

TUGAS SARJANA

KONVERSI ENERGI

**PENGARUH MODIFIKASI SISTEM PENGINJEKSIAN
BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR
DIESEL SILINDER TUNGGAL DENGAN BAHAN
BAKAR GANDA (SOLAR+LPG)**

*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun oleh :

NAMA : ALPIN LAZUARDI

NPM : 1307230131



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

LEMBAR PENGESAHAN – I

TUGAS SARJANA

KONVERSI ENERGI

**PENGARUH MODIFIKASI SISTEM PENGINJEKSIAN
BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR
DIESEL SILINDER TUNGGAL DENGAN BAHAN BAKAR
GANDA (SOLAR+LPG)**

Disusun Oleh :

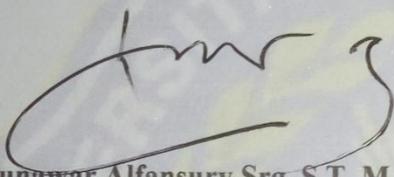
ALPIN LAZUARDI

1307230131

Diperiksa dan Disetujui Oleh :

Pembimbing – I

Pembimbing – II



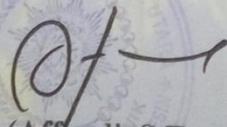
(Munawar Alfansury Srg. S.T., M.T)



(H. Muharnif M. S.T., M.Sc)

Diketahui oleh :

Ka. Program Studi Teknik Mesin



(Affandi. S.T., M.T)

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

LEMBAR PENGESAHAN – II

**TUGAS SARJANA
KONVERSI ENERGI**

**PENGARUH MODIFIKASI SISTEM PENGINJEKSIAN
BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR
DIESEL SILINDER TUNGGAL DENGAN BAHAN BAKAR
GANDA (SOLAR+LPG)**

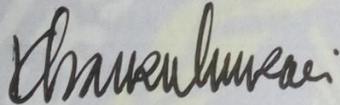
Disusun Oleh :

ALPIN LAZUARDI
1307230131

Telah diperiksa dan diperbaiki
Pada seminar tanggal 29 September 2018

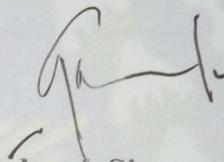
Disetujui Oleh :

Pembanding – I



(Khairul Umurani. S.T., M.T)

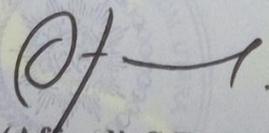
Pembanding – II



(Chandra A Siregar. S.T., M.T)

Diketahui oleh :

Ka. Program Studi Teknik Mesin



(Afandi. S.T., M.T)

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Pusat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Telp. (061) 6611233 – 6624567 –
6622400 – 6610450 – 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238
Website : <http://www.umau.ac.id>

lomenjawab surat ini agar disebutkan
mordantanggainya

DAFTAR SPESIFIKASI
TUGAS SARJANA

Nama : ALPIN LAZUARDI
NPM : 1307230131
Semester : X (Sepuluh)
SPESIFIKASI :

“PENGARUH MODIFIKASI SISTEM PENGINJEKSIAN BAHAN BAKAR
TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR DIESEL SILINDER TUNGGAL DENGAN
BAHAN BAKAR GANDA (SOLAR-LPG)”

Diberikan Tanggal : 07 Agustus 2017
Selesai Tanggal : 26 September 2018
Asistensi : ± Seminggu, 1 kali
Tempat Asistensi : Di Kampus dan di rumah Bapak Munawar A. Siregar, S.T., M.T

Diketahui oleh :
Ka.Program Studi Teknik Mesin

Medan, 27 September 2018

Dosen Pembimbing – I



(Affandi, S.T., M.T)

(Munawar Alfansury Srg, S.T., M.T)



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Pusat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Telp. (061) 6611233 – 6624567 –
6622400 – 6610450 – 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238
Website : <http://www.umsu.ac.id>

menjawab surat ini agar disebutkan
nomor dan tanggalnya

DAFTAR HADIR ASISTENSI
TUGAS SARJANA

NAMA: Alpin Lazuardi PEMBIMBING – I : Munawar Alfansury Srg, S.T.,M.T
NPM : 1307230131 PEMBIMBING – II : H. Muharnif M. S.T., M.Sc

NO	Hari / Tanggal	Uraian	Paraf
1	Rabtu 27/1-18	Latar belakang agar dicermati dan judul.	<i>[Signature]</i>
2	Seni 8/2-18	Perbaikan tugas, banner masalah dan metode	<i>[Signature]</i>
3	Kamis 11/2-18	Diagram alir penelitian	<i>[Signature]</i>
4	Kamis 15/2-18	Lanjutan	<i>[Signature]</i>
5	Seni 19/2-18	Lanjutan kepmb. II	<i>[Signature]</i>
6	Senin 26/3-18	Lengkapi Tabel Massa Jenis Fluida, Tabel Properti bahan bakar.	<i>[Signature]</i>
7	Rabu 18/7-18	Lanjut Analisis data dan perbaikan Perhitungan Daya mesin.	<i>[Signature]</i>
8	Jumat 24/8-18	Buat grafik, lanjut kesimpulan dan saran.	<i>[Signature]</i>
9	Kamis 20/9-18	Perbaiki Abstrak.	<i>[Signature]</i>
10	Selasa 25/9-18	Lanjut Pembimbing I	<i>[Signature]</i>
11	26/9 - 2018	Acc disahkan	<i>[Signature]</i>

