

SKRIPSI
***ENGINE MANAGEMENT SYSTEM* BERBASIS MIKROKONTROLER**
ATMEGA 2560

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro



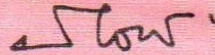
OLEH
HAFIZH ZAHRAN
20170008
DENI ANDRIAN
20170009
RIKO M. ADHA
20170018

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT
2024

HALAMAN PENGESAHAN
ENGINE MANAGEMENT SYSTEM BERBASIS MIKROKONTROLER
ATMEGA 2560


OLEH
HAFIZH ZAHRAN
20170008
DENI ANDRIAN
20170009
RIKO M. ADHA
20170018

Dosen Pembimbing I,



Herris Yamashika, S.T., M.T.
NIDN. 1024038202

Dosen Pembimbing II,



Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T.
NIDN. 1009019401

Dekan Fakultas Teknik
UM Sumatera Barat,



Masril, S.T., M.T.
NIDN. 1005057407

Ketua Program Studi
Teknik Elektro,




Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T.
NIDN. 1009019401

LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI


Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Pengujian pada ujian tertutup tanggal 28 Februari 2024 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Bukittinggi, 28 Februari 2024
Mahasiswa,



Hafizh Zahran
20170008

Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal 19 Maret 2024:

1. Herris Yamashika, S.T., M.T.

1. 

2. Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T.

2. 

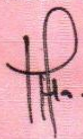
3. Ir. Yulisman, M.T.

3. 

4. Mahyessie Kamil, S.T., M.T.

4. 

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Elektro,



Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T.
NIDN. 1009019401

LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Pengujian pada ujian tertutup tanggal 28 Februari 2024 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

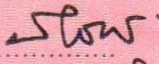
Bukittinggi, 28 Februari 2024
Mahasiswa,




Deni Andrian
20170009

Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal 19 Maret 2024:

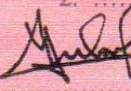
1. Herris Yamashuka, S.T., M.T.

1. 

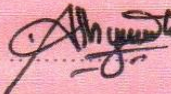
2. Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T.

2. 

3. Ir. Yulisman, M.T.

3. 

4. Mahyessie Kamil, S.T., M.T.

4. 

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Elektro,



Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T.
NIDN. 1009019401

LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Pengujian pada ujian tertutup tanggal 28 Februari 2024 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Bukittinggi, 28 Februari 2024
Mahasiswa,



Riko M. Adha
20170018

Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal 19 Maret 2024:

1. Herris Yamashika, S.T., M.T.

1. 

2. Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T.

2. 

3. Ir. Yulisman, M.T.

3. 

4. Mahyessie Kamil, S.T., M.T.

4. 

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Elektro,



Aggrivina Dwiharzandis, S.Pd., M.T.
NIDN. 1009019401

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Hafizh Zahran
Tempat dan Tanggal Lahir : 30 Desember 2000
Judul Skripsi : *Engine Management System* Berbasis
Mikrokontroler ATmega 2560

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan cantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak mana pun.

Bukittinggi, 28 Februari 2024
Yang membuat pernyataan,



Hafizh Zahran
20170008

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Deni Andrian
Tempat dan Tanggal Lahir : 22 Desember 2000
Judul Skripsi : *Engine Management System* Berbasis
Mikrokontroler ATmega 2560

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan cantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak mana pun.

Bukittinggi, 28 Februari 2024
Yang membuat pernyataan,



Deni Andrian
20170009

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Riko M. Adha
Tempat dan Tanggal Lahir : 05 Maret 2001
Judul Skripsi : *Engine Management System* Berbasis
Mikrokontroler ATmega 2560

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan cantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barât.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak mana pun.

Bukittinggi, 28 Februari 2024
Yang membuat pernyataan,




Riko M. Adha
20170018

ABSTRAK

ECU (*Electronic Control Unit*) *Stand Alone* menggunakan Mikrokontroler ATmega 2560 8-bit telah dibuat pada tugas akhir ini. ECU *Stand Alone* dirancang untuk diterapkan pada mesin bensin 4 langkah 4 silinder segaris. Sistem pengapian yang digunakan menggunakan distributor dengan coil tunggal. *Input* yang diterapkan pada ECU tersebut adalah CAM Sensor, CRANK Sensor, MAP (*Manifold Absolute Pressure*) Sensor, TPS (*Throttle Position Sensor*), IAT (*Intake Air Temperature*) Sensor, dan *Coolant Temperature Sensor*. *Output* yang diberikan oleh ECU tersebut terdiri dari *output* utama yaitu waktu kerja injektor dan waktu pengapian, disamping itu *output* tambahan untuk mengatur kerja kipas pendingin dan pompa bahan bakar juga diberikan oleh ECU ini. ECU *Stand Alone* ini diharapkan dapat menggantikan ECU bawaan pabrik pada mobil relatif tua. Selain dengan kebutuhan, untuk konsumsi bahan bakar juga bisa diatur. Hasil pembuatan ECU *Stand Alone* ini menunjukkan bahwa *output* kerja injektor dan waktu pengapian berubah sebanding dengan perubahan putaran mesin. Sesuai prinsip kerja mesin 4 langkah 4 silinder dengan sistem pengapian seperti yang telah disebutkan sebelumnya, menunjukkan bahwa frekuensi waktu pengapian adalah 4 kali frekuensi kerja injektor. Pengaturan kerja kipas pendingin ditetapkan pada suhu 78°C, dan ECU *Stand Alone* juga mengatur kipas pendingin pada suhu yang sama. Pengaturan kerja bahan bakar diperoleh ketika mesin tidak berputar dan sumber daya utama mati maka pompa bahan bakar tidak aktif, ketika sumber daya utama dinyalakan dan mesin belum berputar maka pompa bahan bakar aktif selama 2 detik. Selama mesin berputar maka pompa bahan bakar akan terus aktif.

Kata Kunci : ECU *Stand Alone*, Pengaturan Mesin Bensin, Mikrokontroler ATmega 2560 8-bit.

ABSTRACT

Stand Alone ECU (Electronic Control Unit) using ATmega 2560 8-bit microcontroller has been made in this final project. The Stand Alone ECU is designed to be applied to a 4-stroke 4-cylinder in-line gasoline engine. The ignition system used uses a distributor with a single coil. The inputs applied to the ECU are CAM Sensor, CRANK Sensor, MAP (Manifold Absolute Pressure) Sensor, TPS (Throttle Position Sensor), IAT (Intake Air Temperature) Sensor, and Coolant Temperature Sensor. The output given by the ECU consists of the main output, namely the injector working time and ignition time, besides that additional outputs to regulate the work of the cooling fan and fuel pump are also given by this ECU. This Stand Alone ECU is expected to replace the factory default ECU in relatively old cars. In addition to the needs, fuel consumption can also be adjusted. The results of making this Stand Alone ECU show that the injector work output and ignition timing change proportional to the change in engine speed. According to the working principle of the 4-stroke 4-cylinder engine with the ignition system as mentioned earlier, it shows that the ignition timing frequency is 4 times the working frequency of the injector. The cooling fan working setting is set at 78°C, and the Stand Alone ECU also sets the cooling fan at the same temperature. The fuel working setting is obtained when the engine is not rotating and the main power source is off, the fuel pump is inactive, when the main power source is turned on and the engine has not rotated, the fuel pump is active for 2 seconds. As long as the engine rotates, the fuel pump will continue to be active.

Keywords : *Standalone ECU, Gasoline Engine Settings, ATmega 2560 8-bit Microcontroller.*

KATA PENGANTAR

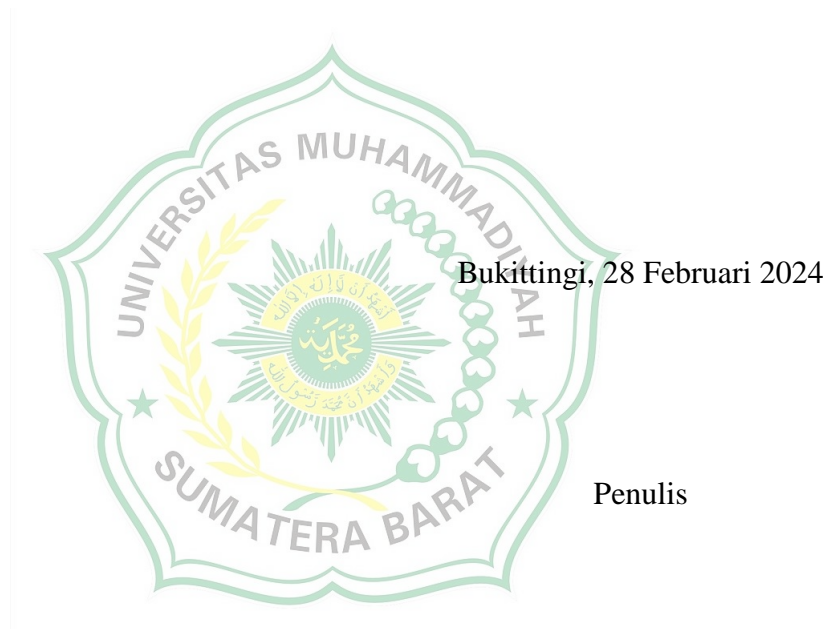
Segala puji syukur penulis ucapkan kepada kehadiran Allah SWT, atas segala berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini tepat pada waktunya. Dalam proses pengerjaan Skripsi ini, banyak tantangan yang harus dihadapi, oleh karena itu penulis menyadari masih banyak kekurangan akan penyelesaian Skripsi ini, Karena keterbatasan ilmu pengetahuan yang dimiliki. Skripsi ini merupakan salah satu kewajiban yang harus diselesaikan agar dapat memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat (UM Sumatera Barat).

Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bimbingan, bantuan, dan do'a dari berbagai pihak, Skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Dari pada itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini, yaitu kepada:

1. Orang tua dan kakak serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan moril, doa, dan kasih sayang;
2. Bapak Masril, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
3. Bapak Hariyadi, S.Kom., M.Kom., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
4. Ibu Aggrivina Dwiharzandis S.Pd., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro;
5. Ibu Mira Meilisa S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
6. Bapak Herris Yamashika, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis;
7. Ibu Aggrivina Dwiharzandis S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis;
8. Bapak/Ibu Tenaga Kependidikan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
9. Bapak/Ibu Dosen di lingkungan Prodi Teknik Elektro yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

10. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2020.
11. Rekan-rekan Ormawa Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro dan UKM Penelitian, Penalaran dan Pengabdian Masyarakat Fakultas Teknik.
12. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca, khususnya mahasiswa Teknik Elektro.



DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	
ABSTRACT	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR NOTASI	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Tujuan Penelitian	4
1.4.2 Manfaat Penelitian	5
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1 Electronic Control Unit (ECU)	7
2.1.1 <i>Input</i>	8
2.1.2 <i>Output</i>	17
2.2 Arduino ATmega 2560	28
2.3 MOSFET Channel Type N	30

2.4	IC TC4424.....	31
2.5	IC ULN 2003	32
BAB III KONSEP PERANCANGAN		31
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	31
3.2	Peralatan dan Bahan.....	31
3.2.1	Peralatan.....	31
3.2.2	Bahan.....	31
3.3	Prosedur Penelitian	32
3.3.1	Studi Literatur	32
3.3.2	Merancang PCB	33
3.3.3	Pemasangan Komponen.....	33
3.3.4	Konfigurasi <i>Base map</i>	33
3.3.5	Pengujian.....	34
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Hasil	36
4.1.1	Hasil Rancangan Skematik	36
4.1.2	Hasil Rancangan PCB.....	45
4.1.3	Hasil Pemasangan Komponen Pada PCB	45
4.1.4	Pengujian Alat.....	46
4.2	Pembahasan	65
BAB V PENUTUP.....		64
5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA		66
LAMPIRAN.....		69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Metode-metode mengontrol waktu penyemprotan injektor.....	18
Tabel 2.2 Spesifikasi dari Arduino Mega (Atmega2560)	28
Tabel 4.1 Komponen rangkaian skematik.....	36
Tabel 4.2 Hasil pengujian Waktu pengapian dan Injektor terhadap perubahan putaran mesin	47
Tabel 4.3 Hasil pengujian kipas pendingin	60
Tabel 4.4 Hasil pengujian Pompa bahan bakar terhadap baterai dan RPM.....	64



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram blok ECU.....	7
Gambar 2.2 Rangkaian ekivalen VR sensor	9
Gambar 2.3 Rangkaian ekivalen HALL sensor	9
Gambar 2.4 Rangkaian ekivalen sensor TPS	11
Gambar 2.5 Rangkaian ekivalen Sensor MAP.....	13
Gambar 2.6 Rangkaian ekivalen Sensor IAT.....	15
Gambar 2.7 Rangkaian Ekivalen Sensor CLT	16
Gambar 2.8 Rangkaian ekivalen Sensor O2	17
Gambar 2.9 Rangkaian ekivalen <i>Injection Timing</i>	20
Gambar 2.10 Rangkaian ekivalen <i>Ignition Timing</i>	21
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	35
Gambar 4.1 Rancangan skematik <i>Crank-Cam Sensor</i>	38
Gambar 4.2 Rancangan skematik sensor TPS.....	38
Gambar 4.3 Rancangan skematik sensor MAP.....	39
Gambar 4.4 Rancangan skematik sensor IAT.....	40
Gambar 4.5 Rancangan skematik sensor CLT.....	40
Gambar 4.6 Rancangan skematik sensor O2.....	41
Gambar 4.7 Rancangan skematik Waktu kerja injektor.....	42
Gambar 4.8 Rancangan skematik Waktu pengapian.....	42
Gambar 4.9 Rancangan skematik Kipas pendingin dan Pompa bahan bakar	43
Gambar 4.10 Rancangan skematik Arduino ATmega 2560	44
Gambar 4.11 Rancangan skematik Rancangan PCB	45
Gambar 4.12 Hasil pemasangan komponen pada PCB.....	46
Gambar 4.13 Hasil pengujian waktu pengapian pada 500 rpm	48
Gambar 4.14 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 500 rpm.....	48
Gambar 4.15 Hasil pengujian waktu pengapian pada 1000 rpm	49
Gambar 4.16 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 1000 rpm.....	49
Gambar 4.17 Hasil pengujian waktu pengapian pada 1500 rpm	50

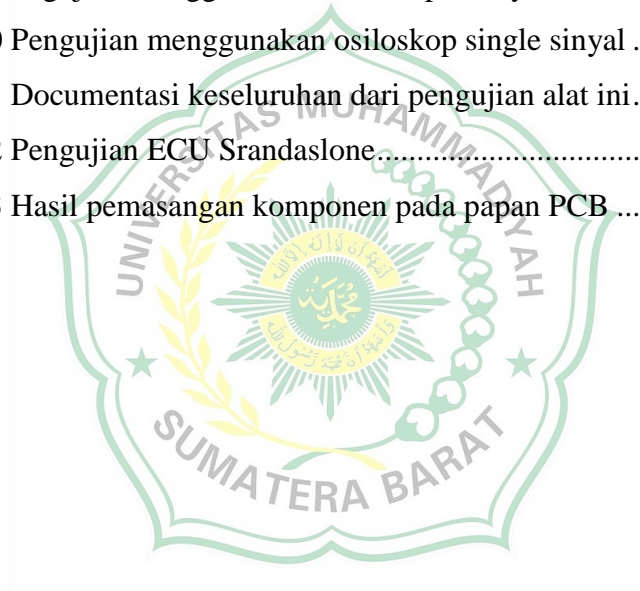
Gambar 4.18 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 1500 rpm.....	50
Gambar 4.19 Hasil pengujian waktu pengapian pada 2000 rpm	51
Gambar 4.20 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 2000 rpm.....	51
Gambar 4.21 Hasil pengujian waktu pengapian pada 2500 rpm	52
Gambar 4.22 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 2500 rpm.....	52
Gambar 4.23 Hasil pengujian waktu pengapian pada 3000 rpm	53
Gambar 4.24 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 3000 rpm.....	53
Gambar 4.25 Hasil pengujian waktu pengapian pada 3500 rpm	54
Gambar 4.26 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 3500 rpm.....	54
Gambar 4.27 Hasil pengujian waktu pengapian pada 4000 rpm	55
Gambar 4.28 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 4000 rpm.....	55
Gambar 4.29 Hasil pengujian waktu pengapian pada 4500 rpm	56
Gambar 4.30 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 4500 rpm.....	56
Gambar 4.31 Hasil pengujian waktu pengapian pada 5000 rpm	57
Gambar 4.32 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 5000 rpm.....	57
Gambar 4.33 Hasil pengujian waktu pengapian pada 5500 rpm	58
Gambar 4.34 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 5500 rpm.....	58
Gambar 4.35 Hasil pengujian waktu pengapian pada 6000 rpm	59
Gambar 4.36 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 6000 rpm.....	59
Gambar 4.37 Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 20°C-30°C	61
Gambar 4.38 Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 40°C-50°C	61
Gambar 4.39 Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 60°C-70°C	62

Gambar 4.40 Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 80°C-90°C 62
Gambar 4.41 Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 100°C..... 63
Gambar 4.42 Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 79°C..... 63



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Simulator yang dipakai dalam pengujian alat	70
Lampiran 2 Simulator yang telah disambung dengan ECU.....	70
Lampiran 3 Proses penyolderan komponen ke papan PCB	71
Lampiran 4 Hasil pemasangan komponen pada papan PCB	71
Lampiran 5 Simulator yang digunakan dalam melakukan pengujian alat ini.....	72
Lampiran 6 Proses pengujian alat menggunakan simulator.....	72
Lampiran 7 Pengujian alat yang sedang berlangsung	73
Lampiran 8 Hasil dari pengujian yang dilakukan berupa penyemprotan injektor terhadap 6000 RPM	73
Lampiran 9 Pengujian menggunakan osiloskop 4 sinyal.....	74
Lampiran 10 Pengujian menggunakan osiloskop single sinyal	74
Lampiran 11 Documentasi keseluruhan dari pengujian alat ini.....	75
Lampiran 12 Pengujian ECU Srandaslone.....	75
Lampiran 13 Hasil pemasangan komponen pada papan PCB	76



DAFTAR NOTASI

Singkatan	Keterangan
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
MAP	<i>Manifold Absolute Pressure</i>
TPS	<i>Throttle Position Sensor</i>
IAT	<i>Intake Air Temperature</i>
CLT	<i>Coolant Temperature</i>
RPM	<i>Revolutions per Minute</i>
DBW	<i>Drive By Wire</i>
TDC	<i>Top Dead Center</i>
VR	<i>Variable Reluctance</i>
DC	<i>Direct Current</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
OBD	<i>On-Board Diagnostics</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
ABS	<i>Anti-Lock Braking System</i>
AC	<i>Air Conditioner</i>
VSV	<i>Vacuum Switching Valve</i>
EFI	<i>Electronic Fuel Injection</i>
ISC	<i>Idle Speed Control</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulator</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobil, sejak pertama kali ditemukan pada akhir abad ke-19, terus memberikan berbagai manfaat dan kemakmuran pada hampir semua aspek kehidupan. Melihat kembali sejarah perkembangan mesin, dapat dilihat bahwa sebagian besar perhatian diberikan pada masalah teknis termasuk daya output dan daya tahan selama tahap awal sejarah pembangkit listrik. Setelah mencapai kematangan, sejak tahun 1970-an, target perhatian telah bergeser ke arah sosial dan lingkungan. Akibat polusi udara, efek rumah kaca dan menipisnya bahan bakar fosil, tuntutan yang paling mendesak termasuk pengurangan emisi gas dan tingkat konsumsi bahan bakar. Demi menanggapi tuntutan ini, dengan mengembangkan teknologi yang inovatif, seperti injeksi langsung dalam silinder dan teknologi pembakaran yang ramping membutuhkan lebih sedikit jumlah bahan bakar.

Kemampuan beradaptasi terhadap kondisi tidak dengan menerapkan faktor koreksi dalam perangkat lunak kontrol mesin unit untuk jumlah bahan bakar yang diinjeksikan sangat penting untuk pengoperasian yang benar. Berbagai mode fitur diagnostik lainnya digabungkan dalam logika kontrol di *Electronic Control Unit* (ECU) untuk meningkatkan keandalan dan mencapai standar kinerja yang diperlukan. Hal ini dapat dicapai dengan perangkat lunak kontrol yang tepat yang tertanam dalam unit kontrol engine *Electronic Control Unit* (ECU).

Banyaknya sistem yang dapat dikontrol dan terkenal dengan pertukaran antara konsumsi bahan bakar dan emisi, hal ini merupakan proses yang menantang dan memakan waktu untuk pengaturan dalam *Electronic Control Unit* (ECU) untuk semua sistem yang dapat dikontrol untuk mencapai pengoperasian mesin yang optimal. Pengaturan harus dirancang sedemikian rupa sehingga konsumsi bahan bakar untuk siklus mengemudi kendaraan yang dinamis.

Menurut [1] Performa mesin dalam aplikasi tertentu dievaluasi dengan mengemudikan kendaraan lengkap sesuai dengan yang telah ditentukan sebelumnya. Siklus yang telah ditentukan, sambil mengukur konsumsi bahan bakar total dan emisi untuk siklus yang lengkap. Saat ini, kontrol mesin sebagian

besar didasarkan pada *feedforward nonlinear* kontrol yang diimplementasikan menggunakan interpolasi bilinear dua dimensi, yang biasanya disebut sebagai peta grid ujar [2] Input pada hal ini adalah jumlah bahan bakar yang diinjeksikan dan kecepatan mesin saat ini, dan *outputnya* adalah titik setel untuk berbagai jumlah mesin yang dapat dikontrol, misalnya tekanan dorongan, knalpot resirkulasi gas buang, dan waktu injeksi.

Pengontrol umpan balik digunakan untuk mendapatkan pengaturan yang telah ditentukan sebelumnya untuk jalur udara. Nilai-nilai dalam peta grid biasanya dikalibrasi berdasarkan kondisi *ready* operasi mesin. Metode-metode untuk hal ini telah dikembangkan dan dijelaskan dengan baik dalam literatur, dan ada beberapa contoh berbasis model metode untuk hal ini [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11].

