kim et al, 2016](#); [Morganti et al, 2014](#)).

Sisi emisi banyak diamati oleh kendaraan dengan bahan bakar LPG ([Chikhi et al., 2014](#); [Cho et al., 2014](#); [Morganti et al, 2013](#)). [Chiki et al. \(2014\)](#) dan [Cho et al. \(2014\)](#) mencoba mengamati mesin LPG dari sisi emisi yang dihasilkan. Kegiatan dilakukan dengan melihat gas HC, NOx maupun yang lainnya. [Morganti et al. \(2013\)](#) melihat emisi dari sisi octane number bahan bakar LPG. Namun ketiga peneliti ini aspek perubahan kondisi jalan pada penelitian ini belum dilakukan.

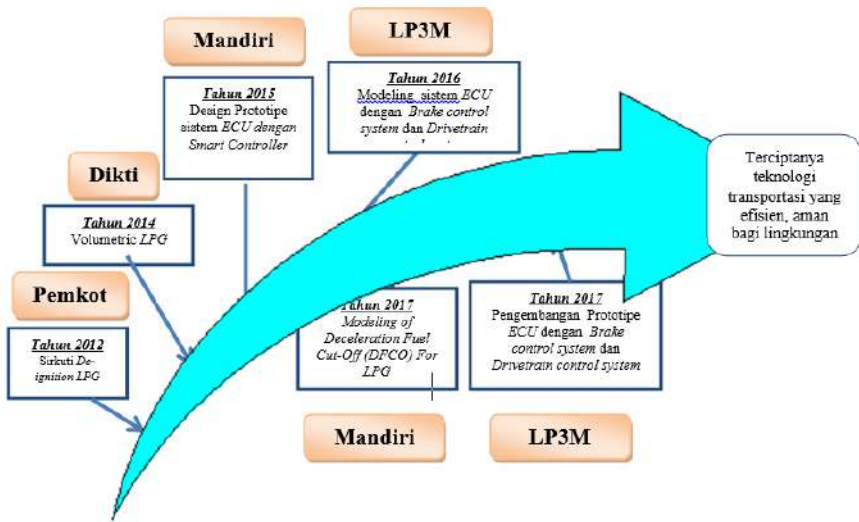
Aspek resiko penggunaan LPG mulai dibahas pada penggunaan di kendaraan ([Schoor et al, 2013](#); [Bariha et al, 2016](#)). Kedua penelitian yang dilakukan mempertimbangkan aspek resiko dari bahaya akibat kebocoran yang terjadi. Walaupun aspek resiko mulai

dibahas, namun aspek penghematan energi pada penelitian ini belum dibahas.

Pengembangan penelitian LPG mulai mengarah pada komposisi LPG (Morganti et al, 2013) maupun jaminan ketersediaan dalam jangka panjang (Raslavi et al, 2014). Morganti et al., (2013) melakukan pengamatan dari sisi kandungan yang ada pada LPG, seperti methana dan lain-lain. Sedangkan Reslavi et al. (2014) mengamati LPG dari sisi tingkat ketersediaan dalam jangka panjang. Analisis yang diangkat dengan mempertimbangkan tingkat konsumsi dan karakteristik trend ke depan. Namun, penelitian ini belum mengarah melihat aspek efisiensi bahan bakar.

Penelitian yang lain tentang penerapan LPG dengan metode *bi-fuel* (Sürmen & Ihsan, 2013). Peneliti ini membahas penerapan pada mesin LPG dengan konverter kits (metode karburator) terhadap perubahan pada mesin LPG. Penelitian lain mulai mengamati pada sistem pengapian untuk mengendalikan pembakaran *engine* LPG yang diuji *performancenya* dengan dynamometer (Ihsan & Sürmen, 2015), tetapi dari kedua peneliti ini belum mempertimbangkan aspek kondisi jalan, sehingga penelitian dengan metode ini potensial dikembangkan.

2.1. Rekam Jejak (State of The Art) Penelitian



Gambar 2.1 State of The Art. Penelitian.

2.2. Engine

Engine sebagai perangkat dari kendaraan yang menghasilkan daya untuk menggerakkan kendaraan. Engine juga berfungsi merubah energi panas menjadi energi gerak dengan pemanfaatan pembakaran di dalam 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.

2.3. Air to Fuel Ratio (AFR)

AFR sebagai perbandingan antara bahan bakar dengan udara dengan perbandingan tertentu. AFR secara ideal (*stoichiometry*) memiliki perbandingan 14,67 : 1 (Wang et al., 2006). Perbandingan AFR kondisi *stoichiometry* memiliki karakteristik pembakaran dalam *engine* yang paling optimal, performa *engine* baik, dan emisi *gas buang* rendah. Perbandingan 14,67 : 1 memiliki arti yaitu perbandingan antara 14,67 satu satuan udara dan 1 satu satuan bahan bakar. AFR campuran kurus yang aman pada mesin saat berputar pada putaran rendah secara umum memiliki campuran tidak melebihi 21:1, namun batas maksimal campuran kurus yang diijinkan 22:1 (Aleiferis, et al., 2004).

2.4. Sistem kontrol

Pengendalian dalam sebuah sistem perlu didukung oleh inputan sebagai dasar *decision* eksekusi kerja *actuator*. Sistem ini bekerja berdasarkan 2 metode, diantaranya *open loop control system* dan *closed loop control system*. *Closed loop control system* sangat sesuai memecahkan permasalahan sistem *nonlinear* yang terjadi pada sistem pembakaran *engine*. Fenomena yang terjadi pada *engine* pembakaran dalam berupa sistem *nonlinear*. Maka Pendekatan yang

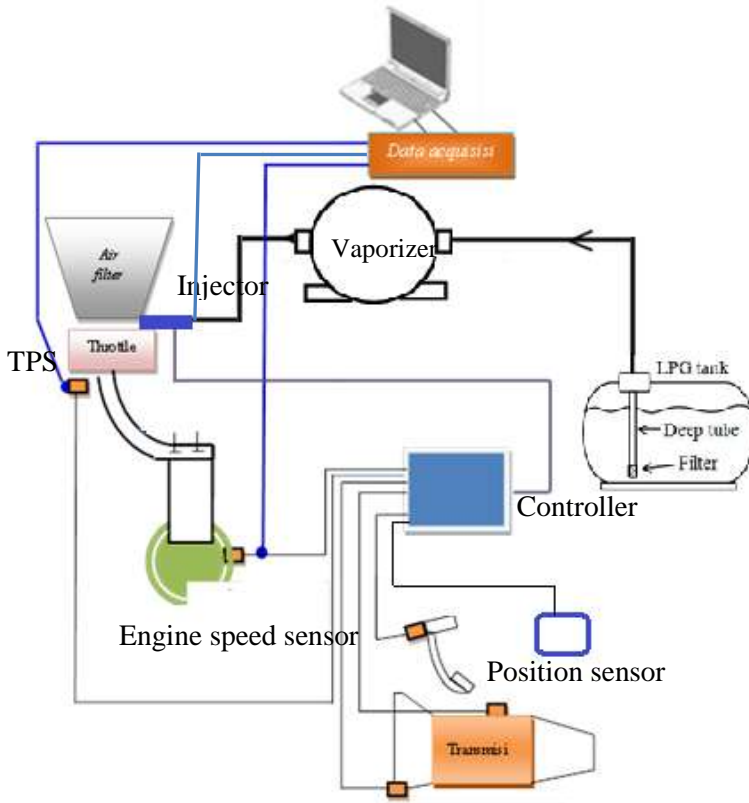
perlu dilakukan dalam permasalahan engine dengan pendekatan *nonlinear control system* (Togun, et al., 2012). *Closed loop control system* dalam engine sebagai sistem yang dirancang untuk dapat diberikan umpan balik.