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2018 – 2019**

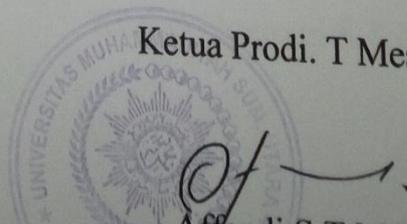
Peserta Seminar : Alpin Lazuardi
 Nama : 1307230131
 NPM : Pengaruh Modifikasi Sistem Penginjeksian Bahan Bakar
 Judul Tugas Akhir : Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel Silinder Tunggal
 Dengan Bahan Bakar Ganda (Solar + LPG).

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: Munawar A Siregar.S.T.M.T	:	
Pembimbing – II	: H.Muharnif.S.T.M.Sc	:	
Pemanding – I	: Khairul Umurani.S.T.M.T	:	
Pemanding – II	: Chandra A Siregar.S.T.M.T	:	

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1407230166	Rio sudi Pratama	
2	1307230277	HENDRA GUNAWAN	
3	1307230320	BILLI AFDIKHA	
4	1307230264	BAYU MANDALA PUTRA	
5	1307230210	Dwi SURYONO	
6	1407230204	Ngung Tribonca	
7	1407230242	SIFGANDI FADILLAH	
8	1407230212	Ceilany Trianli	
9	1307230233	Mauli A. Situmcang	
10			

Medan, 19 Muharram 1440 H
29 September 2018 M

Ketua Prodi. T Mesin



DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Alpin Lazuardi
NPM : 1307230131
Judul T.Akhir : Pengaruh Modifikasi Sistem Penginjeksian Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel Silinder Tunggal Dengan bahan bakar Ganda (Solar + LPG).

Dosen Pembimbing - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pemanding - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pemanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

Batasan masalah, rumusan masalah, tujuan, metode penelitian, hasil pembahasan, kesimpulan

3. Harus mengikuti seminar kembali

Perbaikan :

Medan 19 Muharram 1440H
29 September 2018 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin

Affandi
Affandi.S.T.M.T

Dosen Pemanding- I
Khairil Umurani
Khairil Umurani.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Alpin Lazuardi
NPM : 1307230131
Judul T.Akhir : Pengaruh Modifikasi Sistem Penginjeksian Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel Silinder Tunggal Dengan bahan bakar Ganda (Solar + LPG).

Dosen Pembimbing – I : Munawar A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pemanding - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pemanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

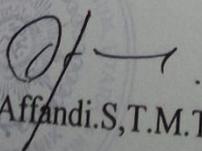
..... *Cibet buku Sump*

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

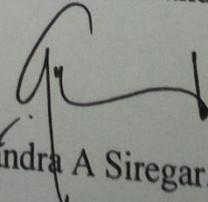
.....
.....
.....
.....

Medan 19 Muharram 1440H
29 September 2018 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin


Affandi.S.T.M.T

Dosen Pemanding- II


Chandra A Siregar.S.T.M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS SARJANA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : ALPIN LAZUARDI
Tempat/Tgl Lahir : Tangerang 13-September-1995
Npm : 1307230131
Bidang Keahlian : Konversi Energi
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
(UMSU)

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Sarjana saya ini yang berjudul :

“PENGARUH MODIFIKASI SISTEM PENGINJEKSIAN BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR DIESEL SILINDER TUNGGAL DENGAN BAHAN BAKAR GANDA (SOLAR-LPG)”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan yang lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Sarjana saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 22 Februari 2018

Saya yang menyatakan,



Alpin Lazuardi

ABSTRAK

Motor diesel merupakan motor pembakaran dalam yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan nyala api dan membakar bahan bakar yang telah diinjeksikan ke ruang bakar. Motor diesel memiliki sistem penyaluran bahan bakar yang berfungsi untuk menyalurkan dan menginjeksikan bahan bakar ke nozzle. Faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar adalah panjang langkah plunger. Dari hal tersebut peneliti ingin mengetahui pengaruh modifikasi sistem injeksi dengan melakukan penambahan jarak antara poros nok dan plunger dengan penambahan paking pada pompa injeksi. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen. Penelitian ini menggunakan variasi bahan bakar yakni Solar Murni, Solar Murni +LPG, Modifikasi Sistem Injeksi + LPG. Dari variasi tersebut maka dapat dilihat perbandingannya pada parameter unjuk kerja motor dieselyaitu torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar spesifik. Untuk mengukur torsi digunakan brake dynamometer beserta loadcell sensor, untuk mengukur putaran mesin digunakan RPM sensor, sedangkan untuk mengukur laju aliran massa bahan bakar dan laju aliran massa udara digunakan manometer U air. Dari hasil analisa yang didapat pada variasi bahan bakar Solar Murni +LPG dan modifikasi sistem injeksi + LPG dilihat bahwa percobaan dengan pembebanan 3 kg pada bahan bakar Solar Murni menunjukkan hasil besaran torsi pada putaran tertinggi sebesar 15,59 N.m, daya pada putaran tertinggi sebesar 3,8 kW dan SFC pada putaran tertinggi sebesar 0,1907kg/kW.h. Pada percobaan bahan bakar Solar Murni + LPG menunjukkan hasil besaran torsi pada putaran tertinggi sebesar 16,47 N.m, daya pada putaran tertinggi sebesar 4,6 kW dan SFC pada putaran tertinggi sebesar 0,8784 kg/kW.h. Pada percobaan Modifikasi Sistem Injeksi + LPG menunjukkan hasil besaran torsi pada putaran tertinggi sebesar 16,23 N.m, daya pada putaran tertinggi sebesar 4 kW dan SFC pada putaran tertinggi sebesar 1,233 kg/kW.h.