Evolusi ECU selama bertahun-tahun telah dimotivasi oleh kontrol emisi dan mengambil keuntungan dari perkembangan kemampuan elektronik. [12] dan [13] melaporkan kemajuan awal ECU di Ford pada tahun 70-an. Sementara itu, [14] melaporkan bahwa sistem elektronik dimulai dengan sistem injeksi sederhana dengan unit pengapian terpisah di awal 70-an, dan kemudian injeksi dan pengapian diintegrasikan menjadi satu unit kontrol elektronik tunggal selama tahun 80-an.

Konsep umum dari fungsi dan kunci ECU persyaratan waktu dan periode perhitungan dalam siklus masih seperti yang dijelaskan oleh [13]. Namun, yang baru, fitur-fitur baru seperti penggunaan *Field Programmable Gate Array* (FPGA) atau Sirkuit Terpadu Khusus Aplikasi (ASIC) saat ini sangat meningkatkan kemampuan ECU [15] [16] [17] [18]. Axelsson [18] juga membahas bagaimana penggunaan ASIC memberikan kemungkinan untuk menggeser partisi antara perangkat keras dan perangkat lunak. Kemajuan ECU lainnya berhubungan dengan konektivitas seperti CAN, OBD, Bluetooth, dan juga aplikasi Android [19]. Mesin tidak konvensional juga dapat menyebabkan kebutuhan akan ECU yang tidak standar seperti pekerjaan yang sedang berlangsung menggunakan Arduino yang dilaporkan oleh Giordani [20] untuk mengontrol mesin *SI rotary* yang tidak konvensional.

Menurut statistic pada saat ini, 80% pemilik mobil tidak puas dengan dinamika pabrik dan elastisitas mesin, yang kedua adalah konsumsi bahan bakar mobil, ketidakpuasan dengan respons yang lambat terhadap pedal gas dan pengoperasian kipas sistem pendingin. Memungkinkan untuk melakukannya menyelesaikan masalah ini. *Remap* membuat perubahan pada program manajemen mesin. Ada banyak perusahaan yang mengembangkan solusi siap pakai dalam hal *Remap*. Menyediakannya secara komersial. Menurut statistik, 90-95% pemilik mobil puas dengan hal ini. Tapi masih ada sebagian kecil persentase orang yang bersedia menghabiskan waktu dan uang mereka untuk menyetel mesin untuk parameter tertentu, gaya mengemudi dan terutama untuk konfigurasi mesin yang tidak standar, yaitu dalam peningkatan volume mesin.

Mengubah parameter fisik mesin, tanpa pengaturan yang benar dari program manajemen mesin bukanlah sesuatu yang tidak menunjukkan potensi penuh, dan bahkan mungkin memberi jalan kepada analog yang benar-benar standar [21] [22]. Berdasarkan hal ini, khusus unit kontrol mesin mikroprosesor untuk olahraga motor, seperti Korvet atau j5sport, dikembangkan pada saat itu. Mereka memungkinkan mengubah pengaturan mesin mikroprosesor unit kontrol [23] [24] [25] [26] secara *real time*, seperti komposisi campuran, sudut pengapian, fase injeksi. Pada unit kontrol mesin mikroprosesor khusus tersebut, dimana RAM tambahan digunakan agar memungkinkan perubahan sistem pengaturan kontrol dalam waktu nyata.

Sistem ini pada umumnya dirancang untuk mobil balap, yang biasanya tidak digunakan untuk berkeliling kota. Ada juga sistem yang diadaptasi untuk mobil "sipil", misalnya, seperti seperti dari perusahaan "Perangkat Lunak SMS" - "Tuner *on-line*", yang juga dapat mengubah pengaturan program secara real time [28] Biaya kompleks seperti itu terdiri dari satu debugging (teknik) unit kontrol elektronik berdasarkan Januari 7.2 [27], kabel penghubung, "adaptor KL-line" dan "adaptor host USB" tinggi dan ditambah dengan semua ini, perlu membeli sensor oksigen pita lebar. Tidak semua orang mampu untuk membeli yang begitu rumit. Perangkat lunak *On-Line Tuner* dan sistem pengembangan perangkat keras dirancang untuk penyetelan kalibrasi sistem kontrol injeksi bahan bakar secara *real-time* dan merupakan alat penting untuk setiap layanan mobil yang terlibat

dalam *Remap profesional* dan mempersiapkan mobil untuk balap motor dan balap jalanan.

1.2 Rumusan Masalah

Rincian dalam rumusan masalah yang di buat sebagai berikut :

- a. Bagaimana kerja ECU *Stand Alone* untuk mengatur kerja mesin pembakaran dalam bahan bakar bensin ?, dan apa saja *output* yang dihasilkan oleh ECU *Stand Alone* tersebut.
- b. Selain *output* utama ECU *Stand Alone* apa saja output bantu oleh ECU *Stand Alone* tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini untuk tugas akhir adalah sebagai berikut :

- a. Spesifikasi mesin yang akan diterapkan oleh ECU *Stand Alone* ini adalah mesin bensin 4 silinder segaris.
- b. Sistem pengapian yang digunakan adalah pengapian dengan distributor dan coil tunggal.
- c. ECU *Stand Alone* yang dirancang masih menggunakan *Throttle Body* konvensional bukan *Drive By Wire*.
- d. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino ATmega 2560 8bit.
- e. *Output* ECU *Stand Alone* hanya difokuskan pada *output* utama yaitunya waktu kerja injektor dan pengapian. *Output* bantu ECU *Stand Alone* yang digunakan hanya mengatur kipas pendingin (*Cooling Fan*).

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Mengembangkan ECU *Stand Alone* sebagai substitusi ECU Pabrikan menggunakan Arduino ATmega 2560 sebagai prosesor.

1.4.2 Manfaat Penelitian

- 1) Sebagai salah satu solusi yang dapat untuk menggantikan ECU Pabrikan untuk meningkatkan kinerja dan performa pada mesin.
- 2) Agar dapat mengendalikan emisi gas buang sesuai kebutuhan.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam pemahaman mengenai isi laporan tugas akhir, maka skripsi ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab I pendahuluan ada latar belakang (masalah), rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan dari skripsi.

BAB II. LANDASAN TEORI

Landasan teori menjelaskan tentang alur logika yang merupakan definisi dan proposisi bersumber dari bacaan mengenai perancangan, teori-teori baik dari buku-buku, jurnal dan hasil-hasil penelitian yang relevan dan telah disusun secara sistematis dalam skripsi.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi Penelitian dasarnya menjelaskan rencana dan prosedur penelitian yang dilakukan penulis untuk memperoleh jawaban yang sesuai dengan permasalahan atau tujuan perancangan pada skripsi.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Skripsi yang berupa perencanaan, bab ini berisi berbagai perhitungan, perencanaan dan tampilan hasil perencanaannya. Selain itu, juga mampu menjawab secara ilmiah tujuan atau permasalahan yang diajukan dalam skripsi.

BAB V. PENUTUP

Penutup merupakan bab terakhir yang terdiri atas dua sub bab, yaitu Simpulan dan Saran.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN



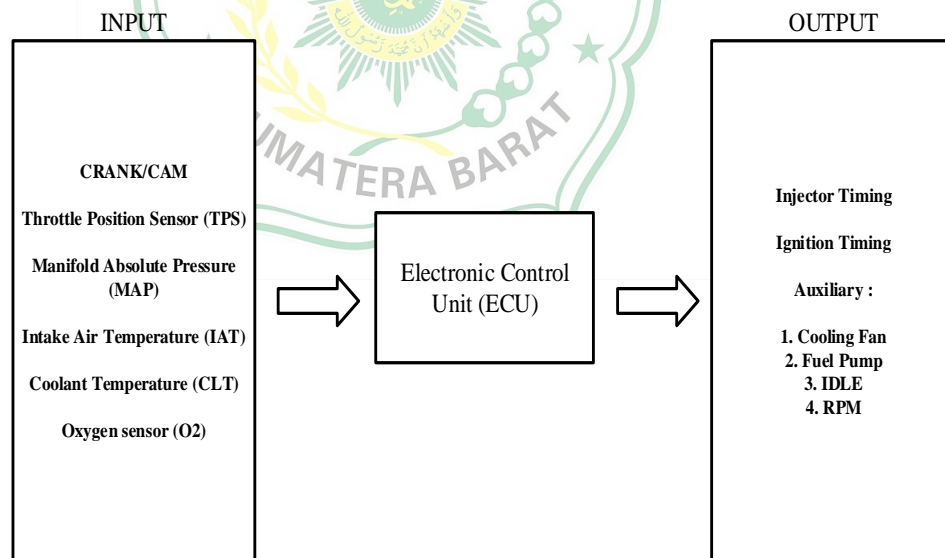
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 *Electronic Control Unit (ECU)*

Kendaraan zaman modern tidak lepas dengan namanya teknologi, contohnya yaitu ECU atau singkatan dari *Electronic Control Unit* dimana (ECU) adalah komponen penting bagi kendaraan zaman modern karena ECU berperan untuk mengontrol beragam fungsi dari kecepatan mobil, campuran udara dan bahan bakar, waktu pengapian dan kontrol transmisi hingga sistem keselamatan seperti ABS dan kantong udara.

Electronic Control Unit (ECU) adalah suatu sistem yang dirancang untuk mengelola berbagai sistem elektronik dalam kendaraan. ECU berisi tentang Mikroprosesor dan berbagai sensor yang mendeteksi data berbagai sistem dalam kendaraan lalu dikumpulkan dan diproses oleh Mikroprosesor guna untuk mengontrol sistem yang ada pada kendaraan, di bawah ini akan ditunjukkan Diagram Blok ECU pada gambar 2.1 :



Gambar 2.1 Diagram blok ECU

ECU sendiri memiliki pengontrolan yang terdiri dari *Input* yaitu sensor-sensor dan *Output* adalah aktuator untuk menjalankan fungsi kerja. Contoh, ECU

memonitor sensor seperti rasio udara dan bahan bakar, kecepatan mesin, dan suhu. Data diproses dan dianalisis oleh ECU kemudian dengan informasi tersebut ECU mengontrol injeksi bahan bakar dan waktu pengapian guna untuk mengoptimalkan kinerja mesin, sehingga dapat meningkatkan performa kendaraan dan meningkatkan efisiensi dalam berkendara.

2.1.1 *Input*

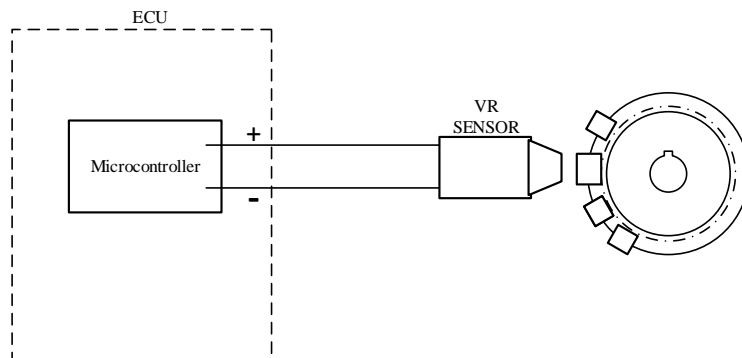
Electronic Control Unit (ECU) menerima masukan dari berbagai sensor pada mesin mobil, seperti sensor udara, sensor bahan bakar, sensor oksigen, dan sensor suhu. Sensor-sensor akan menjadi *input* agar dapat memberikan informasi tentang kondisi mesin dan lingkungan sekitarnya, untuk mengontrol kinerja mesin secara efisien dan optimal. *Input* sensor pada ECU akan dijelaskan sebagai berikut :

1. **CRANK-CAM**

Electronic Control Unit (ECU) sangat memerlukan *input* untuk menentukan posisi sudut dari crankshaft dan camshaft. Hasil dari pembacaan sensor yang mengeluarkan tegangan ketika medan magnet berubah dengan putaran dari roda gigi yang terbuat dari besi. Tegangan yang dikirimkan ke ECU akan dievaluasi untuk menentukan berapa kecepatan mesin berputar *Revolutions Per Minute* (RPM) dan dimana siklus mesin tersebut. Dua sensor yang digunakan pada umumnya untuk *crankshaft* maupun *camshaft* yaitu, *Variable Reluctance* (VR) dan *Hall Effect Sensor* .

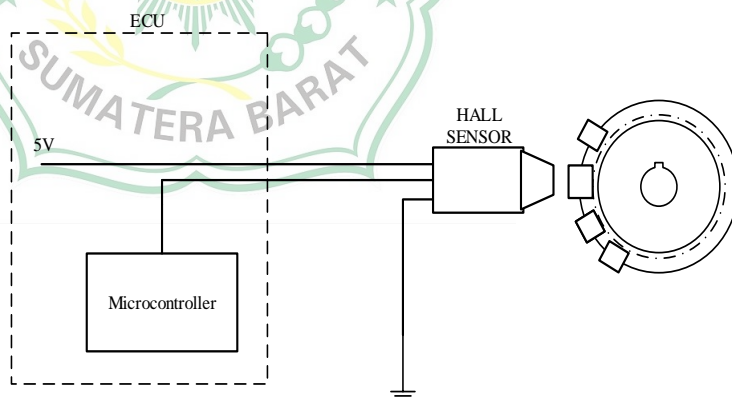
Variable Reluctance (VR) sering dikenal dengan sensor magnetik. Terdiri dengan kawat yang dililitkan pada magnet permanen, yang mirip dengan dengan solenoid atau motor DC, Sensor VR tidak memerlukan daya eksternal sehingga memiliki dua kabel yaitu sinyal dan ground. Roda gigi pada saat mendekati sensor maka akan merubah fluks magnet, lalu menginduksi arus yang menghasilkan tegangan. ECU menyesuaikan sinyal yang dikirimkan dari sensor, besarnya tegangan yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan seberapa cepat perubahan medan magnet.

Oleh karena itu, semakin cepat mesin berputar maka semakin tinggi tegangannya, berikut gambar ekivalen dari VR Sensor ditunjukkan pada gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Rangkaian ekivalen VR sensor

Hall Effect Sensor juga memiliki prinsip kerja yang sama dengan sensor VR dimana juga memanfaatkan peranan magnetik sebagai sumber sinyal yang akan diproses oleh ECU. Gambar ekivalen dari HALL sensor akan diperlihatkan pada gambar 2.3 :



Gambar 2.3 Rangkaian ekivalen HALL sensor

Kesamaan tersebut Hall Sensor memiliki tiga kabel yaitu, kabel sinyal, ground, dan *power*. *Sensor Hall Effect* juga mendukung transisi dari aktuasi mekanis dan metode pengaturan waktu ke sistem yang digerakkan secara elektrik.

2. *Throttle Position Sensor (TPS)*

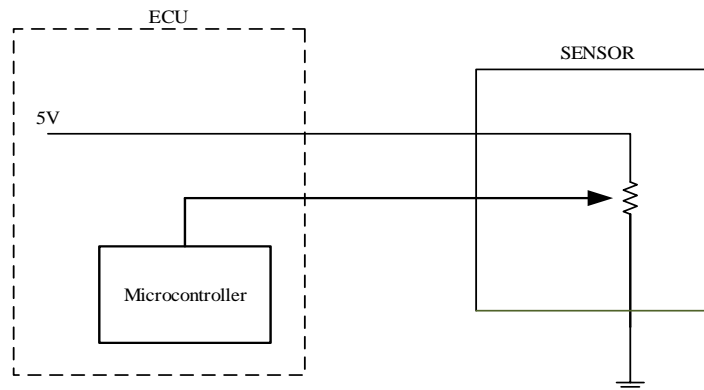
Sensor TPS (*Throttle Position Sensor*) merupakan komponen penting dalam sistem kendaraan elektronik pada mesin injeksi bahan bakar elektronik mesin dan sistem transmisi otomatis yang dikontrol secara elektronik. Sensor ini mengatur posisi pada katup *throttle* dan mengirimkan sistem ke *Electronic Control Unit* (ECU), untuk menentukan takaran dari bahan bakar-udara yang sesuai pada ruang pembakaran. Sensor TPS dipasang di salah satu ujung poros *throttle* pada *throttle body*.

Sensor TPS dipasang agar dapat mendeteksi ukuran dan kecepatan bukaan *throttle*, mengubah sinyal posisi bukaan *throttle* menjadi sinyal listrik lalu mengirimkan data tersebut ke ECU. Membedakan kondisi kerja mesin digunakan hal ini agar dapat mengontrol jumlah penginjeksian bahan bakar dan pengaturan waktu pengapian yang teratur. Kendaraan dengan transmisi otomatis yang dikontrol secara elektronik, sinyal posisi *throttle* merupakan sinyal utama perpindahan transmisi dan penguncian *converter* torsi.

Sensor TPS juga dikenal sebagai bukaan *throttle* atau saklar *throttle*, fungsi utamanya yaitu untuk mendeteksi apakah pada kondisi IDLE atau kondisi beban dan dalam kondisi akselerasi ataupun kondisi perlambatan. Katup *throttle* berada pada posisi kecepatan IDLE, maka kontak kecepatan IDLE ditutup, dan sinyal kondisi kecepatan IDLE dikirimkan ke ECU, ketika kutub *throttle* berada di posisi lain, kontak kecepatan IDLE dibuka, dan sinyal tegangan pada sudut rotasi yang berbeda relatif terhadap kutub *throttle*.

Nilai tegangan mengidentifikasi beban mesin sesuai dengan tegangan sinyal dalam periode waktu tertentu yang mengidentifikasi apakah itu dalam kondisi akselerasi atau perlambatan. ECU akan merevisi kuantitas injeksi bahan bakar

sesuai dengan informasi kondisi kerja. Gambar ekivalen sensor TPS dapat dilihat sebagai berikut, ditunjukkan pada gambar 2.4 :



Gambar 2.4 Rangkaian ekivalen sensor TPS

Sensor TPS adalah bagian yang sangat rentan terhadap gesekan dan akan terjadi berbagai masalah terhadap kendaraan jika terjadi kerusakan pada sensor TPS. Kecepatan IDLE pada kendaraan tidak stabil karena mendeteksi kondisi mesin secara *real-time* melalui dua kontak dan menyebabkan kecepatan IDLE yang sangat tidak stabil, kedua tidak dapat menyalakan kendaraan, bahkan jika dinyalakan pun kendaraan akan sering mati.

3. *Manifold Absolute Pressure (MAP)*

Kendaraan *modern* sekarang sangat bergantung pada penggunaan elektronik canggih untuk memantau setiap fungsi kendaraan dan juga memastikan bahwa kendaraan yang digunakan bekerja dengan optimal. Penggunaan mobil *modern* adalah penggunaan sensor yang semakin canggih untuk dapat bekerja dalam berbagai peran. Interpolasi bilinear Sensor MAP atau dikenal sebagai sensor tekanan *Absolut Manifold* berperan penting dalam sebuah mesin injeksi, sensor ini digunakan untuk mengukur tekanan di *Intake Manifold* mesin pembakaran Internal.

Mesin Injeksi membutuhkan bahan bakar untuk beroperasi apabila udara dan bahan bakar dicampur lalu diinjeksikan ke dalam mesin. Sensor MAP memberikan informasi ke *Electronic Control Unit* (ECU) tentang beban mesin, guna menentukan rasio udara, bahan bakar dan waktu pengapian. Cara kerja dari Sensor MAP yaitu dengan mengukur perbedaan antara tekanan atmosfer dan tekanan di dalam *manifold*. Sensor ini terdiri dari diafragma dan pengukur tegangan yang mendeteksi defleksi diafragma akibat perbedaan tekanan, sinyal listrik yang dihasilkan dikirim ke ECU lalu mengubahnya menjadi tegangan yang sesuai dengan beban mesin.

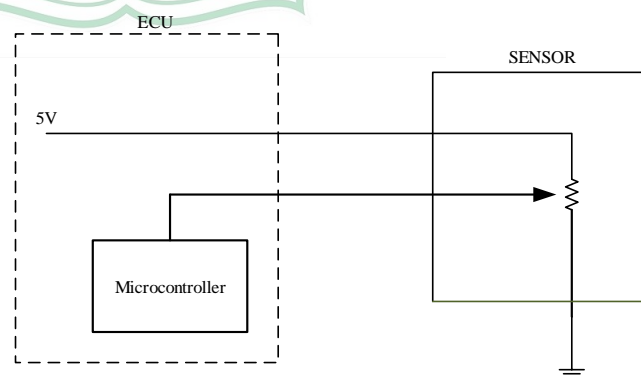
Sensor MAP ketika mengalami kerusakan dapat menyebabkan berbagai masalah pada mesin, seperti idle yang kasar, kurang performa mesin dan dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar. Penyebab Sensor MAP mengalami kerusakan yaitu kabel yang rusak, saluran vakum yang tersumbat dan sensor yang kotor. Adapun fitur utama yang dimiliki Sensor MAP, meliputi :

- a) Rentang Pengukuran: sensor harus memiliki rentang pengukuran yang luas, biasanya dari 0 hingga 5 volt, agar sensor dapat secara akurat mengukur perbedaan tekanan antara *intake manifold* dan tekanan atmosfer.
- b) Akurasi: Sensor MAP harus memberikan pembacaan yang akurat bahkan dalam kondisi mesin yang bervariasi, hal ini guna agar modul ECU dapat melakukan penyesuaian yang tepat pada rasio udara, bahan bakar dan waktu pengapian.
- c) Daya tahan: sensor harus tahan cukup lama untuk menahan kondisi pengoperasian mesin pembakaran internal yang keras, termasuk panas, getaran, dan paparan.
- d) Waktu respon: waktu respon yang cepat sangat penting bagi sensor untuk memberikan pembacaan yang akurat dalam waktu yang nyata, apabila sensor mengalami respon yang

lambat dapat menyebabkan penundaan respon ECU terhadap perubahan beban mesin.