Pengendalian sistem kerja engine sangat dipengaruhi oleh kecepatan *controller*. Awal perkembangan teknologi otomotif bidang *gasoline engine* didominasi teknologi *mechanical*. Demikian juga pada pengaturan sistem bahan bakar sebagian besar dikendalikan oleh kevakuman yang dibangkitkan engine, sehingga efisiensi yang diperoleh masih sangat rendah. Perkembangan teknologi saat ini karena difokuskan pada efisiensi bahan bakar dan penurunan emisi, teknologi pengendalian bahan bakar sudah menggunakan sistem kontrol engine atau *Engine Control Unit -ECU*. Teknologi ini memiliki kecepatan clock sangat tinggi. *ECU* bekerja mencapai pada kecepatan *milliseconds*. Penyempurnaan *ECU* terus dilakukan agar efisiensi semakin tinggi.

Environment sebagai merupakan lingkungan sekitar yang menjadi tempat tinggal/hidup bagi kehidupan dibumi. Kendaraan ketika beroperasi sangat dipengaruhi oleh *environment*. Namun, sistem kontrol engine dalam kendaraan saat ini masih sedikit yang menerapkan kondisi lingkungan sebagai decision pada sebuah kontrol LPG.

2.5. Kerangka Konsep Penelitian

Konsep Perancangan *ECU* dengan yang akan dilakukan yang disertai pengambilan data secara komputerisasi terlihat dalam [Gambar 2.2](#).



[Gambar 2.2](#) Skema Konsep Penelitian.

3

Metode

3.1. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian meliputi beberapa jenis data, diantaranya :

a. Data primer

Perubahan AFR LPG, kondisi sudut jalan turunan menjadi data utama yang diambil dalam penelitian.

b. Data sekunder

Jenis kendaraan, tipe mesin dan spesifikasi kendaraan merupakan data yang diambil dari penelitian sebagai data sekunder.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian direncanakan selama lima bulan. Lokasi penelitian di Laboratorium Teknik Otomotif dan Laboratorium Sistem Otomasi Industri. Uraian tugas peneliti pertama sebagai perancang sistem kontrol, peneliti kedua sebagai analisa data serta peneliti dua (mahasiswa) pengambilan data acqusisi.

3.3. Peta Rencana (Roadmap) Penelitian

Rencana penelitian dilakukan selama lima bulan. Sistem pengendali yang akan dirancang pada *LPG controller* dikendalikan oleh sensor posisi. Kegiatan yang akan dilaksanakan dalam penelitian meliputi :

- a. Pembuatan *ECU*.
- b. Instalasi actuator (*Injector*, *line fuel* dll).
- c. Instalasi wiring dan *ECU*.
- d. Pengujian *ECU* pada kendaraan.

3.4. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan saat penelitian adalah :

- a. Alat bantu desain sistem kontrol dengan *software* sistem *controller* dan *data acquisisi*.
- b. Peralatan Produksi (*Bubut & Drilling*) dan alat ukur .
- c. Alat Uji (*Engine Gas Analyser*), AFR meter dan Olah data (*Excel*).

3.5. Alur Proses Penelitian

Alur proses penelitian ini secara umum terlihat dalam

Gambar 3.1 dibagi menjadi tiga tahapan :

- a. Tahap pertama desain sistem kontrol.

Kegiatan ini meliputi :

- 1) Desain sistem *data acquisition*,

- 2) Sistem kontrol aplikasi dan Sistem *wiring diagram* instrumentasi.
- b. Tahap kedua pembuatan prototipe *controller*.
- 1) Pembuatan *wiring diagram*, intalasi sistem kontrol dan *actuator*.
 - 2) *Embeded system programming*, rangkaian *actuator* dan indikator.

3.6. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan pada bulan April - Juli 2021. Pelaksanaan tempat penelitian dilakukan di Laboratorium sistem kontrol otomasi di Magelang.

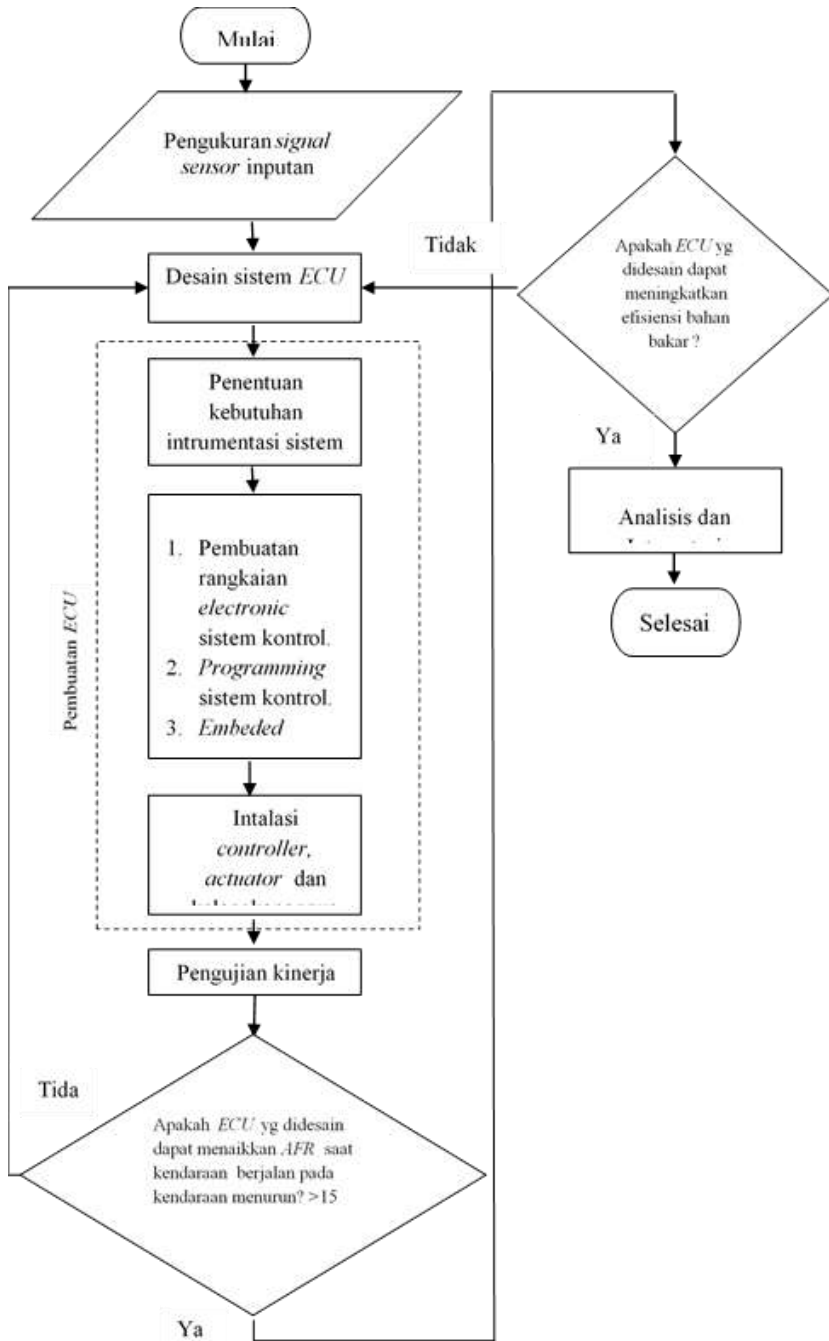
3.7. Break-through / terobosan dalam penelitian.

Tabel 3.1 *Break-through / terobosan* penelitian.

No	Deskripsi	<i>Break-through / Terobosan</i>	Tipe Uji	Penugasan
1.	<i>Controller</i> yang dikembangkan	1.Berbasiskan <i>computerise</i> . 2.Integrasi dengan <i>enviroment system</i> .		Peneliti Pertama.
2.	Pengujian <i>controller</i> .	Analisa Data dan Pengujian.	<i>Air to Fuel Ratio- AFR</i> .	Peneliti Kedua.
3.	Pengambilan data.	Berbasiskan <i>computerise</i>	Signal sensor.	Mahasiswa.