Kata Kunci : Modifikasi Sistem Penginjeksian, Unjuk Kerja Motor Diesel Silinder Tunggal, Bahan Bakar Ganda.

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Sarjana ini dengan baik. Tugas Sarjana ini merupakan tugas akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dalam menyelesaikan studinya, untuk memenuhi syarat tersebut penulis dengan bimbingan dari para Dosen Pembimbing merencanakan sebuah judul **“Pengaruh Modifikasi Sistem Penginjeksian Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel Silinder Tunggal Dengan Bahan Bakar Ganda (SOLAR-LPG) ”**.

Shalawat serta salam penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat muslim dari alam kegelapan menuju alam yang terang menderang. Semoga kita mendapat syafa'atnya di yaumul akhir kelak amin yarabbal alamin.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih banyak kekurangan baik dalam kemampuan pengetahuan dan penggunaan bahasa. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca.

Dalam penulisan Tugas Sarjana ini, penulis banyak mendapat bimbingan, masukan, pengarahan dari Dosen Pembimbing serta bantuan moril maupun material dari berbagai pihak sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana ini.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Alm. Usman M Ishak dan Ibunda Ainun Mardiah yang telah banyak memberikan kasih sayang, nasehatnya, doanya, serta pengorbanan yang tidak dapat ternilai dengan apapun itu kepada penulis selaku anak yang di cintai dalam melakukan penulisan Tugas Sarjana ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I Tugas Sarjana ini dan selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak H. Muharnif M. S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing II Tugas Sarjana ini.
4. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I Tugas Sarjana ini dan Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II Tugas Sarjana ini dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Bapak Affandi, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan masukan dan dorongan dalam menyelesaikan Tugas Sarjana ini.
8. Anggota team Dual Fuel Diesel Engine Alpin Lazuardi, Dwi suryono, Hendra Gunawan, Ismail yang telah bekerja sama dalam menyelesaikan alat uji dan tugas sarjana motor diesel silinder tunggal dengan bahan bakar ganda.
9. Seluruh rekan-rekan seperjuangan Mahasiswa Program Studi teknik Mesin Khususnya A2 Siang dan B2 Siang yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Sarjana ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Sarjana ini masih jauh dari kata sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Sarjana ini.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga Tugas Sarjana ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amin ya rabbal alamin.
Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 29 September 2018

Penulis

ALPIN LAZUARDI

1307230131

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN - I	
LEMBAR PENGESAHAN - II	
LEMBAR SPESIFIKASI TUGAS SARJANA	
LEMBAR ASISTENSI TUGAS SARJANA	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.4.1. Tujuan Umum	3
1.4.2. Tujuan Khusus	4
1.5. Manfaat penelitian	4
1.6. Sistematik Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Dasar Teori Motor Diesel	6
2.2. Teori Pembakaran	7
2.3. Proses Pembakaran Pada Motor Diesel	8
2.3.1. Siklus Diesel (Tekanan Tetap)	11
2.3.2. Siklus Aktual Motor Diesel	13
2.4. Sistem Penginjeksian Bahan Bakar Motor Diesel	14
2.4.1. Pengertian Sistem Penginjeksian Bahan Bakar Motor Diesel	14
2.4.2. Fungsi Sistem Injeksi Bahan Bakar	15
2.5. Pompa Bahan Bakar Diesel	15
2.6. Perhitungan Torsi dan Daya	16
2.6.1. Torsi dan Daya	16
2.6.2. <i>Chassis Dynamometer</i>	17
2.6.3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (<i>Specific Fuel Consumption</i>)	17
2.7. Bahan Bakar	18
2.7.1. Solar	18
2.7.1.1. Alat Ukur Konsumsi Bahan Bakar Solar	20
2.7.2. Gas LPG (<i>Liquified Petroleum Gas</i>)	22
2.7.3. Tabung Pitot	24
2.7.3.1. Pengertian Tabung Pitot	24
2.7.3.2. Kegunaan dan Aplikasi Tabung Pitot	25
2.7.3.3. Kelebihan dan Kekurangan Tabung Pitot	26