- e) Sinyal Keluaran: sinyal *output* Sensor MAP harus kompatibel dengan sistem kontrol mesin kendaraan, sinyal *output* yang paling umum adalah tegangan atau frekuensi.
- f) Kemampuan Diagnostik: Sensor MAP modern mungkin juga memiliki kemampuan diagnostik yang memungkinkannya untuk mendeteksi dan melaporkan kesalahan atau kerusakan pada ECU, yang dapat membantu dalam pemecahan masalah dan pemeliharaan.

Sensor MAP (*manifold Absolute Pressure*) biasanya terdiri dari beberapa elemen seperti penginderaan, rangkaian penguat dan *output* sinyal. Elemen penginderaan biasanya berupa diafragma tipis yang terbuat dari silikon, yang terpapar pada tekanan *intake manifold* melalui port kecil. Rangkaian penguat yaitu memperkuat sinyal dari elemen penginderaan dan mengubah sinyal listrik yang dapat diproses oleh ECU. *Output* sinyal biasanya berupa analog maupun digital, tergantung dari sistem kontrol mesin kendaraan, rangkaian ekuivalen dari Sensor MAP ditunjukkan pada gambar 2.5 :



Gambar 2.5 Rangkaian ekuivalen Sensor MAP

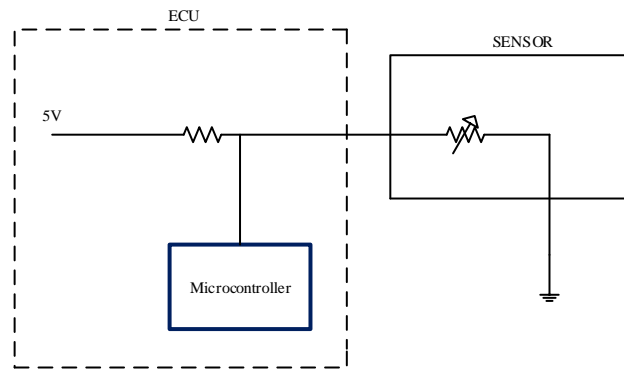
4. *Intake Air Temperature (IAT)*

Sensor IAT adalah sensor elektronik yang menentukan suhu udara masuk ke dalam mesin melalui *throttle body*. Sensor ini menggunakan *Thermistor*, yang mengubah pembacaan sesuai dengan suhu di sekitarnya. Sensor IAT terletak sebelum di *throttle body*, tepatnya di saluran udara antara kotak saringan udara dan *throttle*. Sensor ini kadang terletak disekrup ke *intake manifold*.

Fungsi utama sensor *Intake Air Temperature (IAT)* adalah untuk memberikan informasi kepada *Electronic Control Unit (ECU)* tentang suhu udara yang masuk. Informasi inilah yang digunakan ECU untuk menyesuaikan penginjeksian bahan bakar dan waktu pengapian, serta mengontrol fungsi mesin.

Udara yang masuk ke ruang pembakaran mengandung banyak udara, maka ECU akan menginjeksikan lebih banyak bahan bakar, hal ini akan mencegah mesin bekerja dengan sedikit bahan bakar. Udara yang masuk ke dalam mesin mengandung sedikit oksigen, maka ECU akan menginjeksikan bahan bakar lebih sedikit, hal ini akan mencegah mesin bekerja terlalu cepat, yang dapat menyebabkan pemborosan bahan bakar yang dan peningkatan emisi gas buang.

Sensor IAT menyediakan berbagai macam tegangan yang dikirim ke ECU sesuai suhu udara atau pun perhitungan kepadatan udara. Udara yang masuk terlalu sedikit akan membuat sensor menghasilkan sinyal tegangan tinggi dan ketika udara yang masuk terlalu banyak, sensor menghasilkan sinyal tegangan rendah. ECU menggunakan sinyal ini untuk menyesuaikan jumlah bahan bakar yang akan diinjeksikan kedalam mesin dan waktu pengapian, berikut rangkaian ekivalen dari Sensor IAT ditunjukkan gambar 2.6 :



Gambar 2.6 Rangkaian ekivalen Sensor IAT

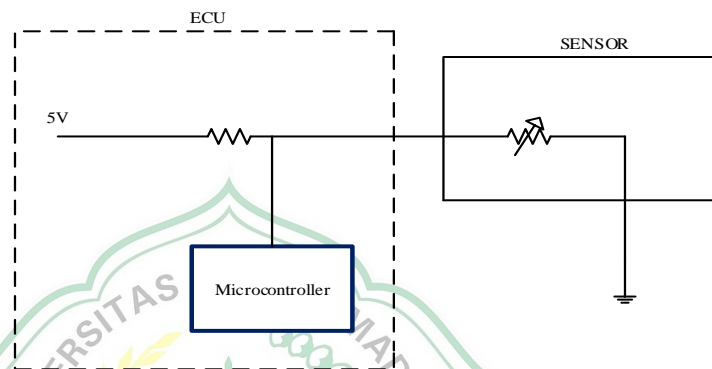
Singkatnya, Sensor IAT memainkan peran penting dalam pengoperasian mesin dengan memberikan informasi kepada ECU tentang suhu udara yang masuk, yang digunakan untuk menyesuaikan rasio udara/bahan bakar, waktu pengapian, dan fungsi mesin lainnya untuk memastikan kinerja, efisiensi bahan bakar, dan emisi yang optimal.

5. **Coolant Temperature (CLT)**

Kendaraan yang menggunakan sistem Full Injeksi pasti terdapat Sensor *Coolant Temperature* (CLT) atau dengan nama lain yaitu Sensor CLT, sensor ini berperan penting sebagai penjaga suhu mesin. Sensor CLT saat mengalami kerusakan maka kendaraan akan mudah mengalami *Overheat*. Sensor ini terpasang pada bagian blok mesin lebih tepatnya di saluran pendingin agar mudah membaca setiap perubahan cairan pendingin mesin.

Fungsi utama Sensor CLT ini yaitu mengukur atau mendeteksi suhu dari air pendingin dan memberikan sinyal ke *Electronic Control Unit* (ECU) untuk menghidupkan kipas saat mesin mulai panas. Suhu pendingin ketika melebihi batas normalnya maka Sensor CLT akan memberikan sinyal di lampu indikator pada speedometer, dari sinyal ini akan muncul perintah menghidupkan kipas radiator untuk menurunkan suhu mesin, kipas akan terus menyala hingga suhu mesin menjadi stabil.

Cara kerja dari Sensor CLT ini hanya sebagai alat pengukur perubahan suhu saja. Prinsip yang digunakan oleh sensor ini adalah thermistor yakni nilai hambatan atau resistansi berubah sesuai perubahan suhu pada mesin, ketika muncul perubahan suhu maka temperatur yang bersinggungan dengan salah satu resistor mengakibatkan perubahan resistansi dan data dari sensor. Gambar ekivalen dari Sensor CLT ditunjukkan oleh gambar 2.7 :



Gambar 2.7 Rangkaian Ekivalen Sensor CLT

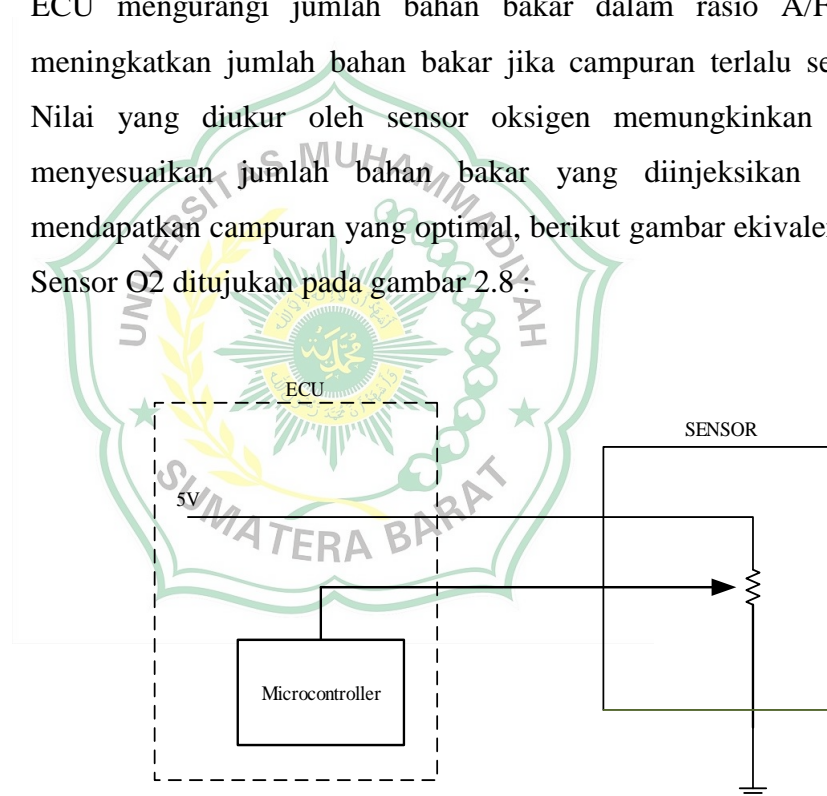
Data perubahan resistansi digunakan untuk memberikan perintah kepada indikator guna menyesuaikan kerja komponen lainnya. Salah satu perintah kerjanya adalah menyalakan kipas radiator, proses ini berlangsung berulang dan terus menerus hingga suhu mesin kembali normal.

6. *Oxygen Sensor (O2)*

Zaman sekarang standar emisi gas buang kendaraan semakin ketat, karena itulah Sensor O2 atau sensor oksigen menjadi sangat diperlukan untuk memastikan pengurangan emisi yang efisien. Pengembangan Sensor O2 gas buang telah memberikan kontribusi penting untuk memastikan mesin kendaraan lebih ramah lingkungan. Sensor oksigen diperlukan jika mesin ingin dapat diandalkan, sehingga memastikan konsumsi bahan bakar yang lebih hemat, dan nilai emisi gas buang yang sesuai.

Setiap mesin kendaraan yang menggunakan sistem *Electronic Control Unit* (ECU) pasti menggunakan komponen sensor O₂, Sensor O₂ adalah suatu instrumen untuk mengontrol emisi gas buang kendaraan baik bermesin bensin, diesel, dan gas. Sensor ini merupakan sensor yang mengukur kandungan oksigen sisa dari gas buang kendaraan kemudian mengirimkan sinyal ke ECU dalam bentuk tegangan listrik. Tegangan dari sensor oksigen memungkinkan ECU untuk mendeteksi apakah campuran minyak terlalu banyak atau sedikit.

Campuran minyak yang terlalu banyak akan menyebabkan ECU mengurangi jumlah bahan bakar dalam rasio A/F dan meningkatkan jumlah bahan bakar jika campuran terlalu sedikit. Nilai yang diukur oleh sensor oksigen memungkinkan ECU menyesuaikan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan untuk mendapatkan campuran yang optimal, berikut gambar ekivalen dari Sensor O₂ ditunjukkan pada gambar 2.8 :



Gambar 2.8 Rangkaian ekivalen Sensor O₂

2.1.2 Output

Sinyal yang diterima dari berbagai sensor langsung diproses *Electronic Control Unit* (ECU) dan mengirimkan perintah pada *output* agar kinerja mesin dapat bekerja secara optimal, *output* dijelaskan sebagai berikut :

1. *Injector Timing*

Injector Timing atau *Injection Timing* (Waktu penyemprotan) bahan bakar, memiliki peran penting dalam fungsi mesin pembakaran internal yang efisien. *Injector Timing* bahan bakar menentukan kapan dan berapa banyak bahan bakar yang disalurkan ke dalam ruang bakar. Terdapat berbagai metode yang digunakan untuk mengontrol waktu *injektor* bahan bakar, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangannya ditunjukkan tabel 2.1 :

Tabel 2.1 Metode-metode mengontrol waktu penyemprotan injektor

Metode Pengaturan Waktu	Deskripsi
<i>Mekanis</i>	Mengandalkan komponen mekanis seperti <i>camshafts</i> dan roda gigi untuk kontrol waktu
<i>Hidrolik</i>	Menggunakan tekanan hidrolik untuk mengontrol pengaturan waktu
<i>Elektronik</i>	Menggunakan sensor elektronik dan unit kontrol untuk kontrol waktu yang tepat

Fungsi utama pengaturan waktu *injektor* bahan bakar adalah untuk mengontrol pengiriman bahan bakar ke silinder mesin dengan mengatur waktu penginjeksian bahan bakar secara tepat sehingga mesin dapat mencapai campuran udara dan bahan bakar yang ideal untuk pembakaran. Hal ini sangat penting untuk memaksimalkan *output* tenaga mesin, meningkatkan efisiensi bahan bakar, dan mengurangi emisi gas buang.

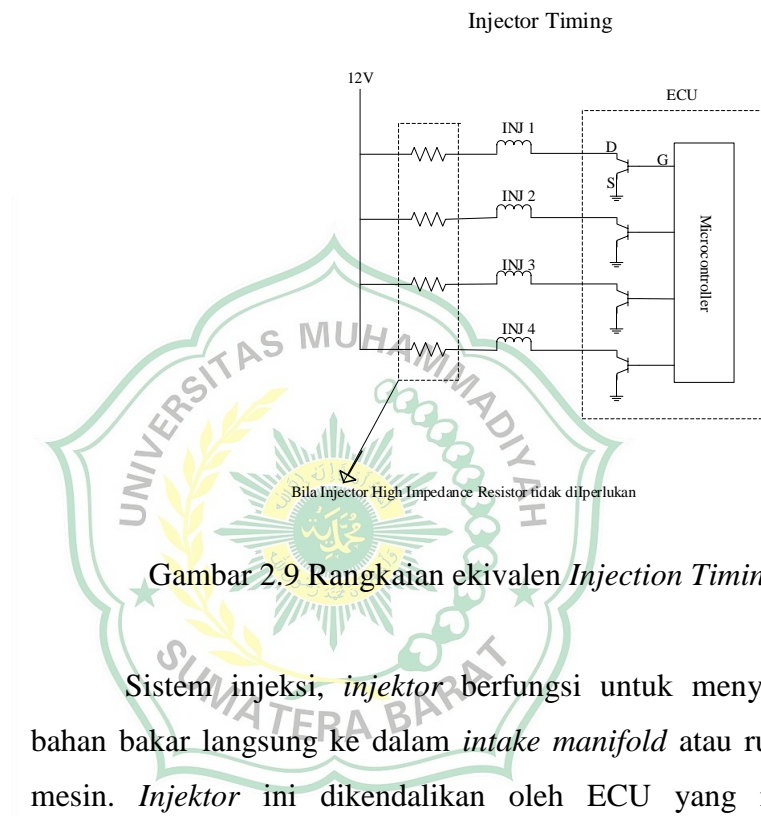
Pengaturan waktu *injektor* bahan bakar memiliki dampak yang signifikan terhadap *performa* mesin, berikut ini adalah beberapa aspek utama di mana pengaturan waktu *injektor* bahan bakar memiliki peran penting :

- a) Efisiensi pembakaran
Pengaturan waktu *injektor* bahan bakar yang tepat memastikan bahwa bahan bakar diinjeksikan pada saat yang tepat, sehingga dapat bercampur secara efektif dengan udara yang masuk. Hal ini menghasilkan pembakaran yang efisien, memaksimalkan *output* daya dan meminimalkan pemborosan bahan bakar.
- b) *Output* daya
Menyesuaikan waktu *injektor* bahan bakar, mesin dapat mengoptimalkan *output* daya sehingga memberikan dorongan tenaga, dan menyempurnakan karakteristik *performa* mesin.
- c) Kontrol emisi
Mengontrol waktu injeksi bahan bakar secara tepat, mesin dapat mencapai pembakaran yang lebih sempurna, sehingga menghasilkan tingkat polutan yang lebih rendah.
- d) Efisiensi bahan bakar
Mengoptimalkan waktu *injektor* bahan bakar dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar dengan memastikan bahwa bahan bakar diinjeksikan pada waktu yang tepat untuk pembakaran, hal ini mengurangi pemborosan bahan bakar.

Injektor adalah komponen penting dari sistem injeksi pada kendaraan modern, komponen ini lah berperan penting untuk menyalurkan jumlah bahan bakar yang tepat ke dalam mesin. Sensor pengaturan waktu injeksi bahan bakar memiliki peran penting dalam pengoperasian sistem *injeksi* bahan bakar yang efisien. Sensor ini bertanggung jawab untuk memantau dan mengontrol waktu injeksi bahan bakar kedalam silinder mesin.

Menentukan waktu yang tepat kapan bahan bakar harus diinjeksikan, maka secara akurat sensor ini memastikan

pembakaran dan performa mesin yang optimal. Sensor ini memberikan *input* yang diperlukan *Electronic Control Unit* (ECU) untuk menentukan posisi piston dan katup yang tepat. Berdasarkan informasi ini, ECU dapat menghitung waktu yang ideal untuk injeksi bahan bakar, berikut gambar ekivalen *Injection Timing* ditunjukkan pada gambar 2.9 :



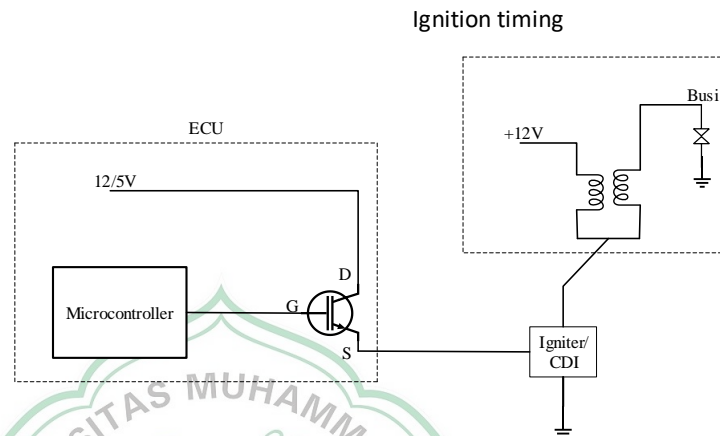
Gambar 2.9 Rangkaian ekivalen *Injection Timing*

Sistem injeksi, *injektor* berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar langsung ke dalam *intake manifold* atau ruang bakar mesin. *Injektor* ini dikendalikan oleh ECU yang memonitor berbagai parameter mesin, seperti kecepatan mesin, posisi *throttle*, dan suhu udara masuk. Mengontrol jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam mesin secara tepat, ECU memastikan campuran udara dan bahan bakar yang optimal untuk pembakaran, sehingga memaksimalkan *output* daya.

2. *Ignition Timing*

Ignition Timing (Waktu Pengapian) atau percikan adalah pengontrol penyalaan busi selama langkah kompresi di mesin pembakaran internal. Waktu pengapian yang tepat dapat

memastikan mesin kendaraan berfungsi dengan baik. Mesin 4 langkah (4 tak) siklus pengapian memiliki dua langkah ke atas dan dua langkah ke bawah, sehingga menghasilkan dua putaran poros engkol, berikut gambar ekivalen *Ignition Timing* ditunjukkan pada gambar 2.10 :



Gambar 2.10 Rangkaian ekivalen *Ignition Timing*

Empat langkah tersebut meliputi yang **pertama** yaitu langkah hisap (*intake*) bertujuan agar udara dan bahan bakar dapat masuk ke dalam silinder mesin, dalam prosesnya piston bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB), lalu klep masuk terbuka dan klep buang akan tertutup sehingga bahan bakar akan masuk ke dalam selinder, kemudian tekanan dari piston akan menghisap udara dan bahan bakar. Proses ini kruk as berputar 180° , dan noken as berputar 90° .

Langkah **kedua** yaitu langkah kompresi (*Compression*) bertujuan untuk meningkatkan temperatur sehingga bahan bakar dan udara dapat tercampur dengan baik, prosesnya yaitu piston dari titik mati bawah menuju ketitik mati atas lalu klep masuk tertutup dan klep buang tertutup sehingga udara dalam ruang bakar terkompresi. Kruk as berputar satu rotasi penuh 360° dan noken as mencapai 180° .

Langah **ketiga** adalah langkah tenaga (*Combustion*) dalam prosesnya dimulai dengan menyalanya busi menyebabkan terbakarnya bahan bakar dan udara sehingga terjadinya ledakan yang akan mendorong piston dari titik mati atas menuju ketitik mati bawah, pada saat ini klep masuk tertutup menjelang akhir langkah

klep buang mulai sedikit terbang, putaran kruk as mencapai 540° sedangkan putaran nokren as mencapai 270°.

Langkah **keempat** atau langkah terakhir yaitu langkah buang, proses yang terjadi yaitu klep buang terbuka dan klep masuk akan menutup kemudian piston naik karena dorongan balik dari kruk as proses pembakaran yang telah dilakukan maka pembakaran tersebut akan didorong keluar oleh piston. Selanjutnya proses kembali kelangkah awal.

3. *Auxiliary*

a) *Cooling Fan*

Cooling Fan atau Kipas pendingin Radiator adalah komponen penting dalam sistem pendingin mobil yang berfungsi untuk mengalirkan udara ke mesin melalui kisi-kisi pada radiator terutama ketika mobil berhenti dan juga untuk menjaga air pendingin agar berada dalam suhu yang sesuai dengan suhu mesin saat bekerja. Kipas pendingin radiator berputar ketika air pendingin berada pada suhu yang terlalu tinggi dan akan berhenti jika air pendingin sudah berada pada suhu yang sesuai dengan suhu kerja mesin.

Kipas pendingin bisa saja mengalami kerusakan apabila terjadi :

- a. Sensor CLT/ECT mengalami kerusakan atau bermasalah, sensor ini berfungsi mendeteksi suhu air pendingin dan mengirimkan informasi ke *Electronic Control Unit* (ECU), jika suhu air pendingin terlalu tinggi maka ECU akan memerintahkan kipas pendingin radiator berputar guna untuk mendinginkan mesin. Sensor ini ketika mengalami kerusakan atau bermasalah biasanya karena korsleting dan kotor maka sensor tidak dapat mengirimkan informasi suhu yang akurat ke ECU, akibatnya ECU akan memerintahkan kipas

pendingin untuk terus berputar bahkan ketika tidak diperlukan.