3.8. Diagram Alir (*Flow Chart*) Penelitian

Diagram alir yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penelitian ini disajikan dalam [Gambar 3.1](#).



Gambar 3.1 Flow chart Alur Proses Penelitian.

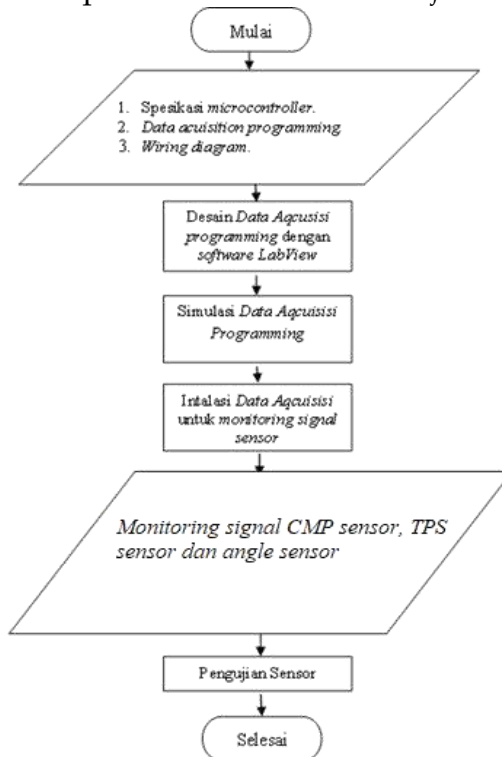
3.9. Tahap ketiga pengujian.

Kegiatan ini ada beberapa proses :

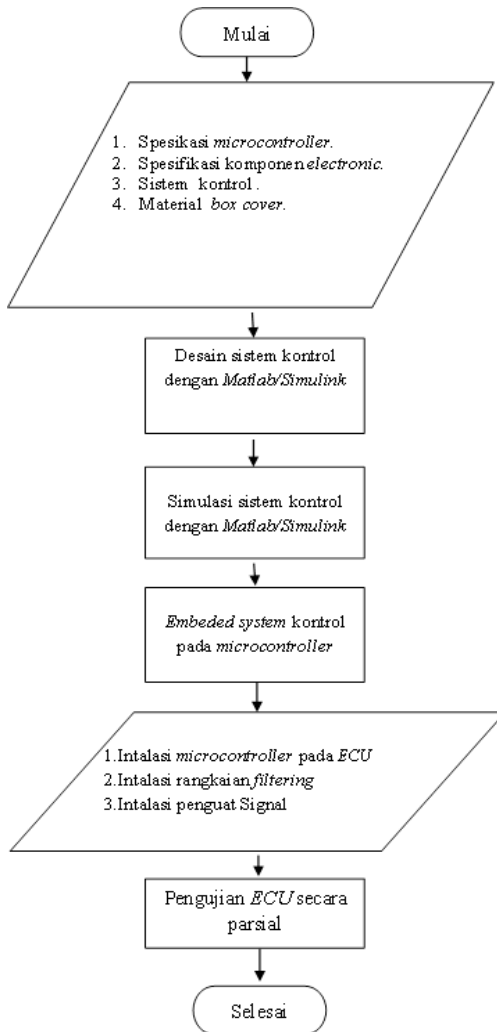
- Pemeriksaan *signal inputan programming, signal penguat, filtering signal* dan *actuator driver signal*.
- Pengujian keamanan kerja *actuator*.
- Pengujian kinerja *controller*.

Dalam desain sistem kontrol *controller* dibagi menjadi beberapa langkah, diantaranya:

- Desain dan pembuatan sistem *data acquisition* disajikan dalam Gambar 3.2.
- Desain dan pembuatan *controller* disajikan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Flow chart desain dan pembuatan sistem *data acquisition*.



Gambar 3. 3 Pembuatan Sistem *Data Acquisition* (a) dan *controller* (b).

4

Hasil dan Pembahasan

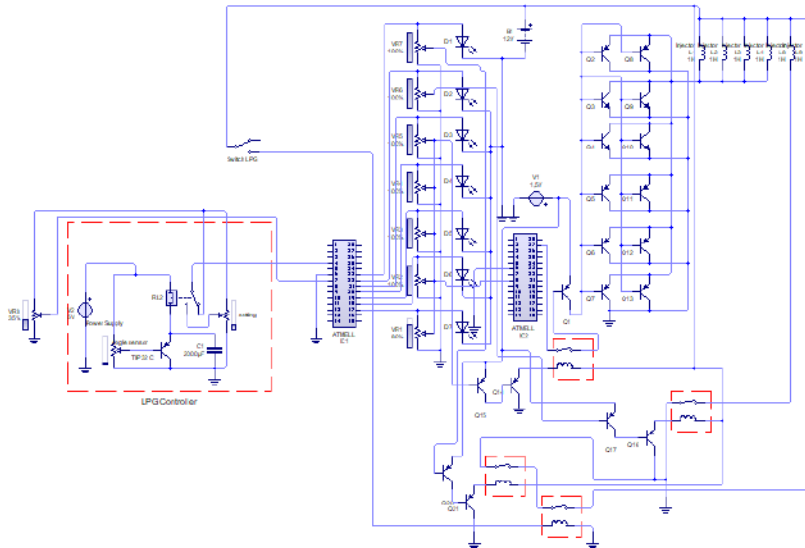
4.1. Data Penelitian

a. ECU LPG Injection

ECU yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa bagian. *Driver* berfungsi sebagai sistem untuk mengaktifkan *injector* LPG. *Central Processing Unit* (CPU) sebagai sistem untuk pengambilan keputusan dan sistem pengendali berdasarkan dari beberapa inputan. CPU terdiri dari beberapa sub sistem. *Pulsa Wide Modulation* – PWM sebagai pulsa generator untuk melakukan *driver* pada *injector* LPG. *Indicator lamp* untuk *monitoring* step dalam CPU. *Wiring diagram* ECU terlihat dalam [Gambar 4.1](#).

CPU selain terdiri dari sistem *pulsa generator* (PWM) juga terdiri dari *decisision system/aritmatic controller*. Sistem ini berfungsi untuk memberikan keputusan pada *actuator/Injector* LPG tergantung dari inputan CPU. *I/O input – output* sebagai terminal untuk tempat koneksi antara *sensor*, ECU, *actuator*. *Power supply* sebagai sumber tegangan dari ECU bekerja. *Power supply* diambilkan

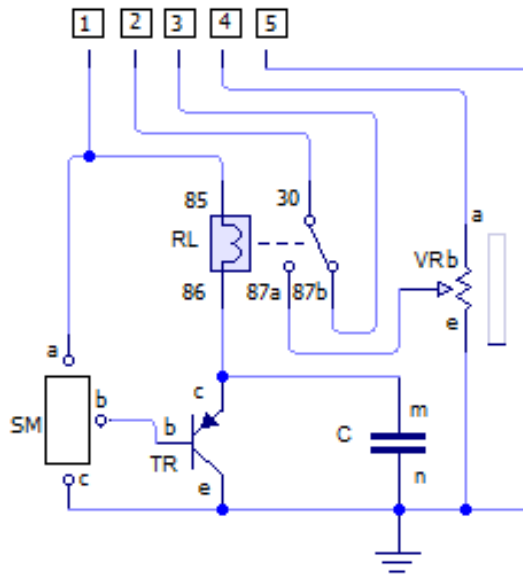
dari baterai kendaraan/*accumulator* ataupun *step down* sistem kendaraan.



Gambar 4.1 Wiring diagram ECU yang dikembangkan dalam penelitian.

b. AFR Controller (LPG controller)

AFR controller terdiri dari beberapa bagian. Pertama memiliki sebuah sensor pendeteksi sudut kendaraan (SM) di jalan menurun. Relay (RL) untuk mengendalikan aliran sinyal dari TPS. Transistor (TR) untuk mengaktifkan relay (RL). Sebuah capacitor (C) dan variable resistor (VR). Rangkaian AFR Controller disajikan dalam Gambar 4.2 difungsikan untuk mengatur aliran LPG.