2.7.4. Manometer U	26
2.7.4.1. Pengertian Manometer U	26
2.8. Sistem Bahan Bakar Ganda	29
BAB 3. METODE PENELITIAN	
3.1. Tempat Dan Waktu Penelitian	30
3.1.1. Tempat	30
3.1.2. Waktu	30
3.2. Diagram Alir Penelitian	31
3.3. Spesifikasi Mesin	32
3.4. Alat dan Bahan	32
3.5. Skema Rangkaian RPM sensor Dengan Arduino UNO	44
3.6. Pengujian dan Teknik Pengambilan Data	45
BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1. Data Hasil Pengujian	48
4.2. Perhitungan Pada Bahan Bakar Solar Murni Terhadap Pembebanan 3 kg Dengan Putaran Mesin 800 rpm sampai 2300 rpm.	48
4.3. Perhitungan Pada Bahan Bakar Solar + LPG Terhadap Pembebanan 3 kg Dengan Putaran Mesin 800 rpm sampai 2300 rpm.	56
4.4. Perhitungan Pada Modifikasi Sistem Injeksi + LPG Terhadap Pembebanan 3 kg Dengan Putaran Mesin 800 rpm sampai 2300 rpm.	71
4.5. Pembahasan	86
4.5.1. Putaran Mesin Terhadap Torsi	86
4.5.2. Putaran Mesin Terhadap Daya	87
4.5.3. Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (<i>SFC</i>)	89
BAB 5. PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	91
5.2. Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1. Proses Pembakaran Mesin Diesel	7
2. Gambar 2.2. Proses Fisik Pada Pembakaran	9
3. Gambar 2.3. <i>Degrees of Crank Angel to Pressure</i>	10
4. Gambar 2.4. Siklus Diesel Diagram P-v	12
5. Gambar 2.5. Siklus Motor Diesel 4 Langkah	12
6. Gambar 2.6. Siklus Aktual Motor Diesel 4 Langkah	14
7. Gambar 2.7. Alat Ukur Konsumsi Bahan Bakar Solar	20
8. Gambar 2.8. Tabung Pitot	25
9. Gambar 2.9. Manometer U	27
10. Gambar 3.1. Diagram Alir penelitian	31
11. Gambar 3.2. Experimental Set Up	33
12. Gambar 3.3. Mesin Diesel Silinder Tunggal	34
13. Gambar 3.4. Pompa Penekan Bahan Bakar	34
14. Gambar 3.5. Pipa Injektor	35
15. Gambar 3.6. Leher Mixer Intake Manifold	35
16. Gambar 3.7. Paking Pompa Penekan	36
17. Gambar 3.8. Kunci Ring dan Pas	36
18. Gambar 3.9. Caliper	37
19. Gambar 3.10. Stopwatch	37
20. Gambar 3.11. Regulator	38
21. Gambar 3.12. Gas LPG	38
22. Gambar 3.13. Penggaris Plastik	39
23. Gambar 3.14. Selang Transparan	39
24. Gambar 3.15. Wadah Penampung Sementara	40
25. Gambar 3.16. Rpm Sensor	40
26. Gambar 3.17. Arduino UNO	41
27. Gambar 3.18. Software Arduino	41
28. Gambar 3.19. Laptop	42
29. Gambar 3.20. Kabel USB	42
30. Gambar 3.21. <i>Chassis Dynamometer</i>	43
31. Gambar 3.22. Tabung Pitot	43
32. Gambar 3.23. Skema Rangkaian Rpm Sensor	44
33. Gambar 3.24. Skema Rangkaian Load Cell Sensor	45
34. Gambar 4.1. Grafik Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Torsi	87
35. Gambar 4.2. Grafik Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Daya	88
36. Gambar 4.3. Grafik Pengaruh Putaran Mesin Terhadap <i>SFC</i>	90

DAFTAR TABEL

1. Tabel 2.1. Properties Bahan Bakar Solar	19
2. Tabel 2.2. Spesifikasi Bahan Bakar Gas (<i>Liquified Petroleum Gas</i>)	24
3. Tabel 2.3. Massa Jenis Fluida	28
4. Tabel 3.1. Spesifikasi Mesin	32
5. Table 4.1. Data Hasil Pengujian Bahan Bakar Solar	49
6. Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian Bahan Bakar Solar + LPG	57
7. Tabel 4.3. Data Hasil Pengujian Modifikasi Sistem Injeksi + LPG	72
8. Tabel 4.4. Data Hasil Putaran Mesin Terhadap Torsi	86
9. Tabel 4.5. Data Hasil Putaran Mesin Terhadap Daya	87
10. Tabel 4.6. Data Hasil Putaran Mesin Terhadap <i>SFC</i>	89