- b. Kondensor AC bertugas untuk mendinginkan *refrigeran* yang telah dikompresi dan dipanaskan oleh kompresor AC, jika kondensor rusak karena sumbatan atau kebocoran dapat mengakibatkan suhu *refrigeran* menjadi terlalu tinggi sehingga dapat menyebabkan kipas radiator berputar terus menerus.
- c. Unit pengendali kipas atau *fan control unit* adalah komponen yang mengendalikan operasi kipas pendingin radiator, unit ini menerima sinyal dari berbagai sensor dalam sistem pendinginan dan AC, dan berdasarkan informasi ini, mengendalikan kecepatan dan durasi operasi kipas. Apabila unit ini mengalami kerusakan elektronik atau koneksi yang buruk dapat menyebabkan kipas berputar terus menerus atau bahkan tidak berputar sama sekali. Kerusakan pada kipas pendingin radiator juga dapat mengurangi efisiensi bahan bakar dan kenyamanan berkendara.

b) *Fuel Pump*

Fuel Pump atau yang disebut pompa bahan bakar merupakan komponen penting dalam mesin mobil karena jika pompa bahan bakar tidak bekerja dengan baik, maka mesin tidak akan menyala karena kekurangan bahan bakar. *Fuel Pump* ini terletak di dalam tangki bahan bakar dan terhubung ke sistem pembakaran melalui sebuah selang bahan bakar.

Fungsi utama dari *Fuel Pump* ini adalah mengalirkan atau memompa bahan bakar dari tangki bensin menuju ruang pembakaran mesin. *Fuel Pump* ini juga

bertanggung jawab untuk konsistensi tekanan bahan bakar agar tidak terjadi kekurangan atau kelebihan bahan bakar saat mesin bekerja, ketika mobil dinyalakan maka *Fuel Pump* akan langsung aktif mengalirkan bahan bakar. Mesin dengan sistem injeksi, bahan bakar akan dipompa dari tangki menuju injektor, sementara itu bahan bakar akan dipompa ke berbagai komponen untuk proses pembakaran.

c) **IDLE**

IDLE bisa juga disebut dengan langsam, langsam berasal dari bahasa *Belanda* dan sebut dengan *Langzaam* yang artinya adalah diam (kondisi stasioner), yakni kondisi dimana energi yang digunakan hanya sedikit atau ketika kendaraan berjalan pelan. IDLE menandakan kondisi dimana mesin memiliki putaran yang normal serta gas tidak dalam keadaan ditekan atau yang bisa disebut dengan RPM, selain RPM ada juga istilah yang lain disebut dengan *IDLE up*.

RPM merupakan singkatan dari *Revolutions Per Minute* artinya jumlah putaran yang terjadi dalam satu menit. Posisi dalam kondisi IDLE, maka RPM IDLE sekitar 600 sampai dengan 750 *round* tergantung dari karakter mesin kendaraan. RPM IDLE juga bisa digunakan untuk mendeteksi apakah campuran udara dengan bahan bakar sudah sesuai atau belum, ketidaksesuaian ukuran bisa menyebabkan mesin menerima bahan bakar yang melebihi kebutuhan.

IDLE up bisa diartikan kondisi mesin mendapatkan beban tambahan, beban tambahan bisa berupa AC mobil yang dinyalakan, lampu depan yang dihidupkan, intinya *IDLE up* adalah kenaikan sedikit dari RPM IDLE. Tujuan penggunaan *IDLE up* adalah mencegah mesin mati

mendadak ketika mesin memperoleh beban tambahan. Secara sederhana dapat dikatakan *IDLE up* gunanya untuk menaikkan putaran pada mesin ketika mesin mendapatkan beban tambahan, sistem *IDLE up* tidak mampu untuk bekerja dengan baik hal ini akan menyebabkan RPM mesin menurun, apabila RPM mesin menurun mesin menjadi lebih cepat mati.

IDLE up pada mesin yang masih menggunakan karburator secara konvensional maka peralatan *IDLE up* yang digunakan adalah VSV atau *Vacuum Switching Valve* dan *actuator*. Fungsi dari *Actuator* untuk membuka katup *throttle* supaya penghisapan udara oleh mesin bertambah. Selanjutnya *IDLE up* yang terdapat pada mesin yang menggunakan EFI, dengan mesin sistem bahan bakar yang digunakan adalah sistem injeksi.

Sistem ini masih sama menggunakan VSV, tetapi peralatan tersebut ditambah dengan diafragma atau membran. Diafragma berfungsi supaya udara bisa masuk lewat *surge tank*. *Electronic Control Unit* (ECU) selanjutnya akan melakukan penambahan injeksi bahan bakar menurut jumlah udara yang masuk. Sistem injeksi yang sudah menggunakan ISC akan membuat pertambahan udara yang digunakan pada sistem *IDLE up* dikontrol langsung oleh ECU.

ISC adalah komponen yang digunakan untuk memutar *IDLE*. Komponen ini digunakan pada kendaraan yang menggunakan sistem bahan bakar injeksi atau *Electronic Fuel Injection* (EFI). ISC adalah singkatan dari *Idle Speed Control* dan komponen ini terpasang pada bagian *throttle body*. *IDLE up* pada mesin konvensional menggunakan ICS, tetapi pada mesin kendaraan yang lebih terbaru digunakan sistem ETCS-i. Kontrol pada *throttle*

valve agar bisa membuka secara elektronik sistem ini menggunakan computer, bukaan pada *throttle valve* konvensional menggunakan kabel dari pedal gas ke *throttle valve* agar bisa membuka atau menutup, tetapi pada sistem ETCS-I ini, fungsi kabel tidak digunakan sehingga ECU mesin mempergunakan *motor control throttle*. *Motor control throttle* ini digunakan untuk melakukan pengaturan terhadap sudut bukaan pada jumlah optimal, hal ini sebagai respon pada tingkat diangkatnya pedal gas. Pendeteksi bukaan pada pedal gas adalah akselerator pedal *position sensor*. *Throttle position sensor* berfungsi untuk mendeteksi bukaan pada *throttle valve*.

ISC berfungsi untuk melakukan pengaturan agar putaran pada sistem idle sesuai dengan perintah ECU, SC ini juga merupakan komponen yang penting dalam sistem bahan bakar EFI, karena tugasnya yang berkaitan untuk melakukan pengaturan volume udara yang masuk. Fungsi lengkapnya yaitu:

- a. Menghasilkan putaran mesin menjadi naik, ketika mesin dalam kondisi dingin atau pertama kali dihidupkan. ISC biasanya membuat RPM mesin naik menjadi 2000, kemudian juga akan membuat katup ISC terbuka lebih besar, menyesuaikan perintah ECU.
- b. Melakukan pengaturan jumlah atau volume udara yang masuk pada *intake manifold* ketika pedal gas tidak ditekan atau yang biasa disebut dengan *throttle valve* tertutup.
- c. Melakukan penyesuaian putaran pada sistem idle mesin secara otomatis dalam segala situasi dan kondisi.

- d. Membuat putaran mesin menjadi naik ketika mesin mendapatkan beban tambahan.
- e. Menciptakan kestabilan pada putaran mesin ketika AC mobil mulai dinyalakan, dan jika fungsi *IDLE up* ini tidak bekerja, mesin akan bergetar karena penambahan beban pada mesin supaya bisa memutar kompresor AC.

d) RPM (*Revolution Per Minute*)

RPM (*Revolution Per Minute*) merupakan deretan angka yang menunjukkan suatu *Crankshaft* atau putaran engkol sebuah mesin kendaraan yang mana dihitung setiap satu menit. Indikator ini biasanya akan berbentuk busur lingkaran yang mana terdapat angka meteran disertai dengan jarum penunjuknya, adapun deretan meteran yang ada dalam indikator RPM di sebut *Tachometer*.

Tachometer memiliki bentuk yang berbeda beda, ada yang bentuknya berbentuk busur lingkaran ataupun berbentuk digital dengan angka-angka yang tercantum pada layar indikator. Angka pada meteran tersebut menunjukkan angka dari 0 hingga 10 yang mana setiap angka menunjukkan angka ribuan, contoh pada saat jarum berada di angka 4 artinya putaran pada *Crankshaft* yakni 4000 *Revolution Per menit* (RPM).

Angka pada RPM jadi penentu kinerja mesin dimana kerja mesin yang berputar setiap menitnya ditunjukkan lewat indikator tersebut. Semakin keras sistem dalam bekerja, maka semakin banyak pula konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk memutar mesin dalam setiap putaran. RPM pada mobil dikatakan ideal jika menginjak pada angka 2 atau 3 dimana mesin menggunakan RPM sebesar 2000 hingga 3000.

Mobil transmisi manual, perpindahan gigi diatur manual sehingga perlu mengetahui betul kapan memindahkan persneling untuk menyesuaikan dengan RPM, saat berada pada gigi 2 putaran mesin sebesar 2000 akan cenderung memakan banyak bahan bakar sehingga perlu adanya perpindahan gigi ke 3 dengan menambahkan kecepatan untuk menghemat penggunaan bahan bakar saat digunakan. Mobil dengan transmisi otomatis dapat mengatur secara otomatis gigi yang diperlukan sesuai dengan RPM sehingga mudah untuk digunakan.

RPM pada mesin *Tachometer* berhubungan dengan seberapa pengemudi perlu menginjak pedal, pedal yang diinjak semakin dalam menimbulkan putaran semakin kencang sehingga mesin terdengar semakin keras. Sebuah kendaraan mempunyai ukuran maksimal yang dapat dicapai agar mesin tetap ideal pada saat digunakan, torsi satuannya *feet/ibs* atau *Newton Meter*.

2.2 *Arduino ATmega 2560*

Arduino Mega 2560 merupakan papan mikrokontroler berdasarkan ATmega 2560. Arduino Mega 2560 memiliki 54 digital pin *input/output* (14 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM), 16 analog *input* , 4 UART (hardware port serial), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, header ICSP, jack listrik, dan tombol reset. Semua ini diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Menggunakannya cukup hubungkan dengan komputer melalui perantara kabel USB ataupun dengan adaptor AC-DC. Berikut, spesifikasi Arduino ATmega 2560 ditunjukkan pada tabel 2.2 :

Tabel 2.2 Spesifikasi dari Arduino Mega (Atmega2560)

Mikrokontroler	Atmega2560
Operasi Tegangan	5 Volt
<i>Input</i> Tegangan	Disarankan 7-11 Volt
<i>Input</i> Tegangan Batas	6-20 Volt

Pin I/O Digital	54 (15 dapat digunakan untuk PWM)
Pin Analog	16
Arus DC Tiap Pin I/O	40 mA
Arus DC Ketika 3.3V	50 mA
<i>Memory Flash</i>	256 KB (Atmega2560) dan 8 KB digunakan oleh Bootloader
SRAM	8 KB (Atmega2560)
EEPROM	4 KB (Atmega2560)
Kecepatan Clock	16 Mhz

Berikut ini, merupakan rincian dari Arduino Mega :

1. *Power*

Arduino Mega dapat diaktifkan dengan catu daya eksternal ataupun menggunakan kabel USB. Catu daya eksternal dapat diperoleh dari adaptor AC-DC. *Board* dapat beroperasi dengan sumber *power* sebesar 7-12 volt. Pin yang tersedia pada board sebagai berikut :

- a) VIN merupakan *input* tegangan ke *on-board* Arduino ketika menggunakan sumber *power eksternal*.
- b) 5V adalah pin yang memasukan *output* senilai 5 volt yang diatur oleh *on-board* Arduino. Dapat diaktifkan dengan konektor USB (5 volt), Jack *power* DC (7-12 volt), dan melalui pin VIN pada *on-board* sebesar (7-12 volt). Namun, jika diberikan tegangan melalui pin 5V atau 3,3V secara langsung tanpa melewati regulator maka akan berdampak pada rusaknya *on-board* Arduino.
- c) 3V3 merupakan pin yang akan menghasilkan tegangan sebesar 3,3 volt yang dihasilkan dari regulator yang terdapat pada *on-board*, dimana arus maksimum yang dihasilkan sebesar 50 mA.
- d) GND adalah pin *Ground* atau Massa.
- e) IOREF adalah pin yang berfungsi untuk memberi tegangan referensi yang beroperasi pada mikrokontroler.

2. Memori

Arduino ATmega 2560 memiliki 256 KB *flash memory* untuk menyimpan kode (dengan 8 KB digunakan untuk bootloader), Arduino ATmega 2560 juga memiliki 8 KB SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan *library* EEPROM).

3. I/O

Arduino Mega memiliki masing-masing 54 pin digital yang dapat digunakan sebagai *input* maupun *output*, menggunakan fungsi *pinMode*, *digitalWrite*, dan *digitalRead*. Arduino Mega dapat beroperasi pada tegangan 5V dan setiap pin dapat memberikan atau menerima arus maksimum sebesar 40 mA. Memiliki resistor *pull-up internal* 20-50 KOhm serta memiliki 6 pin dengan fungsi khusus yaitu Serial, Eksternal Interupsi, SPI, LED, dan TWI. Arduino ATmega 2560 memiliki 16 pin analog *input* yang menyediakan resolusi 10 bit. Ada beberapa pin lainnya yang tersedia yaitu :

- a) AREF yang dapat referensi tegangan *input* analog.
- b) RESET adalah jalur *LOW* yang digunakan untuk memulai ulang mikrokontroler.

2.3 MOSFET Channel Type N

MOSFET memiliki kepanjangan yaitu (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), adalah sebuah komponen semikonduktor yang di gunakan sebagai *switch* dan penguat sinyal pada perangkat elektronik. MOSFET sendiri memiliki empat gerbang terminal antara lain *Source* (S), *Gate* (G), *Drain* (D), dan *Body* (B), bekerja secara elektronik memvariasikan sepanjang jalur pembawa muatan (*electron* atau *hole*). Muatan listrik yang masuk ke saluran *Source* dan keluar melalui *Drain*, lebar saluran MOSFET dikendalikan oleh tegangan pada elektroda yang di sebut dengan gate atau gerbang yang terletak antara *Source* dan *Drain*.

Projek ECU (Electronic Control Unit) ini Channel type MOSFET yang digunakan adalah type N atau disebut dengan NMOS, terdiri dari subtract tipe p dengan daerah *Source* dan *Drain*. Cara kerja dari MOSFET ialah mengontrol

tegangan dan arus antara *Source* dan *Drain*, komponen ini digunakan sebagai *switch*, kerjanya MOSFET bergantung pada kapasitas MOS, karena kapasitas MOS adalah bagian utama dari MOSFET. MOSFET type N-Channel memiliki dua cara kerja yaitu pada *Enhancement Mode* (E-MOSFET) dan pada *Depletion Mode* (D-MOSFET). *Enhancement Mode* (E-MOSFET), N-Channel akan memutuskan terminal *Source* dan *Drain* ketika nilai tegangan pada VGS nya sama dengan nol. *Depletion Mode* (D-MOSFET), N-Channel akan menghubungkan terminal *Source* dan *Drain* ketika nilai tegangan pada VGS nya sama dengan nol.

2.4 IC TC4424

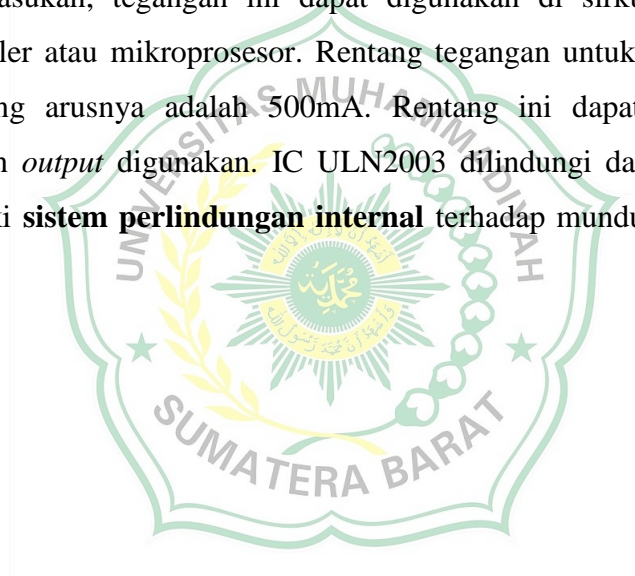
IC TC4424 merupakan perangkat rangkaian driver buffer atau MOSFET 3A *output* ganda. IC TC4424 ini adalah perangkat yang disempurnakan dari keluarga driver 3A *output* ganda yang pernah ada sebelumnya. Versi IC TC4424 ini memiliki kemampuan penggerak arus keluaran puncak yang lebih tinggi, arus pemotretan yang lebih rendah, dan waktu naik atau turun yang sesuai dengan waktu tunda perambatan. Adapun fitur yang dimiliki dari IC TC4424 ini yaitu :

1. Arus *output* puncak yang tinggi : 4.5A.
2. Jangkuan operasi tegangan pasokan *input* yang lebar : 4.5V hingga 18V.
3. Kemampuan penggerak beban kapasitif tinggi : 1800pF dalam 12 ns.
4. Waktu tundanya pendek : 40 ns.
5. Arus pasokan yang rendah dengan *input* logika '1' – 1,0 mA.
6. Arus pasokan yang rendah dengan *input* logika '0' – 150 μ A.
7. Impedansi *output* rendah : 2,5 Ω .
8. Dilindungi penguncian akan menahan arus balik hingga 1,5A.
9. *Input* logika akan menahan ayunan negatif hingga 5V.
10. Paket SOIC 8-pin 150 mil body SOIC dan 8-pin 6 \times 5 DFN yang hemat tempat.

2.5 IC ULN 2003

IC ULN 2003 adalah sebuah IC dengan ciri memiliki 7 bit *input*, tegangan maksimal 50 volt dan arus 500 ma. Satu unit control memiliki satu set fungsi control yang mengontrol level tegangan pada *input* dan *output* nya, serta pengatur waktu, PWM, interupsi dan metode *switching*. Fungsi control ini memungkinkan untuk menghasilkan beberapa fungsi tanpa mengganggu keseluruhan rangkaian pengontrol. Untuk menghasilkan beberapa operasi, pengontrol dan prosesor sederhana digunakan. Masalahnya adalah untuk meminimalkan rangkaian peralatan arus searah tegangan tinggi.

IC ULN 2003 merupakan IC penguat arus yang didalamnya menggunakan konfigurasi transistor *darlington*, karena tegangan keluaran tidak bergantung pada tegangan masukan, tegangan ini dapat digunakan di sirkuit apa pun seperti mikrokontroler atau mikroprosesor. Rentang tegangan untuk beban adalah 50V, tetapi rentang arusnya adalah 500mA. Rentang ini dapat diperpanjang jika beberapa pin *output* digunakan. IC ULN2003 dilindungi dari frekuensi counter dan memiliki **sistem perlindungan internal** terhadap mundur untuk melindungi perangkat.



BAB III

KONSEP PERANCANGAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dan pembuatan tugas akhir ini penulis lakukan tepatnya di Kampus III Bukittinggi Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat. Penelitian dan pembuatan tugas akhir ini dilakukan mulai bulan November 2023 sampai Februari 2024.

3.2 Peralatan dan Bahan

alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Laptop
2. *KiCad 7*
3. *TunerStudio* (Konfigurasi ECU)
4. Simulator ECU
5. *Power Supply*
6. *Osiloskop*
7. Multimeter
8. Obeng plus dan minus
9. Tang Kombinasi
10. Tang Potong
11. Tang Kupas

3.2.2 Bahan

Bahan yang diperlukan untuk pengerjaan tugas akhir ini disebutkan sebagai berikut :

1. Papan PCB
2. Resistor
3. Kapasitor

4. *Voltage Regulator 5V*
5. IC yang dibutuhkan
6. Arduino ATmega 2560
7. Terminal
8. Kabel
9. *Pin Header*
10. LED
11. Mosfet
12. Fuse
13. Timah Solder
14. Pasta Solder
15. Heatshrink

3.3 Prosedur Penelitian

Perancangan tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahapan yang dilakukan diantaranya yaitu :

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap pengumpulan referensi dan literatur dari berbagai sumber terpercaya yang akan dijadikan sebagai pedoman dalam perancangan dan pembuatan alat. Referensi tersebut akan dipelajari mulai dari rangkaian, komponen serta metode yang akan berhubungan dengan perancangan dan pembuatan alat dalam penelitian. Prosedur ini bertujuan agar memperoleh hasil yang sesuai dengan prinsip kerja pada komponen yang digunakan dalam perancangan alat.

Rangkaian elektronik dibuat menggunakan *software KiCad 7. Schematic Editor* merupakan fitur yang digunakan agar dapat merancang skema rangkaian. Rangkaian elektronik disusun sesuai referensi dan literatur yang telah dipelajari sebelumnya. *Schematic Editor* memiliki berbagai fitur komponen yang dibutuhkan, sehingga dapat memudahkan dalam proses pembuatan skema rangkaian.

3.3.2 Merancang PCB

Skema rangkaian yang telah dibuat menggunakan *Software Kicad 7.0* pada fitur *Schematic Editor*, selanjutnya dipindahkan pada fitur *PCB Editor*. Komponen elektronik yang digunakan dapat dihubungkan dengan rangkaian tembaga pada PCB (*Printed Circuit Board*). PCB berbahan dasar isolator dengan jalur tembaga pada bagian permukaan. Penggunaan PCB sangat mempermudah dalam pemasangan dan perawatan dari rangkaian elektronik.

PCB Editor merupakan *software* yang digunakan untuk menyusun rangkaian, posisi, dan ukuran kaki dari komponen elektronik yang akan digunakan. Rangkaian PCB yang telah sesuai dengan skematik yang telah dirancang sebelumnya akan dicetak menjadi PCB.