Gambar 4.2 AFR controller.

AFR controller bekerja berdasarkan sinyal yang dibangkitkan oleh *angle sensor*. Sinyal ini akan mengaktifkan *transistor* yang proses selanjutnya akan menghidupkan *relay*. *Relay* memiliki titik kontak dengan dua kondisi yaitu *normaly close* dan *normaly close*. Titik kontak dari *relay* ketika beroperasi *normaly close* akan menghubungkan sinyal dari TPS langsung ke ECU, Sedangkan titik kontak dari *relay* ketika beroperasi *normaly open* akan menghubungkan sinyal dari TPS langsung ke ECU namun melalui *variable resistor*. Kondisi ini akan memanipulasi sinyal dari TPS ke ECU. ECU selanjutnya mengatur *injector* agar aliran LPG dikurangi.

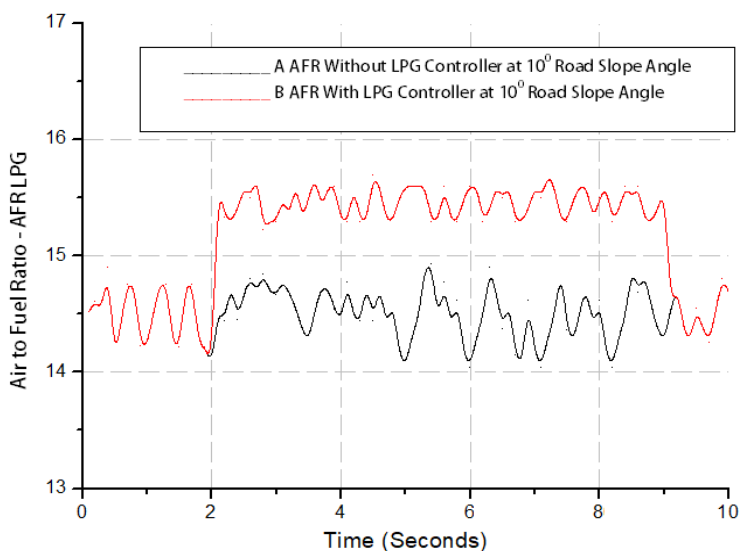
c. Data AFR LPG

Data yang dihasilkan dalam pengembangan AFR controller memiliki beberapa kondisi. Kondisi yang dilakukan pengujian diantaranya pada *speed gear* 1 posisi sudut kemiringan jalan 10°, 15° dan 20°. AFR LPG pada *speed gear* 1 sudut kemiringan jalan 10 ° terlihat pada [Gambar 4.3](#) . AFR LPG pada *speed gear* 1 sudut kemiringan jalan 15° terlihat pada [Gambar 4.4](#). [Gambar 4.5](#) menjelaskan karakteristik AFR LPG pada *speed gear* 1 sudut kemiringan jalan 20°.

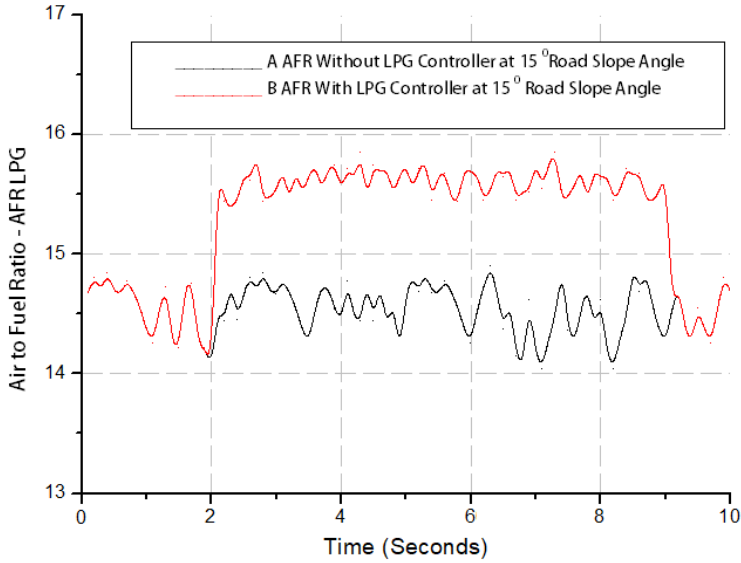
Karakteristik AFR LPG pada *speed gear* 1 posisi sudut kemiringan jalan 10°, 15° dan 20° tanpa AFR *controller* memiliki nilai rata - rata AFR LPG hampir sama $\pm 14,5$. Dari kondisi ini yang membedakan adalah kerapatan dan deviasi nilai AFR LPG. Sedangkan karakteristik AFR LPG pada *speed gear* 1 posisi sudut kemiringan jalan 10°, 15° dan 20° dengan AFR *controller* memiliki nilai rata - rata AFR LPG hampir sama $\pm 15,5$ namun memiliki kerapatan dan penyimpangan yang berbeda. Pada *speed gear* 1 posisi sudut kemiringan jalan 10° sehingga memiliki AFR LPG memiliki nilai $\pm 14,5$. Posisi *speed gear* 1 posisi sudut kemiringan jalan 15 ° memiliki AFR LPG memiliki nilai $\pm 14,5$. Pada *speed gear* 1 posisi

sudut kemiringan jalan 20° sehingga memiliki AFR LPG memiliki nilai $\pm 14,6$.

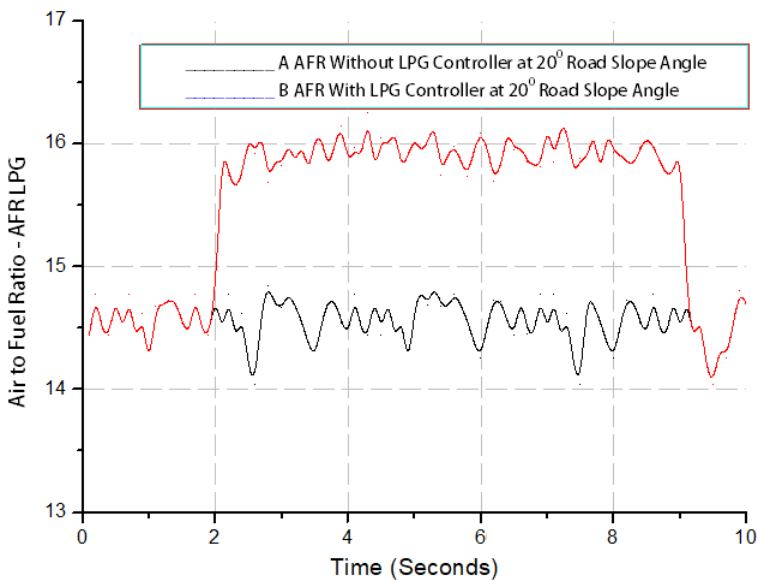
Karakteristik AFR LPG dengan AFR *controller* memiliki kerapatan dan deviasi nilai AFR berbeda. Karakteristik AFR LPG pada speed gear 1 posisi sudut kemiringan jalan 10° , 15° dan 20° dengan AFR controller memiliki nilai rata - rata AFR mendekati stoichiometry serta memiliki kerapatan dan penyimpangan yang berbeda. Pada *speed gear* 1 posisi sudut kemiringan jalan 10° memiliki nilai AFR $\pm 15,5$. Posisi *speed gear* 1 posisi sudut kemiringan jalan 15° memiliki AFR memiliki nilai $\pm 15,6$. Pada *speed gear* 1 posisi sudut kemiringan jalan 20° memiliki nilai AFR $\pm 15,9$.



Gambar 4.3 Karakteristik AFR LPG pada *speed gear* 1 sudut kemiringan jalan 10° .



Gambar 4. 4 Karakteristik AFR LPG pada speed gear 1 sudut kemiringan jalan 15° (b).