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
T	torsi	N.m
F	gaya	N
r	panjang lengan <i>dynamometer</i>	m
P_B	daya keluaran	kW
n	putaran mesin	Rpm
S_{fc}	konsumsi bahan bakar spesifik	kg/kW.h
\dot{m}_f	laju aliran massa bahan bakar	kg/jam
\dot{V}	volume bahan bakar yang diuji	ml/s
ρ	spesifik gravity solar	kg/m ³
V	volume bahan bakar didalam selang	ml
t	waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak volume uji	detik
v	kecepatan aliran fluida	m/s
g	percepatan gravitasi	m/s ²
h	tinggi permukaan fluida didalam manometer	mm
ρ'	massa jenis zat cair didalam manometer	kg/m ³
ρ	massa jenis udara atau gas	kg/m ³
A	luas penampang tabung pitot	m ²
v_{max}	kecepatan aliran fluida maksimal	m/s
r	jari-jari	m

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor diesel adalah motor bakar pembakaran dalam yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan penyalaan dan membakar bahan bakar yang telah di injeksikan ke dalam ruang bakar dan bukan oleh alat bantu berenergi lain seperti busi (*spark plug*). Untuk mendapatkan unjuk kerja motor yang optimal, sebuah motor diesel sangat dipengaruhi oleh beberapa aspek operasional, diantaranya : 1) Perbandingan campuran udara dengan bahan bakar (*Air fuel Ratio*), dimana faktor ini mempengaruhi kesempurnaan pembakaran didalam ruang bakar. 2) Waktu Penginjeksian bahan bakar (*Timing injection*), hal ini sangat berpengaruh pada kualitas pembakaran. Namun disamping keunggulan yang dimiliki, mesin diesel juga memiliki problem khusus yang berhubungan dengan sistem penginjeksian bahan bakar, yaitu saat penginjeksian yang kurang maksimal. Penginjeksian yang kurang maksimal disebabkan oleh ketidaksesuaiannya kinerja pompa untuk menyuplai bahan bakar.

Motor diesel memiliki sistem penyaluran bahan bakar yang berfungsi untuk menyalurkan dan menginjeksikan bahan bakar dari tangki ke nozzle, agar diperoleh pengabutan bahan bakar yang baik maka dibutuhkan pompa bahan bakar tekanan tinggi. Didalam pompa ini terdapat plunger, silinder dan katup pengeluaran berupa katup searah. Daya untuk menggerakkan pompa diambil dari daya motor. Plunger yang terdapat didalam silinder digerakkan secara translasi oleh mekanisme silinder dari pompa.

Faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar yang disalurkan adalah panjang langkah plunger, untuk mengurangi konsumsi bahan bakar penginjeksian dapat menambahkan jumlah paking atau mengencangkan fuel injection pump bolt pada pompa injeksitersebut.

Dalam penelitian ini pengurangan konsumsi bahan bakar terhadap sistem penginjeksian bahan bakar dapat di lakukan dengan memberi jarak antara poros nok dan plunger dengan penambahan jumlah paking pada pompa injeksi. Modifikasi akan dilakukan perbandingan pada mesin kondisi standar dan perubahan paking, juga disinkronkan dengan jumlah gas LPG yang masuk dan dilihat perbedaannya pada kondisi mesin standart.

Pada modifikasi ini menggunakan sistem bahan bakar ganda yaitu bahan bakar gas LPG (*liquified petroleum gas*) yang dicampur dengan udara dalam silinder mesin melalui pencampuran langsung di dalam intake manifold dengan udara. Mesin bersistem bahan bakar ganda adalah mesin yang dimodifikasi dimana bahan bakar gas dikompresikan bersamaan dengan udara , bahan bakar gas memiliki temperature terbakar sendiri lebih tinggi (*flame speed*) dibandingkan minyak solar.Maka dapat disimpulkan bahwa dengan kemampuan *flame speed* gas LPG yang sangat cepat ini menyebabkan pembakaran dalam mesin tidak membutuhkan solar atau bahan bakar terlalu banyak untuk membuat putaran mesin tetap stabil.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

- 1.) Bagaimana pengaruh dari pengurangan konsumsi bahan bakar solar untuk memicu adanya ledakan dari campuran gas LPG dan udara pada ruang bakar motor diesel silinder tunggal.
- 2.) Berapa jumlah konsumsi bahan bakar spesifik untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu pada motor diesel silinder tunggal.
- 3.) Bagaimana pengaruh bahan bakar ganda terhadap torsi, daya dan konsumsi bahan bakar spesifik pada motor diesel silinder tunggal.
- 4.) Bagaimana modifikasi yang tepat pada sistem bahan bakar ganda dari motor diesel silinder tunggal.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian tugas akhir ini batasan masalah meliputi sebagai berikut :

- 1.) Penelitian dilakukan menggunakan 2 buah paking dengan ketebalan 1 mm per satu buah paking pada pompa bahan bakar solar dan mengkombinasikan bahan bakar gas LPG.
- 2.) Penelitian ini menggunakan motor diesel silinder tunggal berbahan bakar solar dan gas LPG.

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1. Tujuan Umum

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa perhitungan torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar spesifik dengan adanya pengaruh variasi bahan bakar

terhadap performa motor diesel silinder tunggal dengan bahan bakar solar murni, solar + LPG dan modifikasi sistem injeksi + LPG.