3.3.3 Pemasangan Komponen

Pemasangan komponen pada papan PCB yang telah dicetak harus dipasang sesuai skema rangkaian yang telah dibuat sebelumnya. Ketelitian sangat diperlukan dalam pemasangan komponen elektronika, agar tidak terjadi kesalahan dan solderan pada kaki komponen yang terlalu tipis atau tebal. Nilai komponen yang dipasang harus sesuai dengan skema rangkaian yang dibuat agar peralatan yang dibuat dapat berfungsi dengan benar.

3.3.4 Konfigurasi Base map

Base map bisa diartikan sebagai pengaturan/konfigurasi dasar. *Base map* merupakan akan memberikan *output* sesuai sesuai pembacaan *input* dari sensor. Nilai *output* yang diberikan oleh ECU diambil berdasarkan tabel – tabel *output* terhadap *output* yang telah ditetapkan sebelumnya. *Base map* ini memiliki pengaturan agar mesin dapat bekerja normal dengan optimalisasi antara kinerja dan konsumsi bahan bakar. Untuk kebutuhan tertentu *Base map* ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan. *Tuner Studio* merupakan *software* yang digunakan untuk melakukan konfigurasi/pengaturan *Base map* pada tugas akhir ini.

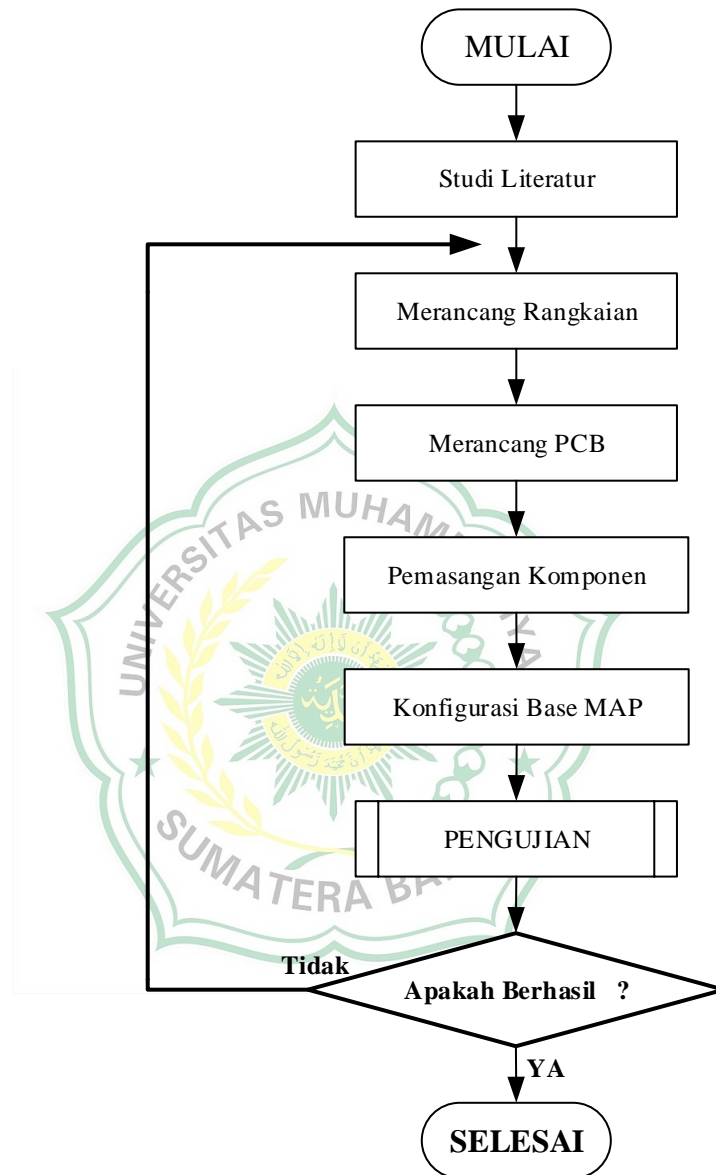
3.3.5 Pengujian

Pengujian bertujuan agar bisa memastikan ECU *Stand Alone* berfungsi sebagaimana mestinya. Pengujian ECU *Stand Alone* dilakukan menggunakan simulator kendaraan. Parameter yang diamati dalam pengujian ini adalah *output* utama dari sebuah ECU, yaitu *output* waktu pengapian dan *output* waktu kerja injektor. Masing-masing parameter tersebut akan diamati terhadap perubahan putaran mesin (rpm), disamping itu beberapa *output* tambahan juga akan diamati, diantaranya kipas pendingin (*Cooling Fan*) dan pompa bahan bakar (*Fuel Pump*).



3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian 3.1 menunjukkan alur pembuatan ECU mulai dari tahap awal hingga selesai, akan ditunjukkan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Hasil Rancangan Skematik

Rangkaian dirancang berdasarkan referensi yang diperoleh dari studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya. Rangkaian tersebut dirancang menjadi skematik menggunakan aplikasi KiCad 7.0. Rincian komponen yang digunakan dalam pembuatan rangkaian skematik ditunjukkan tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Komponen rangkaian skematik

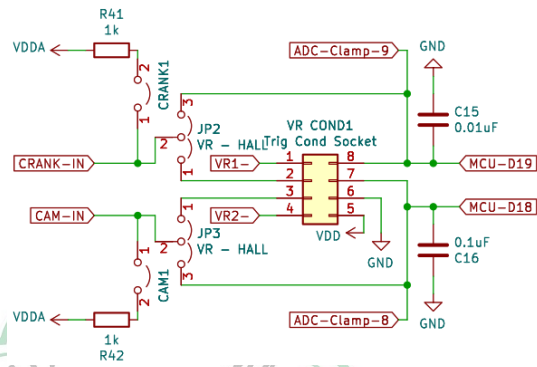
NO	Ref	Komponen	Nilai	Jumlah
1	XA1	Arduino Mega2560	-	1
2	D11,D6,D12,D16,D13,15	Dioda	1N400 7	6
3	FDDA1, FDDP	Fuse	2A	2
4	U6	IC	ULN 2003	1
5	D1	IC	1N414 9	1
6	U4, U2	IC	TC442 4A	2
7	VR COND	IC	Socket	1
8	U1, U3	IC	SP721	2
9	C4, C11, C3, C16, C28, C23, C1, C9, C18, C10, C24, C20, C22	Kapasitor Non Polar	0.1uF	13
10	C12, C13, C7, C14, C8, C6	Kapasitor Non Polar	0.22uF	6
11	C15	Kapasitor Non polar	0.01uf	1
12	C25	Kapasitor Non Polar	1uf	1

13	C17	Kapasitor polar	10uf	1
14	C21	Kapasitor Polar	47uf	1
15	IGN2, INJ1, IGN4, INJ4, INJ3, IGN1, IGN3	LED	LED	8
16	Q5, Q6	MOSFET	IRF 540N	2
17	Q1, Q3, Q4, Q2	MOSFET	IRF 520N	4
18	CRANK, CAM, VR- HALL, VR- HALL, JP_ IGN1	Pin Header	-	
19	R4, R13, R28, R43, R16, R15, R1, R19, R14, R3, R2	Resistor	100K	11
20	R35, R36	Resistor	2.7K	2
21	R34, R39, R40, R62, R32, R31, R38, R63	Resistor	470R	8
22	R42, R17, R37, R41, R5, R54, R8, R20, R18, R44, R21, R7, R6, R29	Resistor	1k	15
23	R27	Resistor	10k	1
24	R10, R9, R23, R26, R12, R11, R24	Resistor	2k	8
25	R30	Resistor	3.9k	1
26	IN1	Terminal	13P	1
27	OUT2, OUT1, OUT3, POWER 1	Terminal	4P	4
28	GND2, POWER 2, JPower1	Terminal	3P	3
29	OUT4	Terminal	2P	1

4.1.1.A Input

1. Crank-Cam Sensor

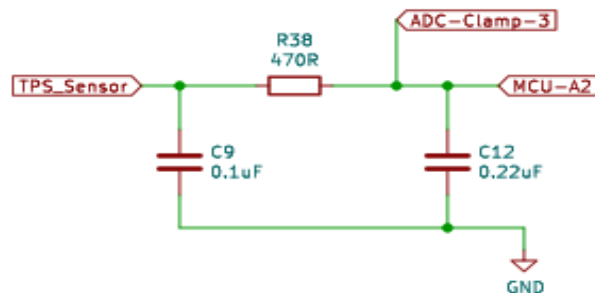
Crank-Cam Sensor saat membaca putaran pada Crank Shaft dan Cam Shaft akan memberikan sinyal kepada ECU sebagai *input* melalui Pin D19 dan D18. Gambar Rancangan skematik Crank-Cam Sensor diperlihatkan pada gambar 4.1 :



Gambar 4.1 Rancangan skematik Crank-Cam Sensor

2. Throttle Position Sensor (TPS) Sensor

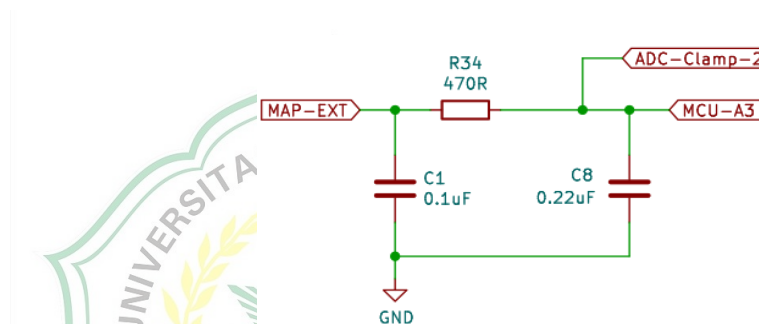
TPS akan mengirimkan sinyal masukan ke MCU melalui pin A2. Sebelum masuk ke MCU sinyal tersebut melalui rangkaian *Filter* yang terdiri dari dua buah kapasitor yang dirangkai paralel menuju *ground* dan satu buah kapasitor. Resistor tersebut diletakan antara dua kapasitor. Masukan ke MCU diparalelkan dengan ADC (*Analog Digital Converter*) clamp yang berfungsi sebagai persamaan tegangan lebih terhadap sinyal masukan MCU, berikut gambar skematik sensor TPS pada gambar 4.2 :



Gambar 4.2 Rancangan skematik sensor TPS

3. *Manifold Absolute Pressure (MAP) Sensor*

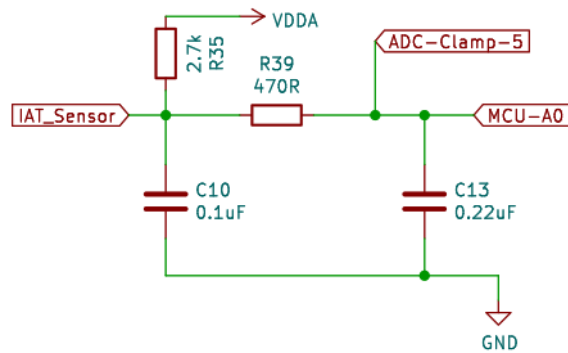
Manifold Absolute Pressure (MAP) sensor akan mengirimkan sinyal masukan ke MCU melalui pin A3. Sebelum masuk ke MCU sinyal tersebut melalui rangkaian *Filter* yang terdiri dari dua buah kapasitor yang dirangkai paralel menuju *ground* dan satu buah kapasitor. Resistor tersebut diletakan antara dua kapasitor. Masukan ke MCU diparalelkan dengan ADC (*Analog Digital Converter*) clamp yang berfungsi sebagai persamaan tegangan lebih terhadap sinyal masukan MCU, berikut gambar rancangan skematik sensor MAP ditunjukkan gambar 4.3 :



Gambar 4.3 Rancangan skematik sensor MAP

4. *Intake Air Temperature (IAT) sensor*

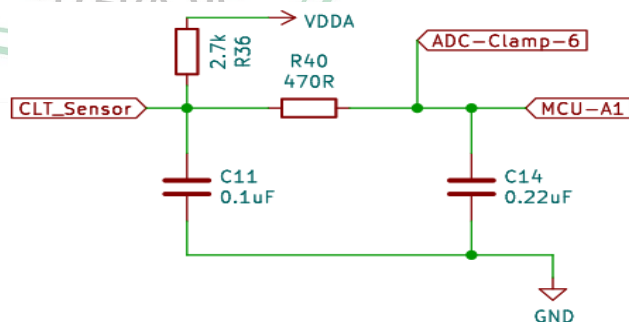
IAT sensor mengirimkan sinyal masukan ke MCU melalui pin A0. Sebelum masuk ke MCU sinyal tersebut melalui rangkaian *Filter* yang terdiri dari dua buah kapasitor yang dirangkai paralel menuju *ground* dan satu buah kapasitor. Resistor tersebut diletakan antara dua kapasitor. Masukan ke MCU diparalelkan dengan ADC (*Analog Digital Converter*) clamp yang berfungsi sebagai persamaan tegangan lebih terhadap sinyal masukan MCU, lalu rangkaian dari sensor IAT dihubungkan dengan sumber tegangan 5V. Gambar rancangan skematik sensor IAT ditunjukkan pada gambar 4.4 :



Gambar 4.4 Rancangan skematik sensor IAT

5. *Coolant Temperature (CLT) Sensor*

CLT sensor mengirimkan sinyal masukan ke MCU melalui pin A1, sebelum masuk ke MCU sinyal tersebut melalui rangkaian *Filter* yang terdiri dari dua buah kapasitor yang dirangkai paralel menuju *ground* dan satu buah kapasitor. Resistor tersebut diletakan antara dua kapasitor. Masukan ke MCU diparalelkan dengan ADC (*Analog Digital Converter*) clamp yang berfungsi sebagai persamaan tegangan lebih terhadap sinyal masukan MCU, lalu rangkaian dari sensor IAT dihubungkan dengan sumber tegangan 5V, berikut gambar skematik sensor CLT ditunjukkan pada gambar 4.5 :

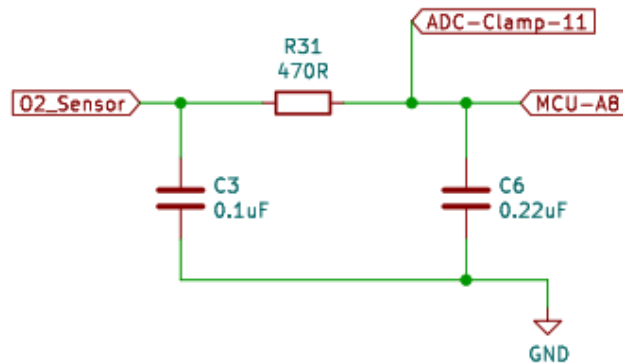


Gambar 4.5 Rancangan skematik sensor CLT

6. *Oxygen Sensor (O2)*

O2 sensor mengirimkan sinyal masukan ke MCU melalui pin A8. Sebelum masuk ke MCU sinyal tersebut melalui rangkaian *Filter* yang terdiri dari dua buah kapasitor yang dirangkai paralel

menuju *ground* dan satu buah kapasitor. Resistor tersebut diletakan antara dua kapasitor. Masukan ke MCU diparalelkan dengan ADC (*Analog Digital Converter*) clamp yang berfungsi sebagai persamaan tegangan lebih terhadap sinyal masukan MCU. Gambar rancangan skematik O2 sensor ditunjukkan gambar 4.6 :

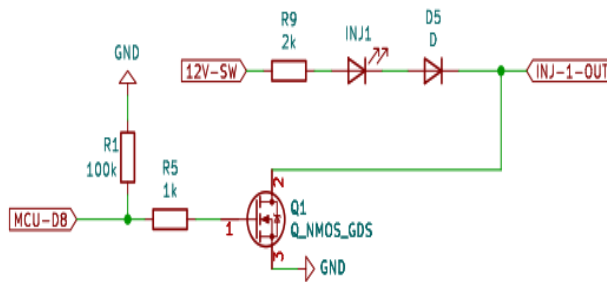


Gambar 4.6 Rancangan skematik sensor O2

4.1.1.B Output

1. Waktu kerja injektor

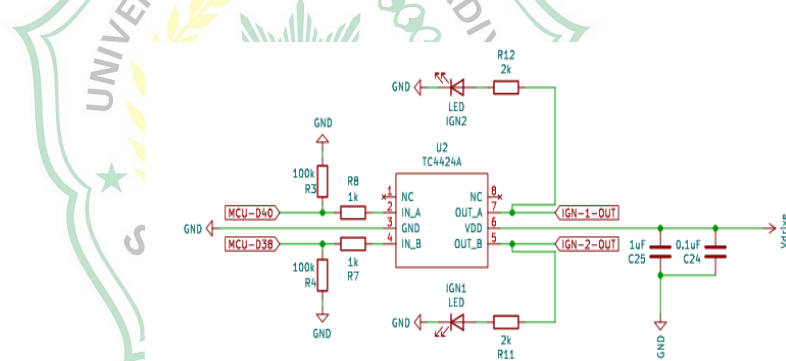
Pengaturan waktu kerja masing-masing injektor dilakukan oleh sebuah MOSFET tipe N untuk setiap injektor. MOSFET digunakan untuk proses *switching* tegangan ke injektor. Keluaran MCU dari Pin Digital *output* (D8, D9, D10, D11) akan diumpankan ke kaki *Gate* pada MOSFET berupa sinyal digital dengan nilai *High* 5V dan *Low* 5V. MOSFET akan melakukan *switching* pada polaritas negatif injektor, sebelum masuk ke kaki *Gate* MOSFET sinyal keluaran dari MCU akan melewati rangkaian *Pull-up*, yang terdiri dari 2 resistor yang dirangkai seri dan paralel. Kaki DRAIN MOSFET dihubungkan dengan terminal negatif injektor, disamping itu LED juga digunakan sebagai indikator sinyal keluaran MCU untuk injektor. Rangkaian indikator ini terdiri dari resistor , dioda, dan LED yang dirangkai seri. Rangkaian tersebut dihubungkan dengan +12V dan kaki DRAIN MOSFET agar indikator yang diberikan sesuai dengan sinyal output injektor dari MCU. Kaki *Source* MOSFET dihubungkan ke *ground*, berikut skematik rangkaian waktu kerja injektor ditunjukkan gambar 4.7 :



Gambar 4.7 Rancangan skematik Waktu kerja injektor

2. Waktu pengapian

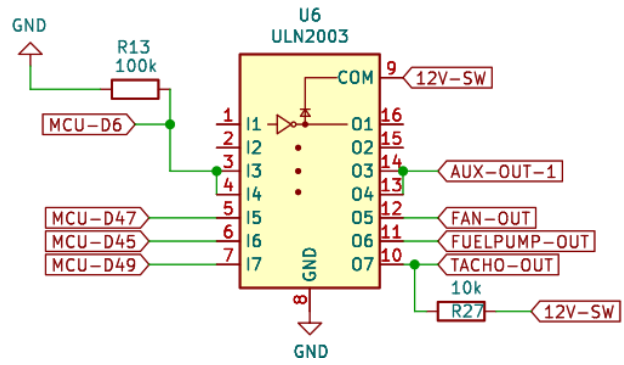
Waktu Kerja Pengapian dikeluarkan dari pin D40 dan D38. Sinyal keluaran tersebut adalah sinyal digital dengan nilai High 5V dan Low 0V, keluaran dari MCU akan masuk. Sinyal masukan dari MCU ke IC TC4424. IC ini akan melakukan proses *switching* pada polaritas positif. Tegangan keluaran FC sama dengan tegangan input terminal VDD (12V/5V). LED digunakan sebagai indikator yang dirangkai seri dengan resistor dan tegangan +12V. Gambar skematik rangkaian waktu pengapian ditunjukkan gambar 4.8 :



Gambar 4.8 Rancangan skematik Waktu pengapian

3. Auxiliary

Auxiliary (Output Bantu) diberikan oleh pin D6, D47, D45, dan D49 masing-masing untuk Auxiliary Out 1 Cooling Fan, Fuel Pump, dan TACHO meter. Sinyal keluaran berupa sinyal digital dengan nilai tegangan High 5V dan Low 0V. keluaran dari MCU dihubungkan langsung ke input IC ULN2003. Keluaran dari IC ini berupa tegangan 12V, sesuai dengan tegangan input pada kaki Com IC tersebut. Gambar rangkaian skematik kipas pendingin, pompa bahan bakar, dan TACHO akan ditunjukkan gambar 4.9 :