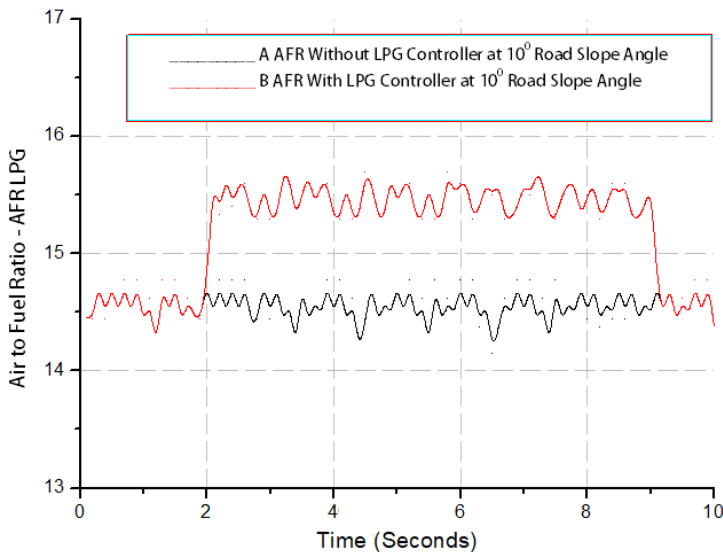


Gambar 4.5. Karakteristik AFR LPG pada speed gear 1 sudut kemiringan jalan 20° .

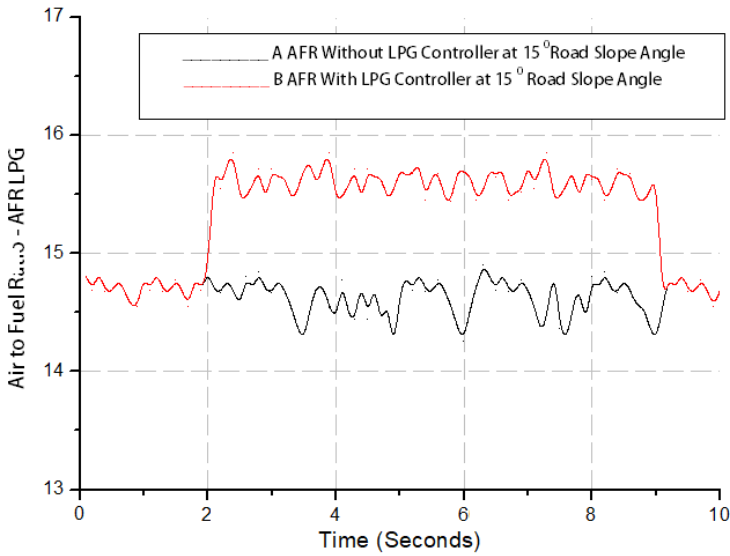
Pada *speed gear 2* data yang dihasilkan dalam pengembangan AFR controller memiliki beberapa kondisi. Kondisi yang dilakukan pengujian diantaranya pada *speed gear 2* posisi sudut kemiringan jalan 10°, 15° dan 20°. AFR LPG pada *speed gear 2* sudut kemiringan jalan 10 ° terlihat pada [Gambar 4.5](#). AFR LPG pada *speed gear 2* sudut kemiringan jalan 15 ° terlihat di [Gambar 4.6](#). [Gambar 4.8](#) menjelaskan karakteristik AFR LPG pada *speed gear 2* sudut kemiringan jalan 20 °.

Karakteristik AFR LPG pada *speed gear 2* posisi sudut kemiringan jalan 10°, 15° dan 20° tanpa AFR controller memiliki nilai rata - rata AFR LPG hampir sama $\pm 14,5$. Dari kondisi ini yang membedakan adalah kerapatan dan deviasi nilai AFR LPG. Sedangkan karakteristik AFR LPG pada *speed gear 2* posisi sudut kemiringan jalan 10°, 15° dan 20° dengan AFR controller memiliki nilai rata - rata AFR LPG hampir sama $\pm 14,6$. Namun memiliki kerapatan dan penyimpangan yang berbeda. Pada *speed gear 2* posisi sudut kemiringan jalan 10° memiliki AFR LPG $\pm 14,5$. Posisi *speed gear 2* posisi sudut kemiringan jalan 15 ° memiliki AFR LPG memiliki nilai $\pm 14,5$. Pada *speed gear 2* posisi sudut kemiringan jalan 20° sehingga memiliki AFR LPG memiliki nilai $\pm 14,6$.

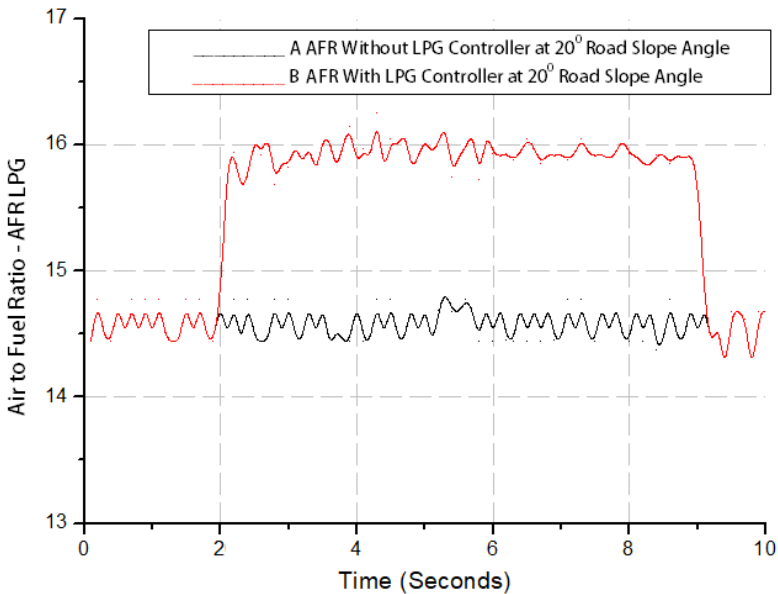
Karakteristik AFR LPG dengan AFR controller memiliki kerapatan dan deviasi nilai AFR berbeda. Karakteristik AFR LPG pada *speed gear 2* posisi sudut kemiringan jalan 10° , 15° dan 20° dengan AFR controller memiliki nilai rata - rata AFR mendekati stoichiometry serta memiliki kerapatan dan penyimpangan yang berbeda. Pada *speed gear 2* posisi sudut kemiringan jalan 10° memiliki nilai AFR $\pm 15,5$. Posisi *speed gear 2* posisi sudut kemiringan jalan 15° memiliki AFR memiliki nilai $\pm 15,6$. Pada *speed gear 2* posisi sudut kemiringan jalan 20° memiliki nilai AFR $\pm 15,9$.



Gambar 4. 6 Karakteristik AFR LPG pada *speed gear 2* sudut kemiringan jalan 10° .



Gambar 4. 7 AFR LPG pada *speed gear 2* sudut kemiringan jalan 15° .

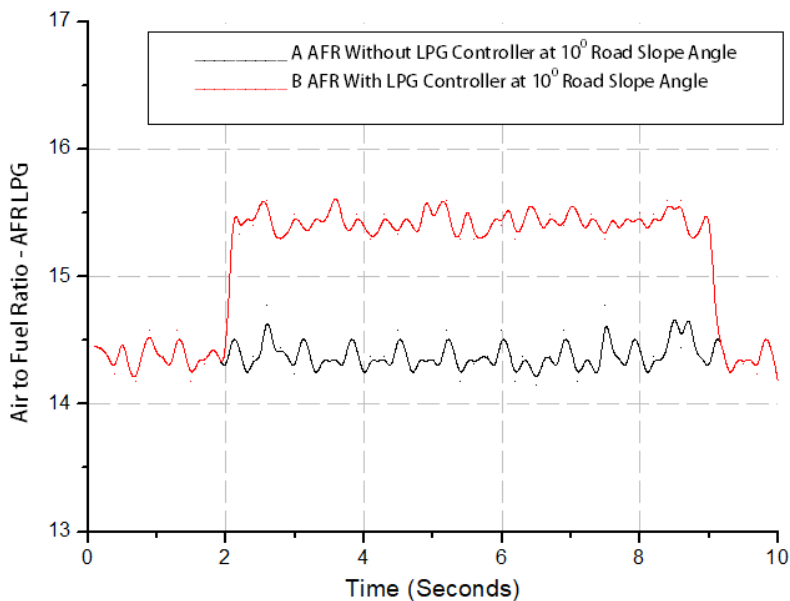


Gambar 4. 8 Karakteristik AFR LPG pada *speed gear 2* sudut kemiringan jalan 20° .