1.4.2. Tujuan Khusus

- 1.) Untuk menghitung torsi, daya dan konsumsi bahan bakar spesifik pada motor diesel silinder tunggal dengan bahan bakar solar murni.
- 2.) Untuk menghitung torsi, daya dan konsumsi bahan bakar spesifik pada motor diesel silinder tunggal dengan bahan bakar solar + LPG.
- 3.) Untuk menghitung torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar spesifik pada motor diesel silinder tunggal dengan modifikasi sistem injeksi + gas LPG.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini yaitu :

- 1.) Dapat dijadikan bahan masukan dan pembelajaran mengenai motor diesel setelah dilakukan variasi bahan bakar dan modifikasi penambahan paking pada pompa injeksi sehingga dapat mengetahui bagaimana cara meningkatkan performa mesin ditinjau dari penggunaan bahan bakar ganda.
- 2.) Dapat memberikan rekomendasi terkait peningkatan performa mesin optimal.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat dan tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 Landasan Teori

Bab ini menjelaskan landasan teori tentang teori motor diesel dan sistem penginjeksian bahan bakar baik pengertian dan rumus pompa bahan bakar berdasarkan kerja langkah plunger. Berdasarkan dari teori – teori inilah penulis akan melakukan pengujian sistem penginjeksian bahan bakar yang telah di modifikasi.

BAB 3 Metode Penelitian

Bab ini berisikan tentang bagaimana penulis untuk mencapai tujuan dalam penelitian ini. Bagian ini berisikan tentang mulai dari langkah-langkah skema penelitian, penyiapan bahan-bahan yang diperlukan dan prosedur penelitian.

BAB 4 Analisa Data

Bab ini berisi mengenai pengolahan data pengujian dan data yang diperoleh dari hasil penelitian dan juga grafik hasil dari perhitungan data.

BAB 5 Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan serta saran-saran yang diajukan oleh penulis.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 2

LANDASAN TEORI

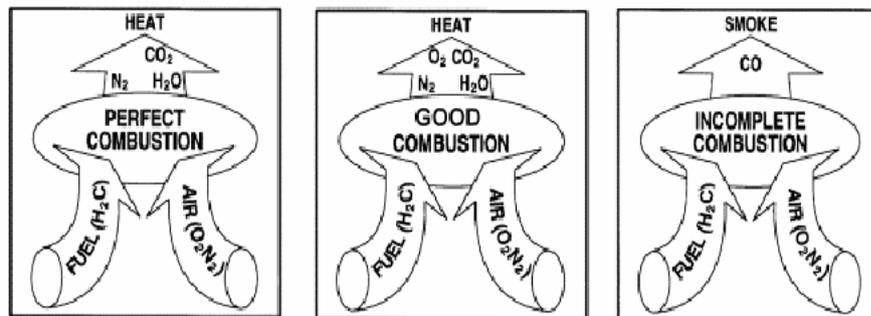
2.1. Dasar Teori Motor Diesel

Motor pembakaran dalam adalah motor bakar torak yang proses terjadinya daya atau penambahan panas terjadi didalam sistem yang terisolasi dan adiabatic terhadap udara luar. Motor diesel merupakan salah satu motor pembakaran dalam yang menggunakan piston atau batang torak sebagai transfer panas menjadi daya berupa torsi atau putaran. Motor diesel juga disebut dengan CI engine atau *Compression Ignition Engine*, yaitu mesin yang bekerja pada rasio kompresi tinggi yang hanya menggunakan udara terkompres sebagai media untuk menghasilkan proses Daya. Berbeda dengan SI engine atau *Spark Ignition Engine* yang menggunakan busi sebagai penyulut campuran homogen antara bahan bakar dengan udara dikompres secara bersamaan, dan sebelumnya telah dicampurdalam karburator. Motor Diesel atau CI engine hanya memasukan udara kedalam ruang bakar kemudian dikompres oleh piston dan bahan bakar diinjeksikan sesaat sebelum piston mencapai TMA (Titik Mati Atas) hingga pada beberapa derajat setelah TMA bahan bakar akan meledak dengan sendirinya karena telah mencapai suhu dan tekanan yang cukup untuk membuat ledakan dan mendorong piston untuk kembali ke TMB dan begitu seterusnya. Selain disebut CI engine atau *Compression Ignition Engine*, motor diesel juga disebut *Autoignition Engine* karena bahan bakar diinjeksikan dengan tekanan terjadi pengabutan sehingga partikel bahan bakar yang mengecil, kemudian titik – titik kecil tersebut menguap karena tekanan dan suhu tinggi dari udara terkompres dan akhirnya bahan bakar meledak atau terbakar dengan sendirinya.

2.2. Teori Pembakaran

Pada motor bakar, proses pembakaran merupakan reaksi kimia yang berlangsung sangat cepat antara bahan bakar dengan oksigen yang menimbulkan panas sehingga mengakibatkan tekanan dan temperatur gas yang tinggi. Kebutuhan oksigen untuk pembakaran diperoleh dari udara yang memerlukan campuran antara oksigen dan nitrogen, serta beberapa gas lain dengan persentase yang relatif kecil dan dapat diabaikan. Reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang diperoleh dari udara akan menghasilkan produk hasil pembakaran yang komposisinya tergantung dari kualitas pembakaran yang terjadi.