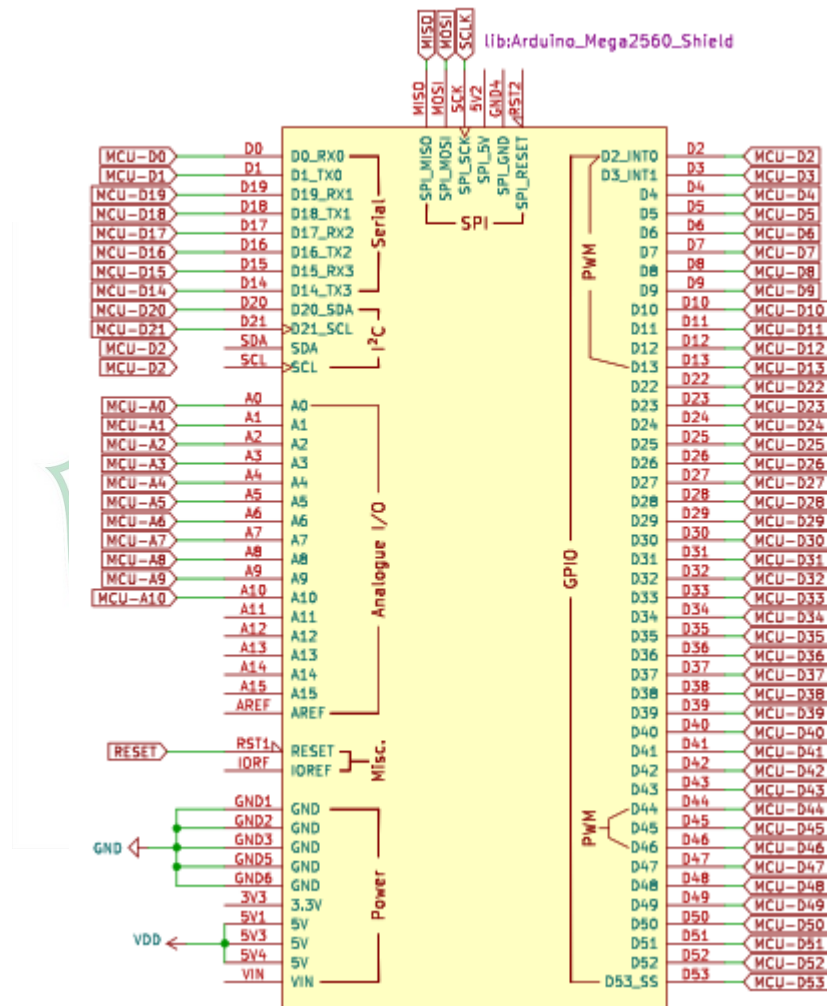


Gambar 4.9 Rancangan skematik Kipas pendingin dan Pompa bahan bakar



4.1.1.C Arduino ATmega 2560

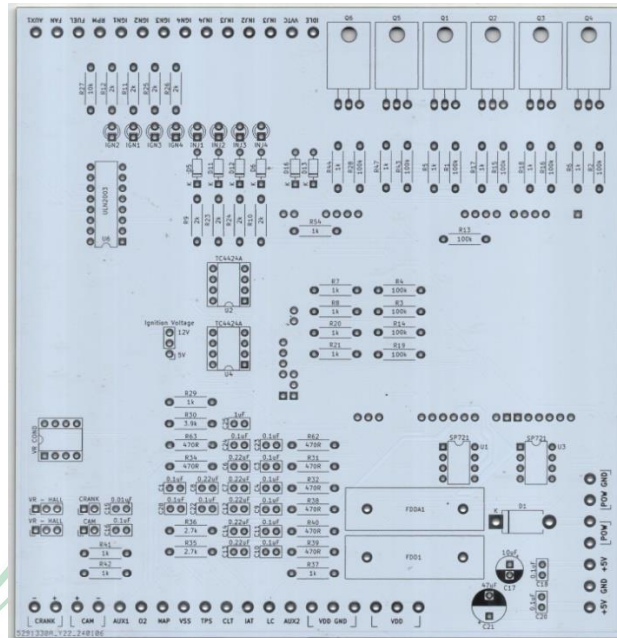
Rancangan Skematik Arduino ATmega 2560 ditunjukkan pada gambar 4.10, dimana sinyal *input* dari berbagai sensor akan masuk sesuai Pin yang telah ditentukan. Sinyal *output* juga akan dikirim setelah di proses oleh *Microcontroller Unit* (MCU) melalui pin yang telah ditentukan sebelumnya. Gambar skematik ditunjukkan sebagai berikut :



Gambar 4.10 Rancangan skematik Arduino ATmega 2560

4.1.2 Hasil Rancangan PCB

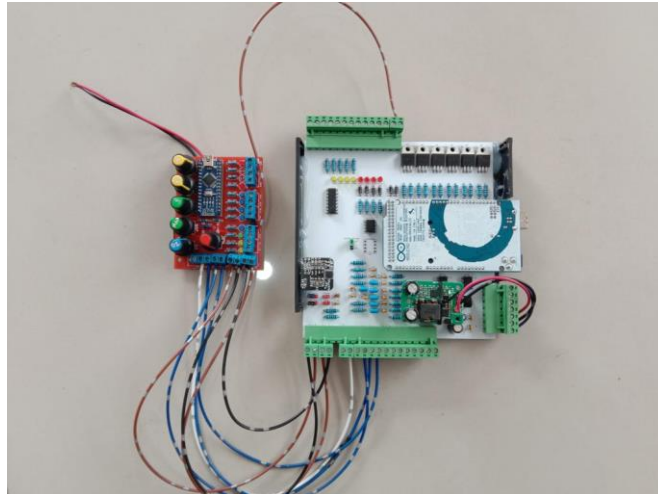
Hasil perancangan PCB yang telah dibuat sesuai studi literatur yang telah dipelajari sebelumnya akan ditunjukkan pada gambar 4.11 :



Gambar 4.11 Rancangan skematik Rancangan PCB

4.1.3 Hasil Pemasangan Komponen Pada PCB

Komponen yang telah dipasang pada ECU *Stand Alone* selanjutnya akan dilakukan pengujian menggunakan simulator kendaraan, dimana penghubungan antara ECU *Stand Alone* dan simulator kendaraan dihubungkan menggunakan kabel. Penyambungan kabel antara ECU *Stand Alone* disamakan dengan Simulator Kendaraan seperti, injektor tersambung injektor, pengapian tersambung pengapian. Begitu pula pada sambungan lainnya seperti pompa minyak, kipas pendingin, Crank, IAT, MAP, TPS, O2, dan CLT. Penyambungan harus dilakukan dengan tepat, jika sambungan ECU tidak tepat maka bagian input dan output tidak akan berfungsi. Hasil pemasangan komponen untuk papan PCB pada ECU *Stand Alone* berbasis Arduino ATmega 2560 akan ditunjukkan pada gambar 4.12 :



Gambar 4.12 Hasil pemasangan komponen pada PCB

4.1.4 Pengujian Alat

Pengujian dilakukan untuk mengamati frekuensi kerja injektor dan waktu pengapian terhadap perubahan putaran mesin. Hasil pengujian tersebut diuraikan pada tabel 4.2. Pengujian dilakukan pada putaran 500 rpm sampai 6000 rpm, dengan kenaikan 500 rpm. Nilai frekuensi tersebut diperoleh dari pembacaan osiloskop yang digunakan mengamati kerja injektor dan waktu pengapian. Disamping itu kerja sistem pengaturan kipas pendingin juga diamati dengan merubah pembacaan *Coolant Temperature* sensor melalui simulator. Hasil kerja pengaturan pompa bahan bakar juga diamati. Hasil pengujian kerja pengaturan kipas pendingin dan pompa bahan bakar ditunjukkan oleh tabel 4.3. Dan 4.4 :

1. Pengujian Waktu Pengapian dan Injektor

Tabel 4.2 Hasil pengujian Waktu pengapian dan Injektor terhadap perubahan putaran mesin

Putaran Mesin (rpm)	Frekuensi				
	IGN (Hz)	INJ 1 (Hz)	INJ 2 (Hz)	INJ 3 (Hz)	INJ 4 (Hz)
500	100	400	400	400	400
1000	200	800	800	800	800
1500	300	1200	1200	1200	1200
2000	400	1600	1600	1600	1600
2500	500	2000	2000	2000	2000
3000	600	2400	2400	2400	2400
3500	700	2800	2800	2800	2800
4000	800	3200	3200	3200	3200
4500	900	3600	3600	3600	3600
5000	1000	4000	4000	4000	4000
5500	1100	4400	4400	4400	4400
6000	1200	4800	4800	4800	4800

Hasil pengujian tabel diatas dapat disimpulkan bahwa dengan kecepatan putaran mesin 500 rpm mendapatkan nilai Frekuensi waktu pengapian (IGN) sebesar 100 Hz dan penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 sebesar 400 Hz, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian dari waktu pengapian dan waktu penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 terhadap putaran mesin 500 rpm, hasil pengujian akan ditunjukkan oleh gambar 4.13 dan 4.14 :

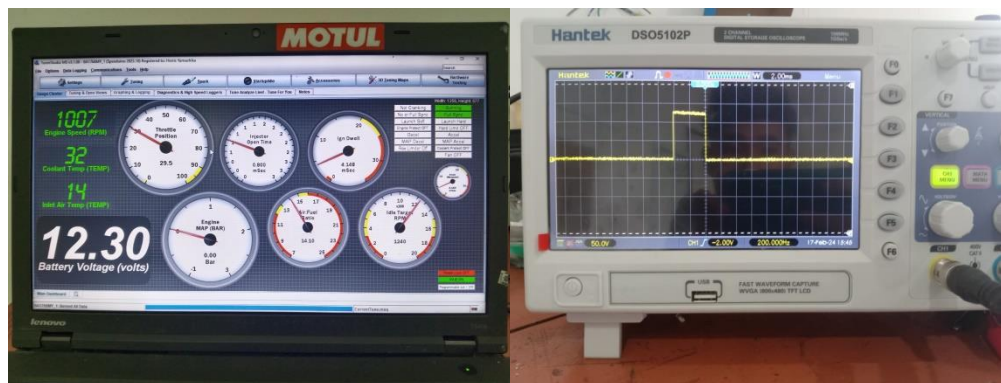


Gambar 4.13 Hasil pengujian waktu pengapian pada 500 rpm



Gambar 4.14 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 500 rpm

Hasil pengujian pada putaran mesin 1000 rpm mendapatkan hasil frekuensi waktu pengapian (IGN) sebesar 200 Hz dan penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 sebesar 800 Hz, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian dari waktu pengapian dan waktu penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 terhadap putaran mesin 1000 rpm, hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.15 dan 4.16 :

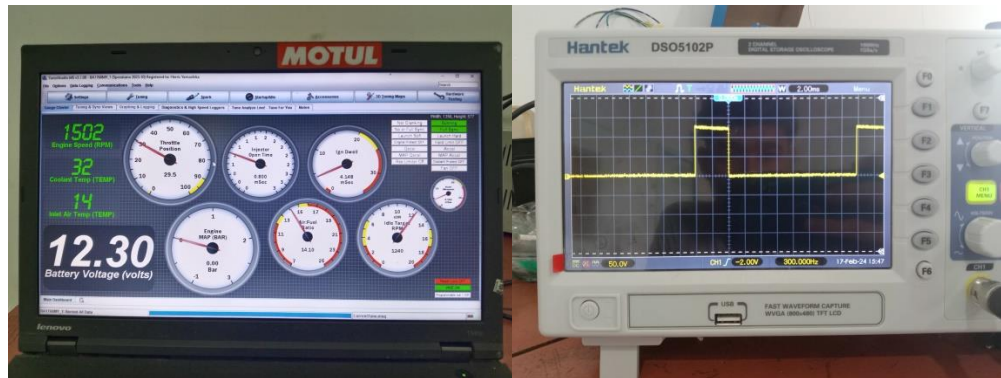


Gambar 4.15 Hasil pengujian waktu pengapian pada 1000 rpm

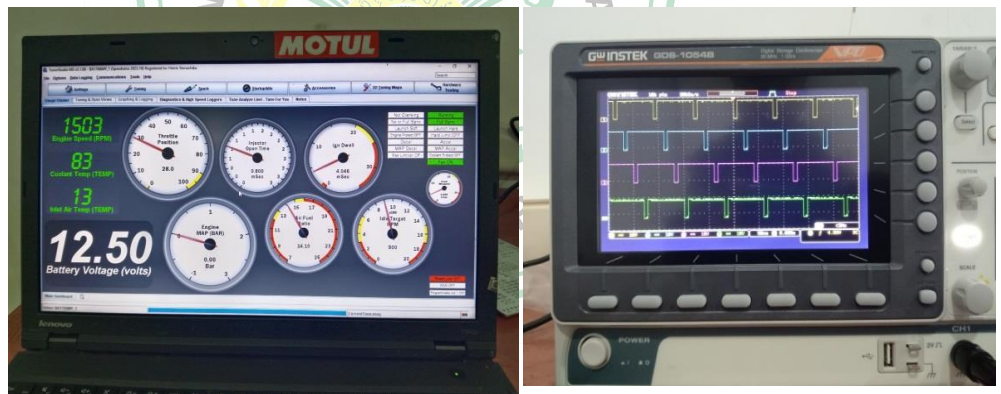


Gambar 4.16 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 1000 rpm

Hasil pengujian pada putaran mesin 1500 rpm mendapatkan hasil frekuensi waktu pengapian (IGN) sebesar 300 Hz dan penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 sebesar 1200 Hz, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian dari waktu pengapian dan waktu penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 terhadap putaran mesin 1500 rpm, hasil pengujian akan ditunjukkan pada gambar 4.17 dan 4.18 :

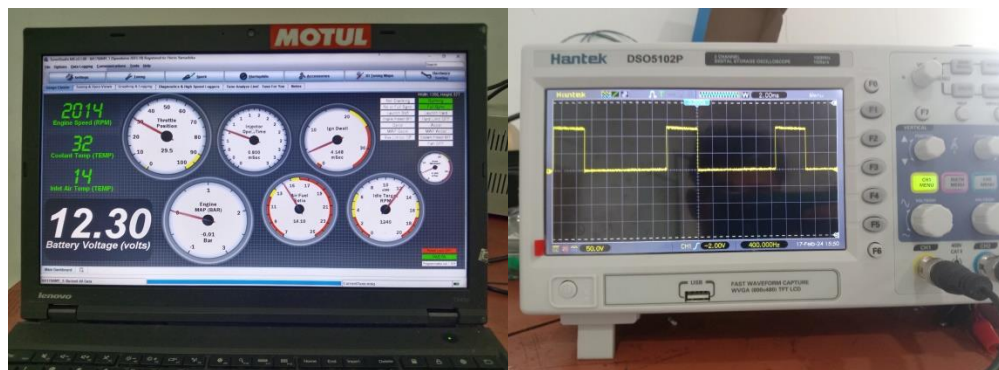


Gambar 4.17 Hasil pengujian waktu pengapian pada 1500 rpm



Gambar 4.18 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 1500 rpm

Hasil pengujian pada putaran mesin 2000 rpm mendapatkan hasil frekuensi waktu pengapian (IGN) sebesar 400 Hz dan penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 sebesar 1600 Hz, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian dari waktu pengapian dan waktu penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 terhadap putaran mesin 2000 rpm. Gambar hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.19 dan 4.20 :

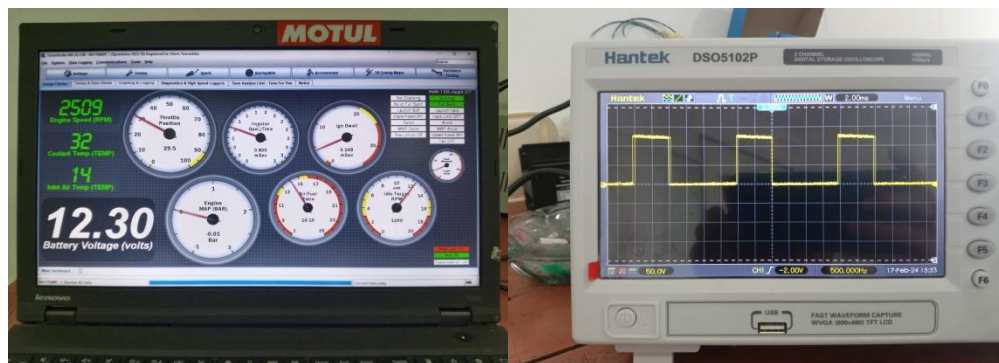


Gambar 4.19 Hasil pengujian waktu pengapian pada 2000 rpm



Gambar 4.20 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 2000 rpm

Hasil pengujian pada putaran mesin 2500 rpm mendapatkan hasil frekuensi waktu pengapian (IGN) sebesar 500 Hz dan penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 sebesar 2000 Hz, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian dari waktu pengapian dan waktu penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 terhadap putaran mesin 2500 rpm, berikut gambar hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.21 dan 4.22 :

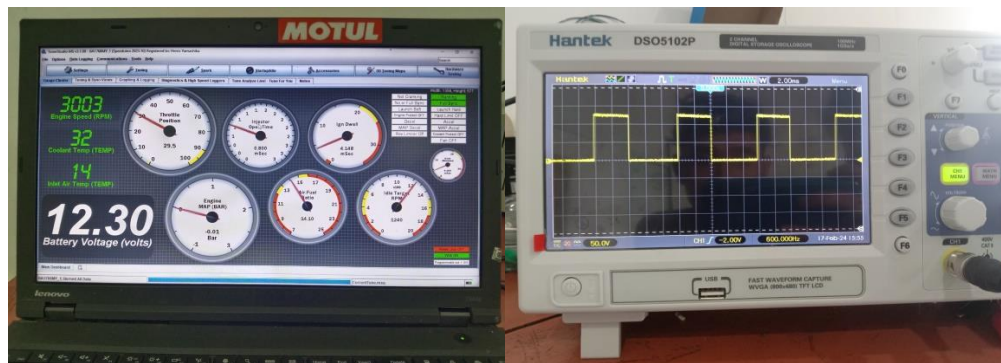


Gambar 4.21 Hasil pengujian waktu pengapian pada 2500 rpm



Gambar 4.22 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 2500 rpm

Hasil pengujian pada putaran mesin 3000 rpm mendapatkan hasil frekuensi waktu pengapian (IGN) sebesar 600 Hz dan penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 sebesar 2400 Hz, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian dari waktu pengapian dan waktu penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 terhadap putaran mesin 3000 rpm, berikut gambar hasil pengujian akan ditunjukkan pada gambar 4.23 dan 4.24 :

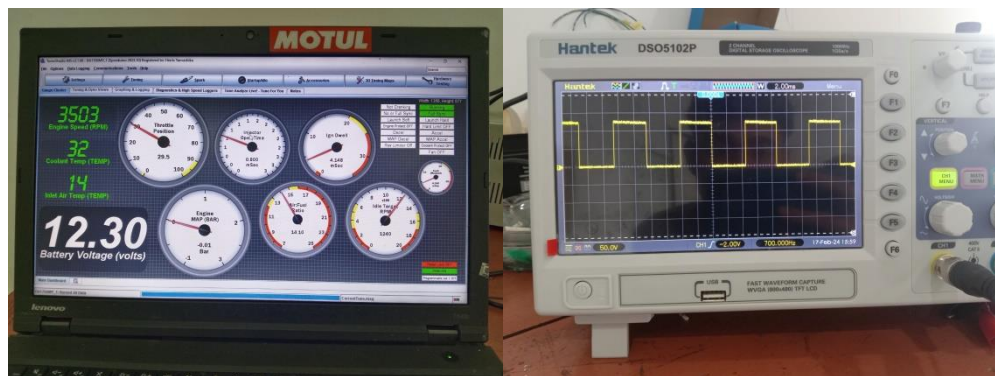


Gambar 4.23 Hasil pengujian waktu pengapian pada 3000 rpm

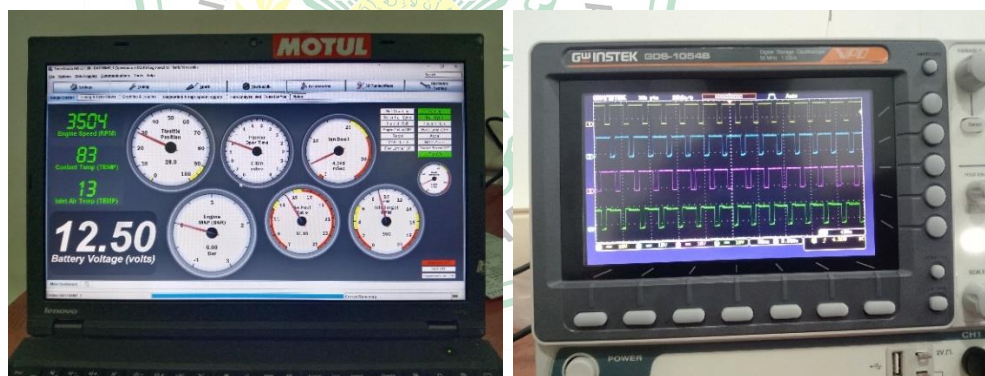


Gambar 4.24 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 3000 rpm

Hasil pengujian pada putaran mesin 3500 rpm mendapatkan hasil frekuensi waktu pengapian (IGN) sebesar 700 Hz dan penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 sebesar 2800 Hz, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian dari waktu pengapian dan waktu penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 terhadap putaran mesin 3500 rpm, berikut hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.25 dan 4.26 :

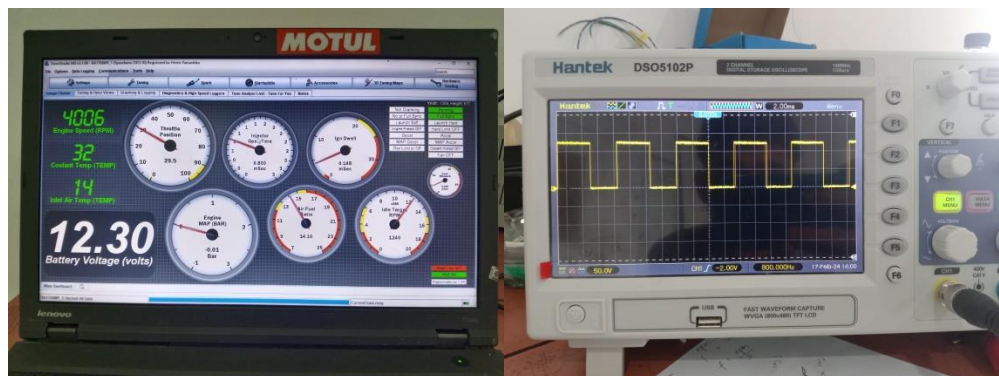


Gambar 4.25 Hasil pengujian waktu pengapian pada 3500 rpm



Gambar 4.26 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 3500 rpm

Hasil pengujian pada putaran mesin 4000 rpm mendapatkan hasil frekuensi waktu pengapian (IGN) sebesar 800 Hz dan penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 sebesar 3200 Hz, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian dari waktu pengapian dan waktu penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 terhadap putaran mesin 4000 rpm. Gambar hasil pengujian akan ditunjukkan pada gambar 4.27 dan 4.28 :