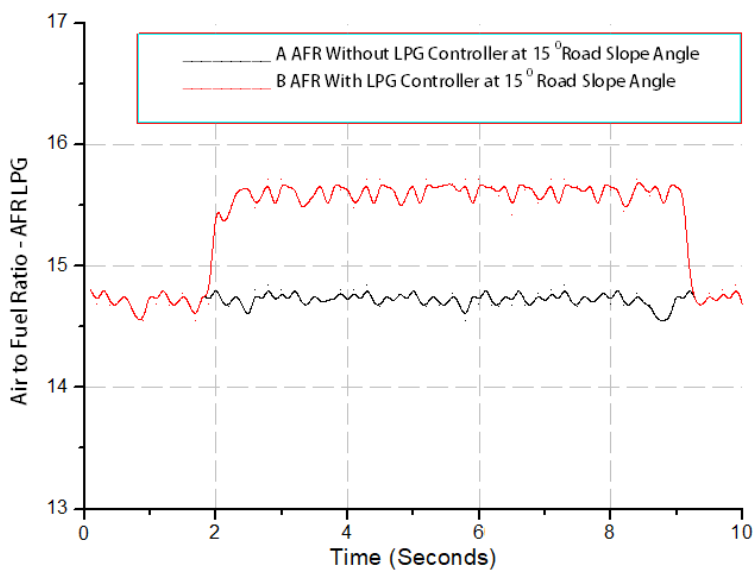
Pada *speed gear 3* data yang dihasilkan dalam pengembangan AFR controller memiliki beberapa kondisi. Kondisi yang dilakukan pengujian diantaranya pada *speed gear 3* posisi sudut kemiringan jalan 10°, 15° dan 20°. AFR LPG pada *speed gear 3* sudut kemiringan jalan 10 ° terlihat pada [Gambar 4.9](#). AFR LPG pada *speed gear 3* sudut kemiringan jalan 15 ° terlihat pada [Gambar 4.10](#). [Gambar 4.11](#) menjelaskan karakteristik AFR LPG pada *speed gear 3* sudut kemiringan jalan 20 °.

Karakteristik AFR LPG pada *speed gear 3* posisi sudut kemiringan jalan 10°, 15° dan 20° tanpa AFR controller memiliki nilai rata - rata AFR LPG hampir sama $\pm 14,5$. Dari kondisi ini yang membedakan adalah kerapatan dan deviasi nilai AFR LPG. Sedangkan karakteristik AFR LPG pada *speed gear 3* posisi sudut kemiringan jalan 10°, 15° dan 20° dengan AFR controller memiliki nilai rata - rata AFR LPG hampir sama $\pm 14,6$. Namun memiliki kerapatan dan penyimpangan yang berbeda. Pada *speed gear 3* posisi sudut kemiringan jalan 10° memiliki AFR LPG $\pm 14,5$. Posisi *speed gear 3* posisi sudut kemiringan jalan 15 ° memiliki AFR LPG memiliki nilai $\pm 14,5$. Pada *speed gear 3* posisi sudut kemiringan jalan 20° sehingga memiliki AFR LPG memiliki nilai $\pm 14,6$.

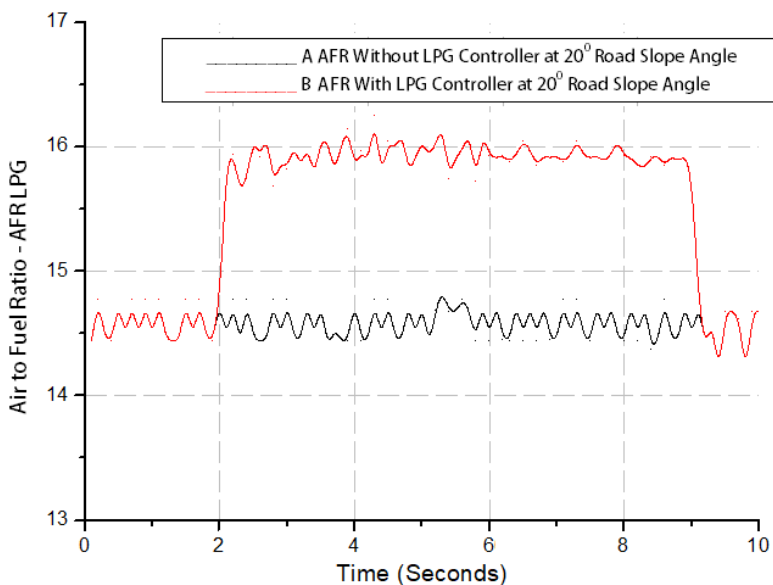
Karakteristik AFR LPG dengan AFR controller memiliki kerapatan dan deviasi nilai AFR berbeda. Karakteristik AFR LPG pada *speed gear 3* posisi sudut kemiringan jalan 10°, 15° dan 20° dengan AFR controller memiliki nilai rata - rata AFR mendekati stoichiometry serta memiliki kerapatan dan penyimpangan yang berbeda. Pada *speed gear 3* posisi sudut kemiringan jalan 10° memiliki nilai AFR ± 15,5. Posisi *speed gear 3* posisi sudut kemiringan jalan 15 ° memiliki AFR memiliki nilai ± 15,6. Pada *speed gear 3* posisi sudut kemiringan jalan 20° memiliki nilai AFR ± 15,9.



Gambar 4. 9 Karakteristik AFR LPG pada *speed gear 3* sudut kemiringan jalan 10 ° (a) dan 15 ° (b).



Gambar 4.10 Karakteristik AFR LPG pada *speed gear 3* sudut kemiringan jalan 15° .



Gambar 4.11 Karakteristik AFR LPG pada *speed gear 3* sudut kemiringan jalan 20°

Adapun spesifikasi kendaraan dan *injector* LPG yang digunakan pada penelitian ini disajikan dalam [Table 4.1](#) dan [Table 4.2](#).

[Tabel 4.1](#) Spesifikasi kendaraan yang digunakan dalam penelitian.

Deskripsi	Keterangan
Kapasitas engine	1500 cc
Tipe kendaraan	Sedan Salon
Tipe Engine	4 Stroke Engine

[Tabel 4.2](#) Spesifikasi *injector*.

Deskripsi	Keterangan
Voltage range (V)	12
Tekanan kerja (bar)	16
Tipe injector	Rail
Pengendali	Magnetic

Hasil penelitian ini telah dipublikasikan di Springer Nature. Jurnal ini masuk dalam kualifikasi internasional journal yang terindeks Scopus dan Wos (Munahar et al., 2020).

5

Kesimpulan dan Rekomendasi

Dari data hasil penelitian pada pengembangan LPG *controller* yang diaplikasikan dapat disimpulkan bahwa gaya gravitasi, kemiringan jalan dan gaya kinetic, berat kendaraan dan dapat meningkatkan efisiensi LPG. Hal ini terlihat dengan adanya perubahan AFR yang berbeda cukup jauh antara sistem aplikasi LPG tanpa *controller* dan LPG dengan *controller*. Semakin besar sudut kemiringan jalan maka kenaikan nilai AFR LPG semakin besar. Kendaraan berjalan didaerah turunan LPG *controller* dapat meningkatkan AFR LPG pada area *stoichiometry* bahkan bisa mencapai posisi *lean*. Kendaraan yang digunakan untuk penerapan LPG *controller* enginenya tidak mengalami gangguan ketika beroperasi. Kondisi AFR LPG pada sistem dengan LPG *controller* bekerja pada $AFR \pm 15,5$. Selisih AFR LPG mencapai $\pm 1,5$.