Dalam pembakaran proses yang terjadi adalah oksidasi dengan reaksi yang terlihat pada Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1. Proses pembakaran mesin diesel

Karbon + Oksigen = Karbondioksida + panas

Hidrogen + Oksigen = Uap Air + panas

Sulfur + Oksigen = Sulfurdioksida + panas

Pembakaran di atas dikatakan sempurna bila campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat, hingga tidak diperoleh sisa. Bila oksigen terlalu banyak, dikatakan campuran “lean” (kurus), pembakaran ini menghasilkan api oksidasi. Sebaliknya, bila bahan bakarnya terlalu banyak

(atau tidak cukup oksigen), dikatakan campuran “*rich*” (kaya), pembakaran ini menghasilkan api reduksi.

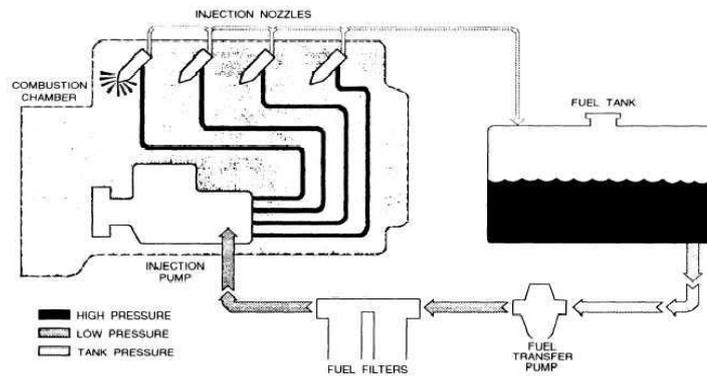
Dalam pembakaran, ada pengertian udara primer yaitu udara yang dicampurkan dengan bahan bakar di dalam *burner* (sebelum pembakaran) dan udara sekunder yaitu udara yang dimasukkan dalam ruang pembakaran setelah *burner*, melalui ruang sekitar ujung *burner* atau melalui tempat lain pada dinding dapur.

2.3. Proses Pembakaran Pada Motor Diesel

Pembakaran adalah reaksi kimia terjadi karena adanya bahan bakar, panas dan oksigen. Sebagai hasil dari pembakaran tersebut akan menghasilkan Karbon Dioksida (CO₂) dan Uap Air (H₂O). Pembakaran pada motor diesel sendiri memerlukan komposisi bahan bakar dan udara yang tepat yang disebut (*Air Fuel Ratio*), walaupun pada motor diesel kondisi “real” nya bekerja pada *excess air* atau kandungan udara yang lebih. Kandungan udara yang lebih ini bertujuan untuk mengurangi masa bahan bakar yang tidak terbakar dan tersisa pada ruang bakar.

Proses pembakaran pada motor diesel melingkupi dua proses yaitu proses fisik (*physical delay*) dan proses kimia (*chemical delay*). Proses fisik pada pembakaran adalah saat bahan bakar dipompa dari fuel pump menuju injektor dan bahan bakar dikabutkan dengan tekanan tinggi pada ruang bakar dan menjadi partikel partikel yang lebih kecil seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 dan untuk proses selanjutnya adalah proses kimia. Untuk proses kimia itu sendiri adalah proses dimana butiran – butiran bahan bakar atau partikel – partikel bahan bakar

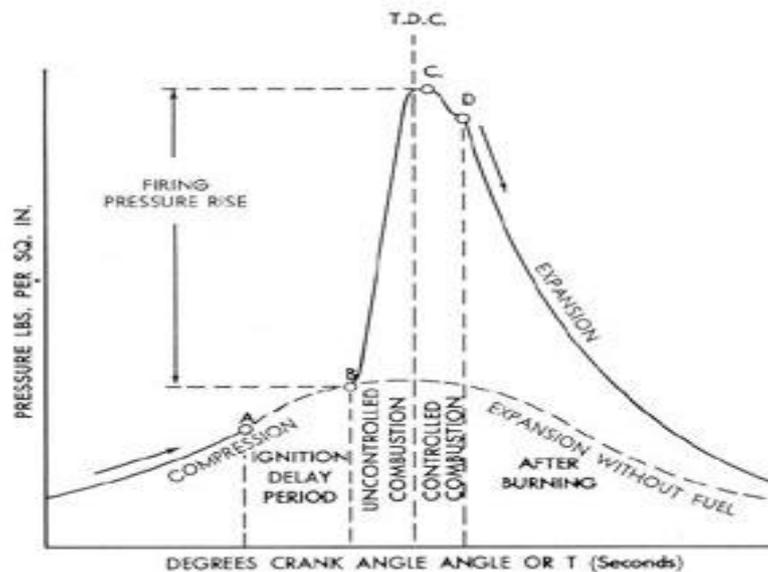
yang kecil tersebut menerima panas dari udara yang terkompres di ruang bakar, dan masing – masing dari partikel tersebut menguap sedikit demi sedikit dan bergerak secara turbulen di ruang bakar sebagai akibat dari kompresi dari piston. Partikel – partikel dalam jangka waktu tertentu akan membuat bahan bakar yang keluar dari injektor terbakar sampai piston mencapai sudut tertentu dan berhenti melakukan proses injeksi bahan bakar.