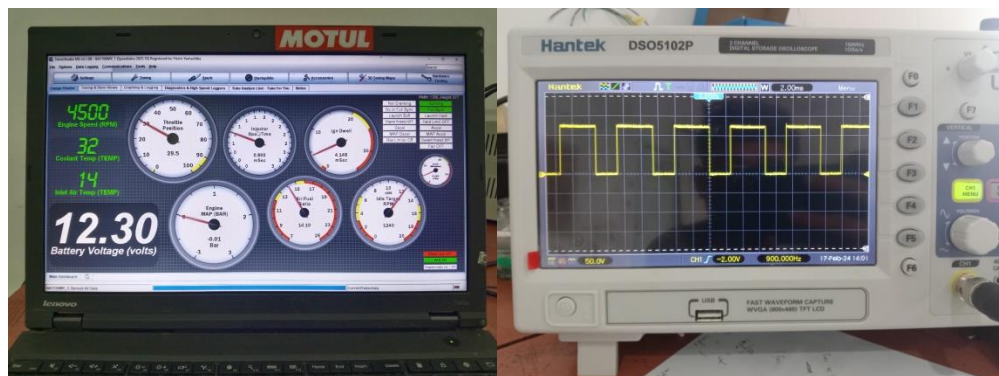


Gambar 4.27 Hasil pengujian waktu pengapian pada 4000 rpm



Gambar 4.28 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 4000 rpm

Hasil pengujian pada putaran mesin 4500 rpm mendapatkan hasil frekuensi waktu pengapian (IGN) sebesar 900 Hz dan penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 sebesar 3600 Hz, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian dari waktu pengapian dan waktu penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 terhadap putaran mesin 4500 rpm, berikut gambar hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.29 dan 4.30 :



Gambar 4.29 Hasil pengujian waktu pengapian pada 4500 rpm



Gambar 4.30 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 4500 rpm

Hasil pengujian pada putaran mesin 5000 rpm mendapatkan hasil frekuensi waktu pengapian (IGN) sebesar 1000 Hz dan penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 sebesar 4000 Hz, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian dari waktu pengapian dan waktu penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 terhadap putaran mesin 5000 rpm, berikut hasil pengujian akan ditunjukkan pada gambar 4.31 dan 4.32 :

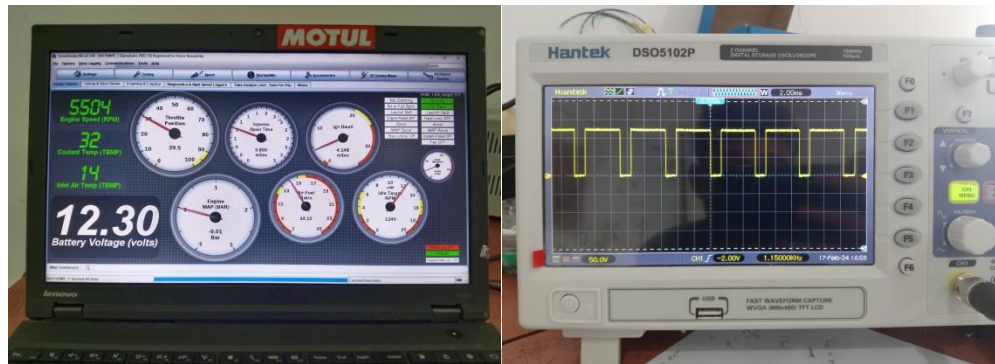


Gambar 4.31 Hasil pengujian waktu pengapian pada 5000 rpm

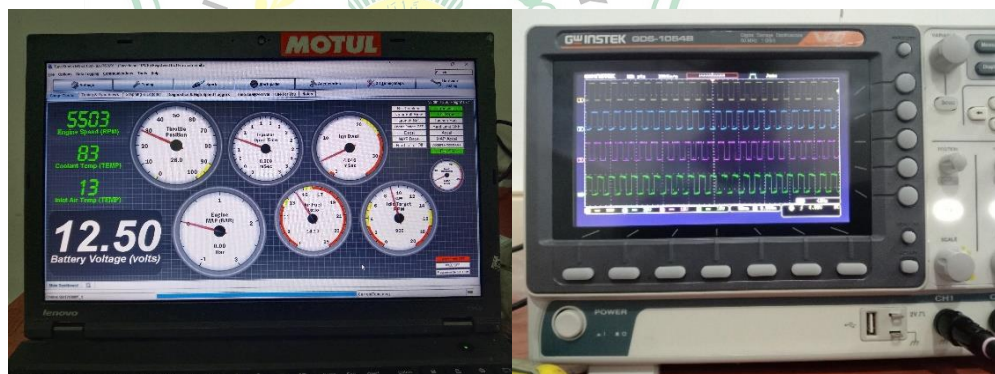


Gambar 4.32 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 5000 rpm

Hasil pengujian pada putaran mesin 5500 rpm mendapatkan hasil frekuensi waktu pengapian (IGN) sebesar 1100 Hz dan penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 sebesar 4400 Hz, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian dari waktu pengapian dan waktu penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 terhadap putaran mesin 5500 rpm. Gambar hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.33 dan 4.34 :

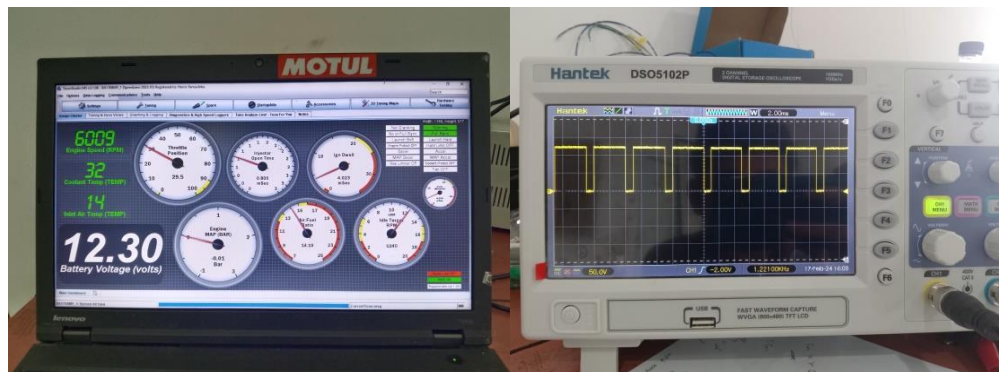


Gambar 4.33 Hasil pengujian waktu pengapian pada 5500 rpm

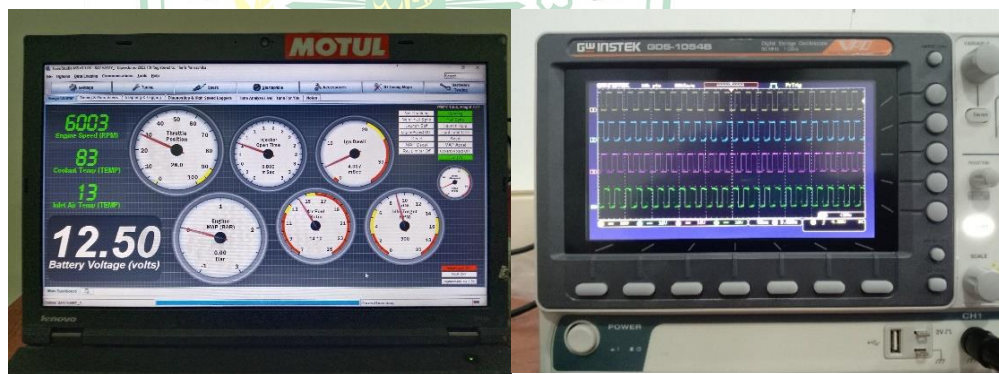


Gambar 4.34 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 5500 rpm

Hasil pengujian pada putaran mesin 6000 rpm mendapatkan hasil frekuensi waktu pengapian (IGN) sebesar 1200 Hz dan penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 sebesar 4800 Hz, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian dari waktu pengapian dan waktu penyemprotan injektor 1,2,3, dan 4 terhadap putaran mesin 6000 rpm, berikut gambar hasil pengujian akan ditunjukkan pada gambar 4.35 dan 4.36 :



Gambar 4.35 Hasil pengujian waktu pengapian pada 6000 rpm



Gambar 4.36 Hasil pengujian penyemprotan injektor 1, 2, 3 dan 4 pada 6000 rpm

2. Pengujian Kipas Pendingin

Pengaturan kerja kipas pendingin menunjukkan bahwa kipas tidak aktif pada suhu 20°-70°C dan akan aktif pada suhu diantara 70° dan 80° C, tepatnya kipas pendingin akan bekerja pada suhu mesin berada pada suhu 79°C. Pengaturan kerja kipas pendingin adalah 78° C, suhu ini merupakan kondisi optimal pada suhu mesin mobil.

Tabel 4.3 Hasil pengujian kipas pendingin

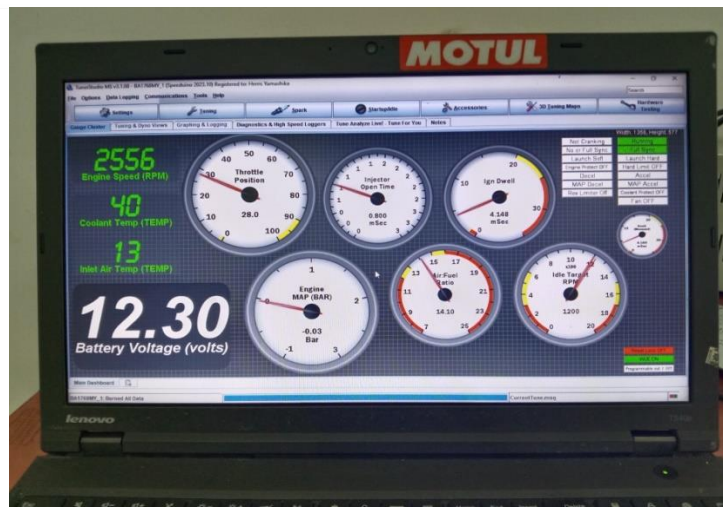
Suhu Pendingin	Cooling Fan	
	On	Off
20°		√
30°		√
40°		√
50°		√
60°		√
70°		√
80°	√	
90°	√	
100°	√	

Hasil pengujian kipas pendingin dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada suhu mesin 20°C sampai dengan 30°C status kipas pendingin belum aktif, berikut akan ditunjukkan documentasi hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 20°C-30°C. Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.37 :



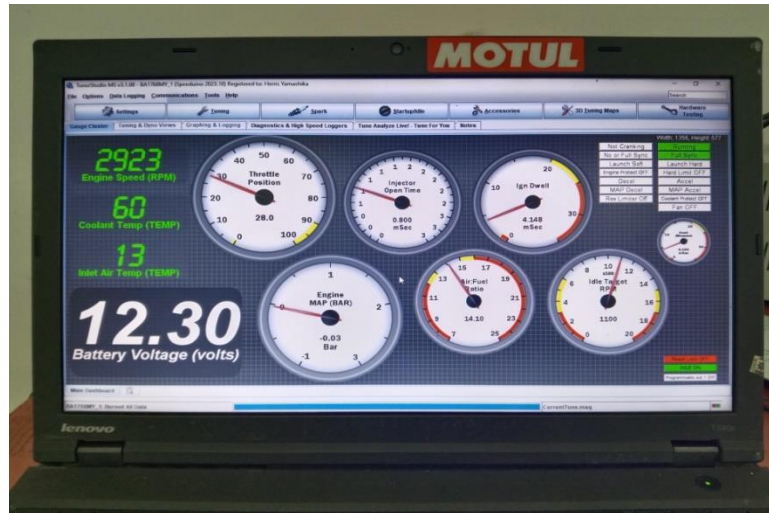
Gambar 4.37 Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 20°C-30°C

Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu mesin 40°C sampai dengan 50°C status kipas pendingin belum aktif, berikut akan ditunjukkan documentasi hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 40°C-50°C, hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.38 :



Gambar 4.38 Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 40°C-50°C

Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu mesin 60°C sampai dengan 70°C status kipas pendingin belum aktif, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 60°C-70°C, berikut gambar hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.39 :



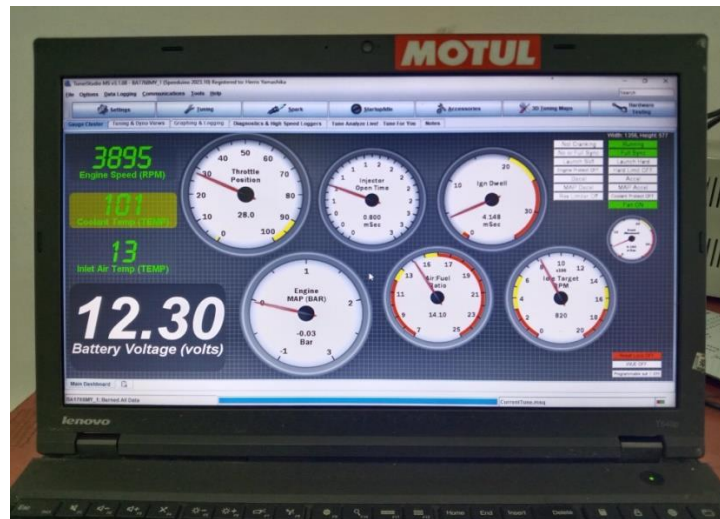
Gambar 4.39 Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 60°C-70°C

Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu mesin 80°C sampai dengan 90°C status kipas pendingin aktif, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 80°C-90°C, berikut gambar hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.40 :



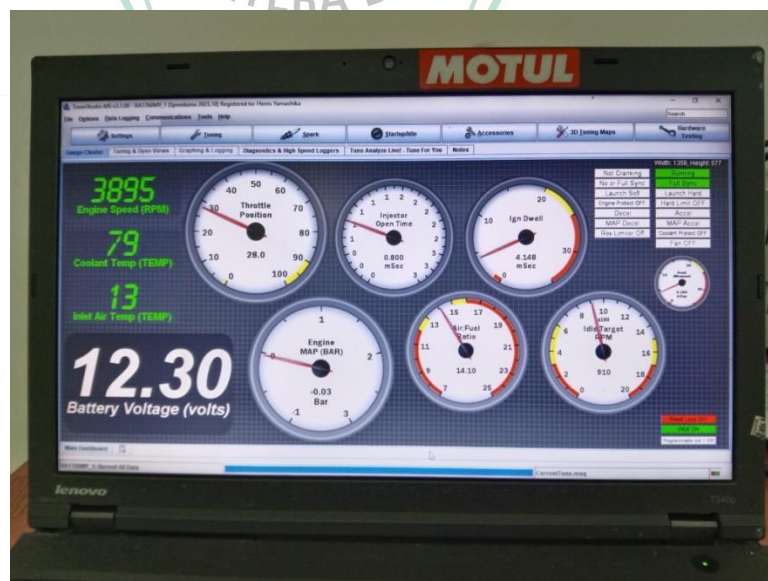
Gambar 4.40 Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 80°C-90°C

Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu mesin 100°C status kipas pendingin aktif, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 100°C, hasil pengujian akan ditunjukkan pada gambar 4.41 :



Gambar 4.41 Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 100°C

Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu mesin 79°C status kipas pendingin kembali tidak aktif, berikut akan ditunjukkan dokumentasi hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 79°C:



Gambar 4.42 Hasil pengujian kipas pendingin pada suhu 79°C

3. Pengujian Pompa Bahan Bakar dan RPM

Tabel 4.4 Hasil pengujian Pompa bahan bakar terhadap baterai dan RPM

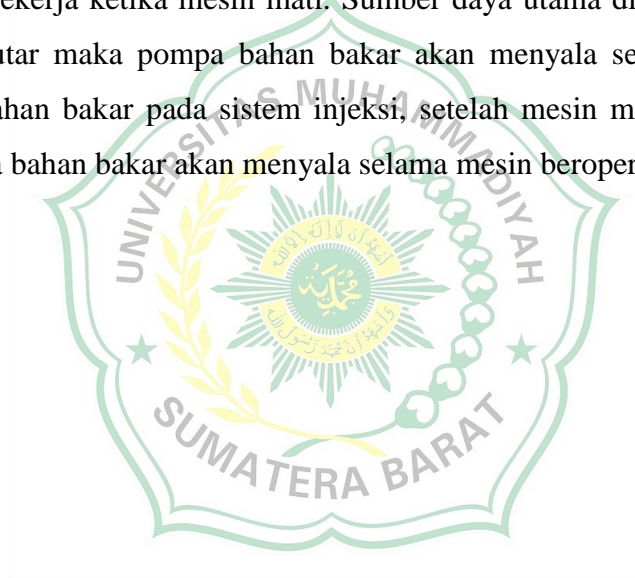
Baterai	RPM	Fuel Pump	
		On	Off
OFF	0		√
ON	0	2 second	
ON	500	√	
ON	1000	√	
ON	1500	√	
ON	2000	√	
ON	2500	√	
ON	3000	√	
ON	3500	√	
ON	4000	√	
ON	4500	√	
ON	5000	√	
ON	5500	√	
ON	6000	√	

Hasil pengujian dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pompa bahan bakar terhadap baterai dan rpm, ketika daya utama (baterai) dan mesin mati (rpm) maka pompa bahan bakar tidak aktif, selanjutnya ketika sumber utama (baterai) dihidupkan namun mesin belum menyala maka pompa bahan bakar akan aktif selama 2 detik untuk mengalirkan bahan bakar ke *fuel rail*. Selanjutnya ketika sumber utama dinyalakan (baterai) dan mesin dihidupkan (rpm) maka pompa bahan bakar akan terus aktif selama daya utama dan mesin menyala.

4.2 Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kerja ECU *Stand Alone* ini telah sesuai dengan kerja mesin bensin 4 langkah 4 silinder segaris pada sistem pengapian dengan distributor coil tunggal. Frekuensi kerja pengapian akan mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan putaran mesin. Hal yang sama juga terjadi pada kerja injektor. Sesuai dengan prinsip kerja mesin yang diuraikan diatas, hasil pengujian menunjukkan bahwa frekuensi kerja pengapian adalah 4 kali frekuensi kerja injektor untuk setiap silinder.

Pengaturan kerja kipas pendingin menunjukkan bahwa kipas akan aktif pada suhu diantara 70° dan 80° C , dimana pengaturan kerja kipas pendingin adalah 78° C. Pengaturan kerja pompa bahan bakar, menunjukkan bahwa pompa tidak akan bekerja ketika mesin mati. Sumber daya utama dinyalakan dan mesin belum berputar maka pompa bahan bakar akan menyala selama 2 detik untuk memasok bahan bakar pada sistem injeksi, setelah mesin menyala dan berputar maka pompa bahan bakar akan menyala selama mesin beroperasi.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perancangan dan pembuatan ECU (*Electronic Control Unit*) *Stand Alone* untuk mobil bensin 4 silinder dengan sistem pengapian coil tunggal menggunakan distributor telah menunjukkan hasil yang telah diharapkan, dimana penyemprotan injektor dan waktu pengapian berbanding lurus dengan perubahan putaran mesin. Sesuai prinsip kerja mesin bahan bakar dalam 4 langkah dengan sistem pengapian yang telah disebutkan sebelumnya, frekuensi waktu pengapian adalah 4 kali penyemprotan bahan bakar oleh injektor.
2. *Output* bantu yang diperintahkan oleh ECU *Standalone* yang telah dibuat adalah pengaturan kerja kipas pendingin (*Cooling Fan*), dimana pengaturan waktu kerja kipas pendingin tersebut adalah 78°C.

5.2 Saran

1. Ecu *Stand Alone* yang telah dibuat menggunakan mikrokontroler ATmega 2560 dengan kecepatan 8-bit. Diharapkan kedepannya ECU (*Electronic Control Unit*) *Stand Alone* ini dapat dikembangkan kembali menggunakan mikrokontroler dengan kecepatan lebih tinggi seperti 16-bit ataupun 30-bit.
2. Pengujian ECU *Stand Alone* ini dilakukan menggunakan simulator mesin bahan bakar dalam berbahan bakar bensin. Kedepannya ECU *Stand Alone* ini diharapkan dapat diterapkan langsung pada mesin yang sebenarnya, sehingga kinerja ECU *Stand Alone* tersebut bisa terukur secara empiris. Perubahan kinerja mesin sebelum dan sesudah menggunakan ECU *Stand Alone* bisa dibandingkan.
3. ECU *Stand Alone* ini dapat dikembangkan untuk mengatur kerja mesin yang menggunakan sistem pengapian tanpa distributor dan

masing-masing silinder dilengkapi dengan 1 coil (*Coil Onlog*), selain itu pengaturan *Throttle Body* yang menggunakan sistem *Drive by Wire* juga bisa diakomodir oleh ECU *Stand Alone* ini.



DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Timothy, V. Johnson, (2012). Vehicular Emissions in Review. SAE Int. J. Engines, 5(2), 216–234.
- [2]. Robert Bosch GmbH (2003). Electronic Diesel Control EDC: Bosch Technical Instruction. Cambridge, USA: Bentley Publishers.
- [3]. Brooks, T., Lumsden, G. & Blaxill, H. (2005). Improving Base Engine Calibrations for Diesel Vehicles through the Use of DoE and Optimization Techniques. SAE Technical Paper 2005-01-3833.
- [4]. Burk, Reinhard, Jacquelin, Frederic & Wakeman, Russell. (2003). A Contribution to.
[5]. Predictive Engine Calibration Based on Vehicle Drive Cycle Performance. SAE Technical Paper 2003-01-0225.
- [6]. Desantes, Jos'e M., L'opez, Jos'e J., Garc'ia, Jos'e M. & Hern'andez, Leonor. (2002). Application of Neural Networks for Prediction and Optimization of Exhaust Emissions in a H.D. Diesel Engine. SAE Technical Paper 2002-01-1144.
- [7]. Dimopoulos, P., Schni, A., Eggimann, A., Sparti, C., Vaccarino, E. & Operti, C.. (1999). Statistical Methods for Solving the Fuel Consumption/Emission Conflict on D-IDiesel Engines. SAE Technical Paper 1999-01-1077.
- [8]. Knafl, Alexander, Hagen, Jonathan R., Filipi Zoran S. & Assanis, Dennis N. (2005). Dual-Use Engine Calibration: Leveraging Modern Technologies to Improve Performanc – Emissions Tradeoff. SAE Technical Paper 2005-01-1549.
- [9]. Montgomery D. T. and Reitz R. D. (2000). Optimization of Heavy-Duty Diesel Engine Operationg Parameters Using A Response Surface Method. SAE Technical Paper 2000-01-1962.
- [10]. Nozaki, Yusuke, Fukuma, Takao & Tanaka, Kazuo. (2005). Development of a Rulebased Calibration Method for Diesel Engines. SAE Technical Paper 2005-010044.