Daftar Referensi

- Aleiferis, P. G., Hardalupas, Y., Taylor, A. M. K. P., Ishii, K., & 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, *136*, 72–90.
<https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2003.09.004>
- Aris Triwiyatno, Sinuraya Wista, Joga, D. S. and S. M. (2015). Smart Controller Design of Air to Fuel Ratio (AFR) and Brake Control System on Gasoline. In *In 2015 2nd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*.
- Arsie, I., Di, S., & Vaccaro, S. (2013). Experimental investigation of the effects of AFR , spark advance and EGR on nanoparticle emissions in a PFI SI engine. *Journal of Aerosol Science*, *64*, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2013.05.005>
- Bariha, N., Mani, I., & Chandra, V. (2016). Journal of Loss Prevention in the Process Industries Fire and explosion hazard analysis during surface transport of liquefied petroleum gas (LPG): A case study of LPG truck tanker accident in Kannur , Kerala , India. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *40*, 449–460.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.01.020>
- Cavina, Ã., Corti, E., & Moro, D. (2010). Control Engineering Practice Closed-loop individual cylinder air – fuel ratio control via UEGO signal spectral analysis, *18*, 1295–1306.

<https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2009.12.002>

Chikhi, S., Boughedaoui, M., Kerbachi, R., & Joumard, R. (2014). On-board measurement of emissions from liquefied petroleum gas, gasoline and diesel powered passenger cars in Algeria. *JES*, 26(8), 1651–1659. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.06.005>

Cho, C. P., Kwon, O. S., & Lee, Y. J. (2014). Effects of the sulfur content of liquefied petroleum gas on regulated and unregulated emissions from liquefied petroleum gas vehicle. *FUEL*, 137, 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.07.090>

Ebrahimi, B., Tafreshi, R., Masudi, H., Franchek, M., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2012.04.001>

Fang, S., Song, J., Song, H., Tai, Y., & Li, F. (2016). Design and control of a novel two-speed Uninterrupted Mechanical Transmission for electric vehicles. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 75, 473–493. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2015.07.006>

Gakindo. (2014). Indonesia Automotive Industry: Report on 2013 Auto Market.

Ihsan, M., & Sürmen, A. (2015). Enhancing the heavy load performance of a gasoline engine converted for LPG use by modifying the ignition timings, 85, 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.03.076>

- Jansri, A., & Sooraksa, P. (2012). Enhanced model and fuzzy strategy of air to fuel ratio control for spark ignition engines. *Computers and Mathematics with Applications*, 64(5),922–933.
<https://doi.org/10.1016/j.camwa.2012.01.055>
- Karagiorgis, S., Glover, K., & Collings, N. (2007). Control Challenges in Automotive Engine Management. *European Journal of Control*, 13(2-3), 92–104.
<https://doi.org/10.3166/ejc.13.92-104>
- Kheir, N. a, Salman, M. a, & 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.
<https://doi.org/10.1016/j.matcom.2003.11.007>
- Kim, J., Kim, K., & Oh, S. (2016). An assessment of the ultra-lean combustion direct-injection LPG (lique fi ed petroleum gas) engine for passenger-car applications under the FTP-75 mode. *Fuel Processing Technology*.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.08.036>
- Knoema. (2017). Crude Oil Price Forecast: Long Term 2017 to 2030 | Data and Charts.
- Majecki, P., Molen, G. M. Van Der, Grimble, M. J., Yiran, M., & Grimble, J. (2015). Real-Time Predictive Control for SI Engines Using Linear Parameter-Varying Using Linear Parameter-Varying Models. *IFAC-PapersOnLine*, 48(23), 94–101.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.11.267>
- Michalek, J. J., Papalambros, P. Y., & Skerlos, S. J. (2004). A Study of Fuel Efficiency and Emission Policy Impact

- on Optimal Vehicle Design Decisions. *Journal of Mechanical Design*, 126(6), 1062.
<https://doi.org/10.1115/1.1804195>
- Morganti, K. J., Brear, M. J., Yang, Y., & Dryer, F. L. (2014). The autoignition of Liquefied Petroleum Gas (LPG) in spark-ignition engines. *Proceedings Of The Combustion Institute*. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2014.06.070>.
- Morganti, K. J., Mun, T., Brear, M. J., Yang, Y., & Dryer, F. L. (2013). The Research and Motor octane numbers of Liquefied Petroleum Gas (LPG). *Fuel*, 108, 797–811.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.01.072>
- Munahar,Suroto; Setyo, M. (2017). AFR Modeling of EFI Engine Based on Engine Dynamics, Vehicle Dynamics, and Transmission System. *Jurnal Teknik Mesin ITP ISSN 2089-4880*, 7.
- Munahar, S., Condro, B., Muji, P., Aris, S., Joga, T., & Setiawan, D. (2020). Design and application of air to fuel ratio controller for LPG fueled vehicles at typical down - way. *SN Applied Sciences*, (December 2019).
<https://doi.org/10.1007/s42452-019-1839-8>
- R. Colvile, E. Hutchinson, J. Mindell, R. W. (2001). The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment*, 35(9), 1537–1565.
[https://doi.org/http://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00551-3](https://doi.org/http://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00551-3).
- Raslavi, L., Mockus, S., Ker, N., & Starevi, M. (2014). Liquefied petroleum gas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport, 32, 513–525. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.052>

- Saman, M., Mousavi, R., Pakniyat, A., Wang, T., & Boulet, B. (2015). Seamless dual brake transmission for electric vehicles : Design , control and experiment. *MAMT*, 94, 96–118.
<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2015.08.003>
- Santos, G. (2017). Road transport and CO2emissions: What are the challenges? *Transport Policy*, 59(July), 71–74.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.06.007>
- Schoor, F. Van Den, Middha, P., & Bulck, E. Van Den. (2013). Risk analysis of LPG (liquefied petroleum gas) vehicles in enclosed car parks. *Fire Safety Journal*, 57, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.10.026>
- Sürmen, A., & Ihsan, M. (2013). A comparative study of carburation and injection fuel supply methods in an LPG-fuelled SI engine, 107, 511–517.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.12.061>
- Suyabodha, A. (2017). Comparison the Rate of Energy Consumption between Gasoline and LPG in Spark Ignition Engine under Real Driving Conditions. *Energy Procedia*, 118, 164–171.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.035>
- Togun, N., Baysec, S., & Kara, T. (2012). Nonlinear modeling and identification of a spark ignition engine torque. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 26, 294–304. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2011.06.010>
- Tseng, C., & Yu, C. (2015). Advanced shifting control of synchronizer mechanisms for clutchless automatic manual transmission in an electric vehicle. *MAMT*, 84,

37–56.

<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2014.10.007>

Tverberg, G. E. (2012). Oil supply limits and the continuing financial crisis, *37*, 27–34.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.05.049>

Wang, S. W., Yu, D. L. A., Gomm, J. B., Page, G. F., & Douglas, S. S. (2006). Adaptive neural network model based predictive control for air - fuel ratio of SI engines, *19*, 189–200.

<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2005.08.005>

Yildiz, Y., Annaswamy, A. M., Yanakiev, D., & Kolmanovsky, I. (2010). Control Engineering Practice Spark ignition engine fuel-to-air ratio control: An adaptive control approach. *Control Engineering Practice*, *18*(12), 1369–1378.