- [11]. Qiang, Han, Fuyuan, Yang, Ming, Zhou & Minggao, Ouyang. (2004). Study on Modeling Method for Common Rail Diesel Engine Calibration and Optimization. SAE Technical Paper 2004-01-0426.
- [12]. Hagen, D., "Electronic engine controls at Ford Motor Company," SAE Technical Paper 780842, 1978, doi:10.4271/780842.
- [13]. Breitzman, Richard C., "Development of a Custom Microprocessor for Automotive Control", IEEE Control Systems Magazine, May 1985.
- [14]. Gerhardt, J., Hönninger, H., and Bischof, H., "A New Approach to Functional and Software Structure for Engine Management Systems - BOSCH ME7," SAE Technical Paper 980801, 1998, doi:10.4271/980801.
- [15]. Qian Weikang , "Practical solution for automotive electronic throttle control based on FPGA", Signal Processing, ICSP. 9th International Conference Oct. 2008.
- [16]. Ishmael Zibani, Joseph Chuma and Rapelang Marumo, "Designing a model of a full control module for a camless engine employing rotary valves", AFRICON, 2013 Date 9-12 Sept. 2013, DOI 10.1109/AFRCON.2013.6757724, IEEE Computer Society.
- [17]. Schaltz, E. (2011). Electrical Vehicle Design and Modeling. In S. Soyulu (Ed.), Electric Vehicles - Modelling and Simulations. (1 ed., pp. 1-24). Chapter 1. Croatia: INTECH.
- [18]. Jakob Axelsson, "HW/SW Codesign for Automotive Applications: Challenges on the Architecture Level", Proceedings of the Fourth International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC'01) 0-7695-1089-2/01 IEEE 2001.
- [19]. Tahat, A., Said, A., Jaouni, F., & Qadamani, W. (2012, June). Android-based universal vehicle diagnostic and tracking system. In Consumer Electronics (ISCE), 2012 IEEE 16th International Symposium on (pp. 137-143). IEEE.
- [20]. Giordani Andreoli, Alexandre, Fabricio Da Silva Stein, and Carlos E. Pereira. "Development of an electronic management system for a rotary combustion engine." In Industrial Informatics (INDIN), 2014 12th IEEE International Conference on, pp. 140-146. IEEE, 2014.

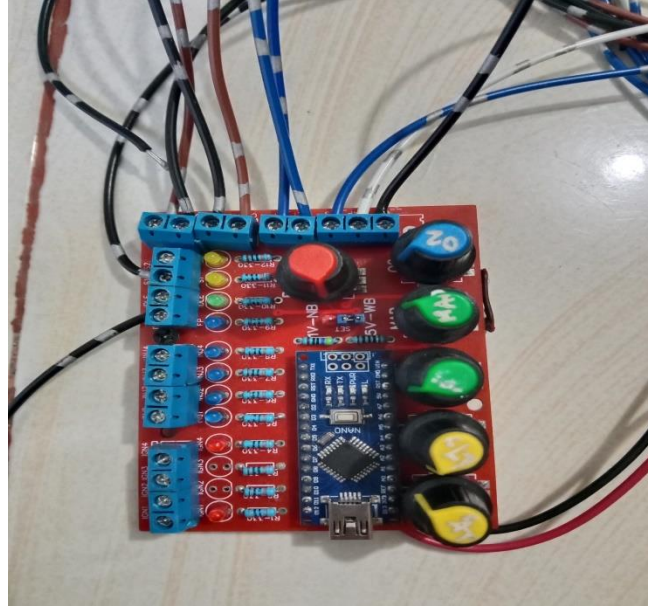
- [21]. V. G. Dygalo, A. A. Bredihin, Y. V. Levin, and E. A. Salykin, "Development of tools for changing the parameters of the engine ECU in real time," Progress of vehicles and transportation systems, pp. 219– 220, 2018.
- [22]. V. G. Dygalo, L. V. Dygalo, A. I. Bludilin, and V. V. Bludilina, "Ways to increase the power of the engine VAZ-21126, their impact on the resource and maintainability," The results of modern scientific research and development, pp. 28–36, 2018.
- [23]. Konrad Reif, Gasoline Engine Management: Systems and Components. Springer Vieweg, 2015.
- [24]. R. Isermann, Engine Modeling and Control: Modeling and Electronic Management of Internal Combustion Engines. Springer Vieweg, 2014.
- [25]. J. Gao, Y. Wu, and T. Shen, "Real-time Optimization and Control of Combustion Phase of SI Engines Using Statistical Analysis," 35th Chinese Control Conf., 2016.
- [26]. B. Jeeva, S. Awate, J. Rajesh, and A. Chowdhury, "Development of Custom-made Engine Control Unit for a Research Engine," 2nd Int. Conf. on Emerging Technology Trends in Electronics, Communication and Networking, 2014.
- [27]. E. A. Salykin, O. D. Kosov, and V. I. Lipilin, Electronic management systems of gasoline engines. Volgograd: VSTU, 2015.
- [28]. SMS-Software. [Online]. Available: <http://www.almisoft.ru>.

LAMPIRAN

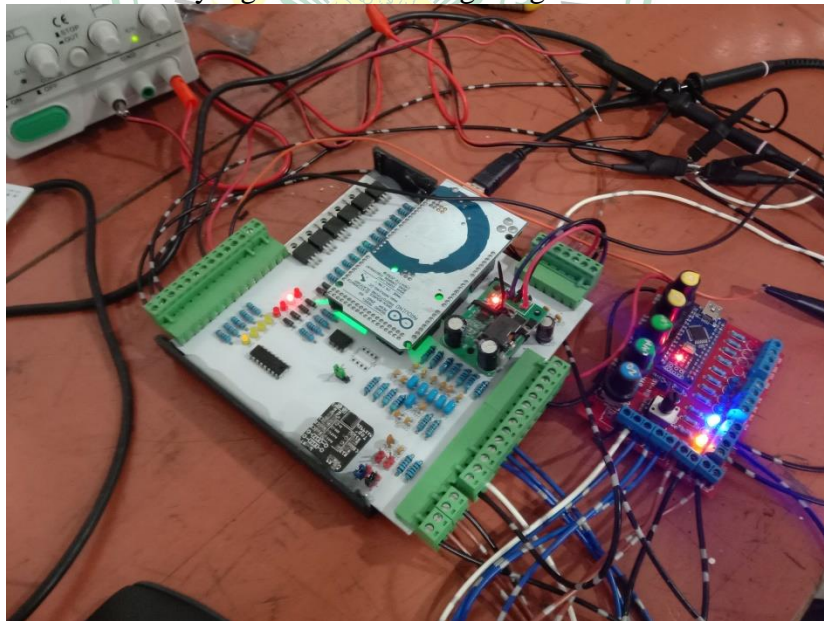


LAMPIRAN

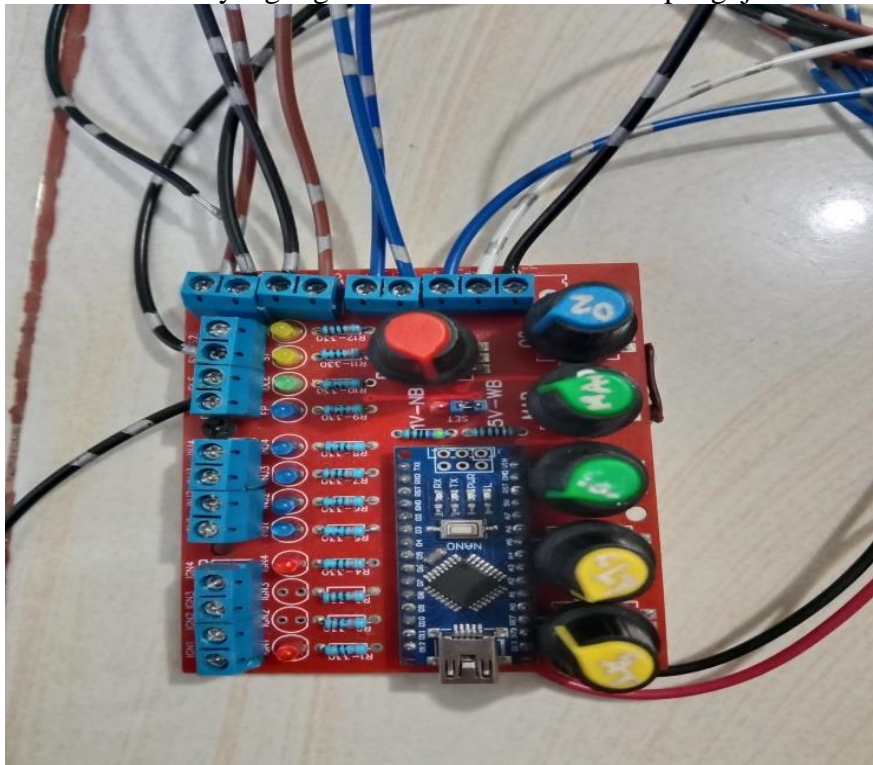
Lampiran 1 Simulator yang dipakai dalam pengujian alat



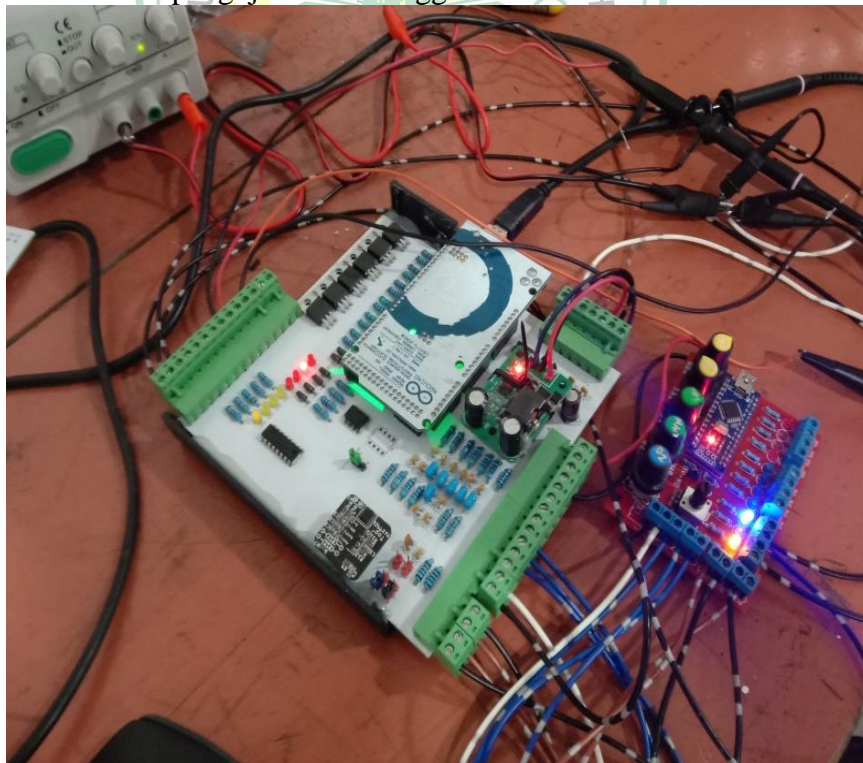
Lampiran 2 Simulator yang telah disambung dengan ECU



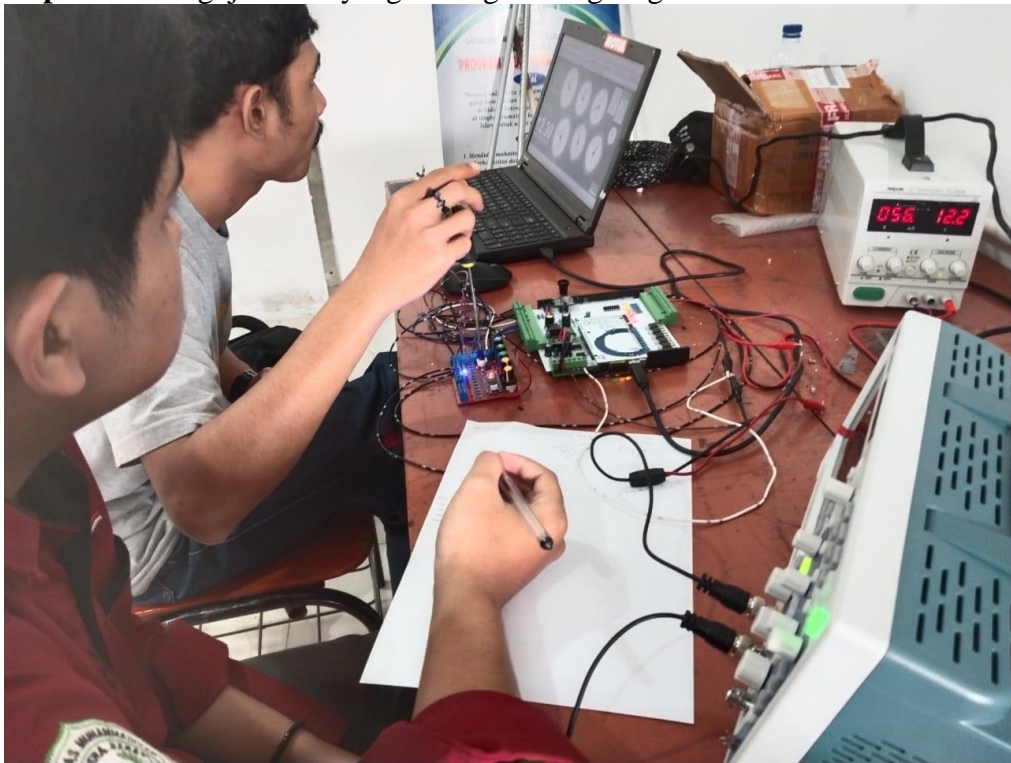
Lampiran 5 Simulator yang digunakan dalam melakukan pengujian alat ini



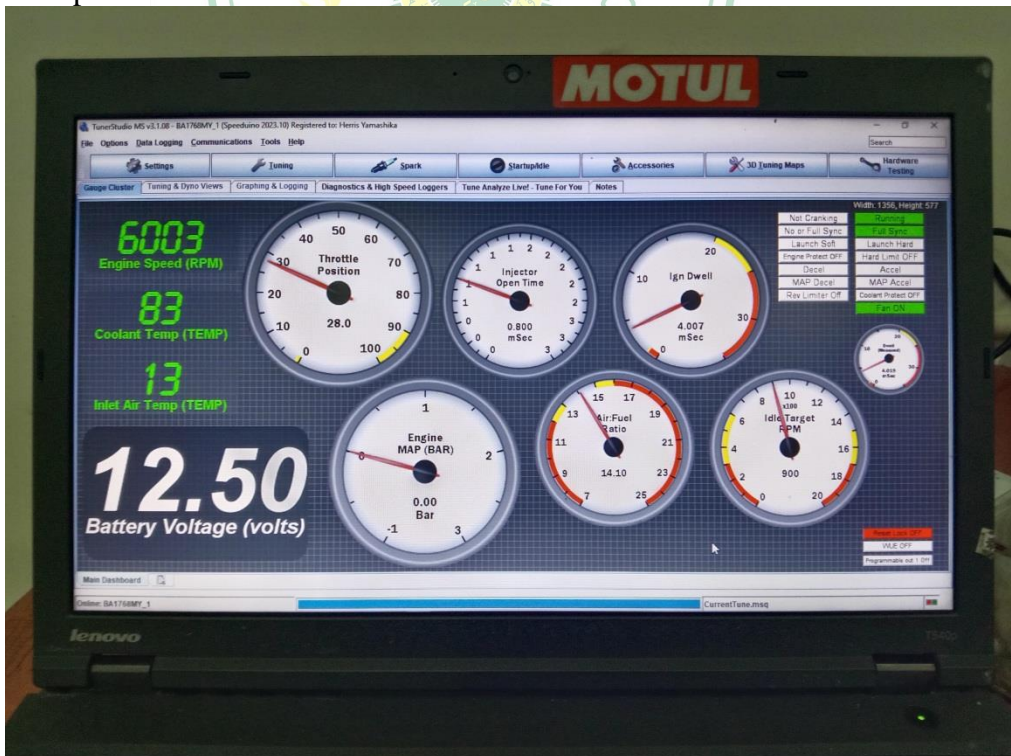
Lampiran 6 Proses pengujian alat menggunakan simulator



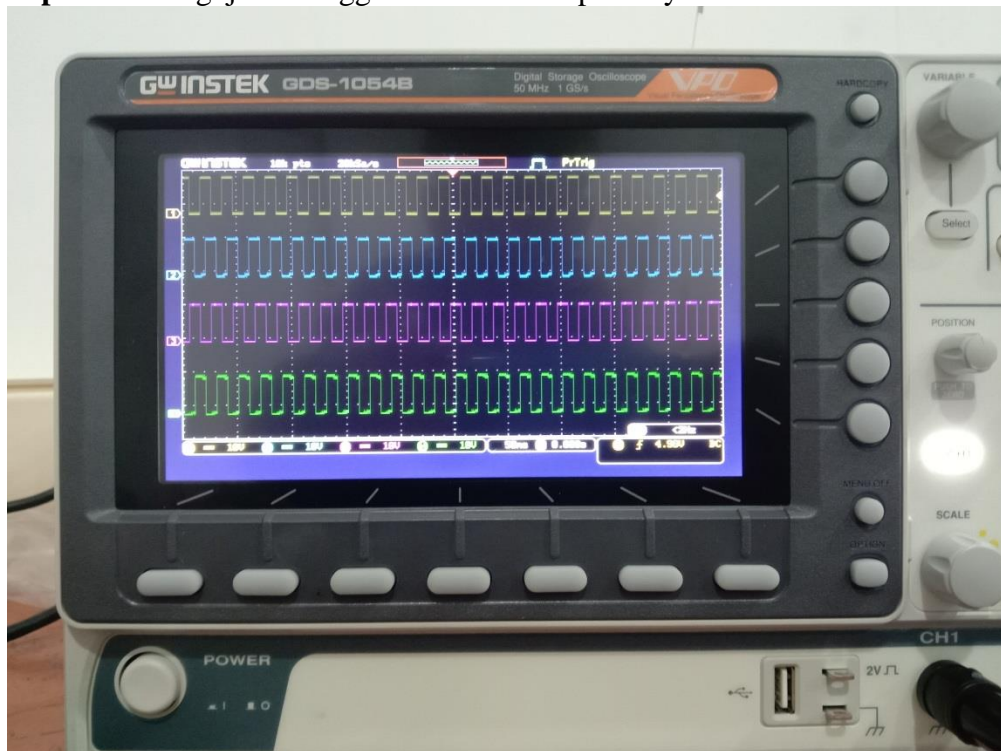
Lampiran 7 Pengujian alat yang sedang berlangsung



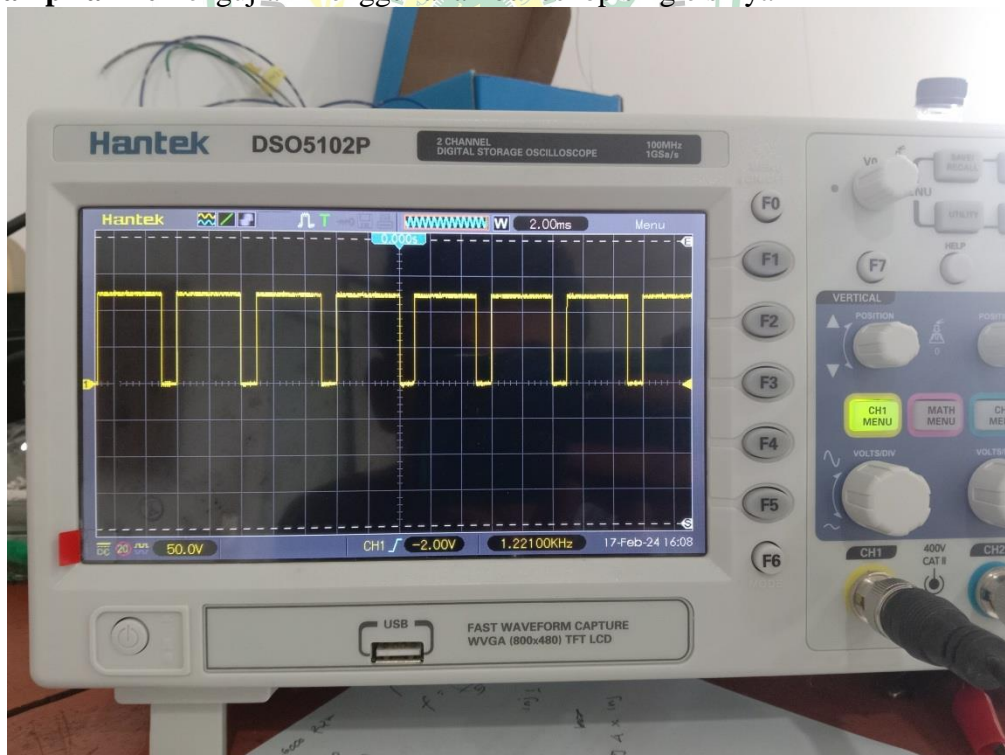
Lampiran 8 Hasil dari pengujian yang dilakukan berupa penyemprotan injektor terhadap 6000 RPM



Lampiran 9 Pengujian menggunakan osiloskop 4 sinyal



Lampiran 10 Pengujian menggunakan osiloskop single sinyal



Lampiran 11 Documentasi keseluruhan dari pengujian alat ini



Lampiran 12 Pengujian ECU Srandaslone



Lampiran 13 Hasil pemasangan komponen pada papan PCB