<https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2010.06.011>

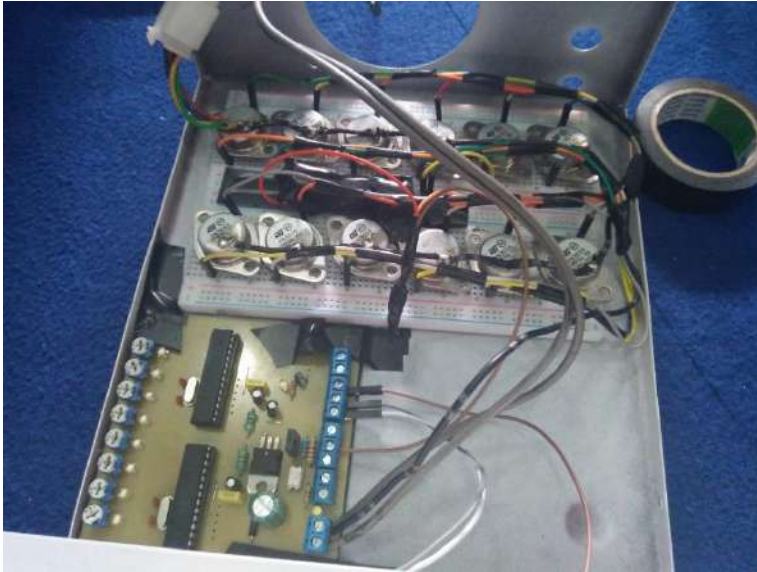
Zhao, J., & Xu, M. (2013). Fuel economy optimization of an Atkinson cycle engine using genetic algorithm. *Applied Energy*, *105*, 335–348.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.12.061>

Lampiran 1. Pemasangan Injector LPG



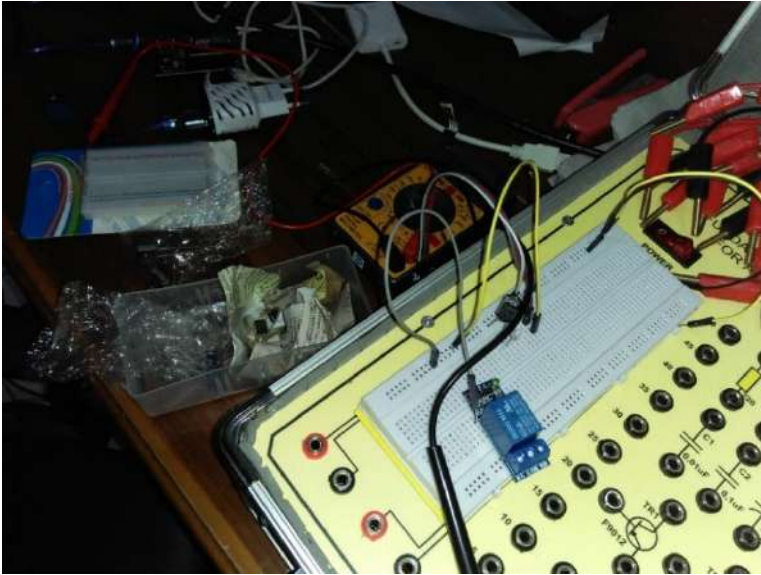
Lampiran 2. ECU yang telah dikembangkan



Lampiran 3. Pemasangan Sensor AFR Meter Saat Pengujian Kendaraan



Lampiran 4. Pengujian Bagian – Bagian Komponen ECU



Lampiran 5. Aplikasi Pengukur Sudut Kemiringan Jalan



Glosarium

<i>Air to Fuel Ratio</i>	Campuran antara udara dan bahan bakar.
<i>Autonomous Vehicle</i>	Kendaraan yang bisa bergerak dengan sendirinya tanpa pengendalian oleh manusia.
<i>Electric Vehicles</i>	Kendaraan yang digerakkan dengan energi listrik.
<i>Liquid Petroleum Gas</i>	Gas bumi yang berwujud cair yang memiliki komponen butana (C ₄ H ₁₀) dan propana (C ₃ H ₈).
<i>Electronic Fuel Injection</i>	Teknologi bahan bakar metode injeksi yang dikendalikan secara elektronik.
<i>Central processing unit</i>	Komponen yang digunakan untuk otak pengolahan data.
<i>Fuel Cells Vehicle</i>	Kendaraan yang digerakkan oleh bahan bakar cell.
<i>Fuzzy logic</i>	Perhitungan matematika yang berdasarkan Logika kabur/samar-samar.
<i>Pulsa Wide Modulation</i>	Pengendalian pulsa berdasarkan modulasi signal.
<i>Liquid Phase Direct Injection</i>	Sistem bahan bakar yang diinjeksikan langsung ke ruang bakar.
<i>Low Cost Green Car</i>	Program sistem kendaraan yang hemat energi dan ramah lingkungan.

A

AFR, ix
AFR meter, 27
Air to Fuel Ratio, ix, 61
Algoritma genetik, 17
Autonomous vehicle, 61

B

Bi-fuel, 11, 21

C

Cam shaft position sensor, 61
Central processing unit, ix, 61
Closed loop, 17, 18, 23
Closed loop control system, 23
Compressed natural gas, 61

D

data acquisisi, 26, 27

E

ECU, i, iii, iv, vii, ix, 12, 24, 25, 27, 33,
34, 36, 56, 59
EFI, ix, 16, 52
Electric Vehicle, 16
Embeded system programming, 28
Engine, i, iv, ix, 22, 24, 27, 46, 51, 52,
53
Enviroment, 24
EVc, ix, 16

F

FCs, ix, 16
Fuel Cell, 16
Fuel Cells Vehicle, ix, 61
Fuel economy, 16, 51
Full dedicated fuel, 61
Fuzzi PI, 19
Fuzzy logic, 61

G

Gasoline engine, iv, 18, 24

H

Hybrid, 16, 51

I

Internal engine, iv, 19

L

Lamda, 18
LCEP, ix, 17
LCCG, ix, 16
Lean combustion, 17, 51
Low emission, 16
LPDI, 11
LPG, iii, iv, vii, ix, 10, 11, 12, 13, 14,
19, 20, 21, 24, 26, 27, 33, 34, 35,
36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44,
45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55

N

Nonlinear, 18, 19, 23

P

PID, ix, 17, 50

R

RBF, ix, 18

S

Sensor, 12, 18, 27, 28, 34, 35

Stoichiometry, iv, 17, 37, 40, 44, 48

U

Ultra lean, 20

W

Wiring diagram, 28

Profil Penulis dan Editor

Penulis



SUROTO MUNAHAR

Lecturer of Automotive Engineering, Muhammadiyah University of Magelang, Indonesia
Email yang diverifikasi di ummgl.ac.id

Control System Mechatronics



Google Cendekia



Scopus

Editor



Saifudin

Universitas Muhammadiyah Magelang
Email yang diverifikasi di ummgl.ac.id

Rekayasa Mekanika Material Korosi Pengelasan



Google Cendekia



Scopus

Pengembangan ECU of LPG Injection Untuk Mengendalikan AFR Berdasarkan Kondisi Jalan Pada Kendaraan *Bi-Fuel*

Sinopsis

Monograf ini menyajikan hasil penelitian tentang pengembangan ECU of LPG Injection untuk mengendalikan AFR berdasarkan kondisi jalan pada kendaraan *bi-fuel*. Penelitian ini fokus untuk mengembangkan ECU yang dikendalikan oleh kondisi kemiringan jalan. ECU yang dirancang digunakan untuk mengendalikan LPG pada saat kendaraan beroperasi pada jalan turunan. Pengujian ECU dilakukan pada sudut kemiringan jalan 10° , 15° dan 20° dengan posisi *speed gear* 1, 2 dan 3. Hasil penelitian yang diperoleh berupa peningkatan penghematan bahan bakar yang ditunjukkan oleh kenaikan AFR LPG (di atas 15,5) pada jalan turunan dengan sudut kemiringan 20° baik posisi *speed gear* 1, 2 dan 3. Penghematan bahan bakar dapat dilakukan pada kondisi ini karena kendaraan tidak membutuhkan daya besar. Di samping itu, Gaya kinetic, gaya berat dan gaya grafitasi membantu proses operasi kendaraan