Gambar 2.2 Proses Fisik Pada Pembakaran

Proses daya yang terjadi sebagai akibat dari ledakan adalah gerak dari piston menuju TMB (Titik Mati Bawah) dan pengembangan volume dari gas yang terkompres dan diberi panas berupa bahan bakar yang diinjeksikan melalui injektor. Perbedaan yang mencolok terhadap motor otto atau mesin bensin adalah pada diesel, proses pembakaran tidak dapat terkontrol karena tidak terdapat busi (*spark plug*) sehingga proses terjadinya pembakaran adalah proses kimia secara penuh. Proses pembakaran pada motor diesel sendiri terdiri dari tahapan – tahapan *ignition delay period*, *uncontrolled combustion*, *controlled combustion*, dan *after burning*. Ignition delay period adalah proses dimana energi atau panas dari udara yang terkompres diterima oleh partikel – partikel bahan bakar, *uncontrolled combustion* adalah dimana sebagian kecil dari partikel tersebut mulai menguap dan bergerak bebas di dalam ruang bakar, *controlled combustion* adalah dimana

bahan bakar yang diinjeksikan terbakar seluruhnya dan menjaga tekanan di ruang bakar konstan hingga masa akhir injeksi. Dan proses *Afterburning*, adalah proses Bergeraknya piston menuju TMB dan pengembangan volume udara karena panas yang diberikan oleh bahan bakar. Untuk lebih jelasnya akan dijabarkan pada Gambar 2.3. (Dimas K, 2016)



Gambar 2.3. Degrees of Crank Angle to Pressure

1. Periode 1: Waktu pembakaran tertunda (*ignition delay period*)

Pada periode ini disebut fase persiapan pembakaran, pada tahap persiapan pembakaran ini terjadi dua proses tunda atau *delay* yang terjadi yaitu proses fisik (*physical delay*) dan proses kimia (*chemical delay*). *Physical delay* adalah proses bahan bakar dipompa dari fuel pump dan proses pengabutan solar menjadi partikel partikel yang lebih kecil oleh injektor, *chemical delay* adalah partikel – partikel kecil solar mengalami penguapan namun belum menjadi api. Faktor yang mempengaruhi dalam kesenjangan *ignition delay period* adalah besarnya partikel dan temperature dalam ruang bakar. *Ignition delay*

merupakan waktu yang diperlukan antara bahan bakar mulai disemprotkan dengan saat mulai terjadinya pembakaran.

2. Periode 2: Pembakaran tidak terkontrol atau Perambatan Api (*Uncontrolled Combustion*)

Pada tahap ini campuran bahan bakar dan udara tersebut akan terbakar di beberapa tempat. Nyala api akan merambat dengan kecepatan tinggi dan terjadi di titik yang tidak menentu akibat aliran udara di dalam ruang bakar yang turbulen sehingga seolah-olah campuran terbakar sekaligus, sehingga menyebabkan tekanan dalam silinder naik secara drastis.

3. Periode 3: Pembakaran Terkontrol (*Controlled Combustion*)

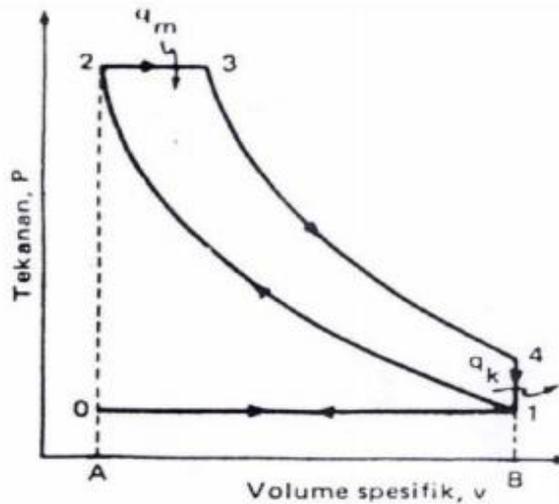
Periode ini adalah dimana piston mencapai suhu dan tekanan tertinggi dimana ledakan dari bahan bakar yang keluar dari injektor terjadi secara beruntun dan membuat piston terdorong ke TMB dan menghasilkan tekanan.

4. Periode 4: Setelah Pembakaran (*Afterburning*)

Periode *Afterburning* ini adalah periode masa injeksi bahan bakar berakhir dan terjadi ekspansi volume gas pembakaran yang membuat piston berlanjut menuju TMB.

2.3.1. Siklus Diesel (Tekanan Tetap)

Siklus diesel adalah siklus teoritis untuk *compression-ignition engine* atau mesin diesel. Perbedaan antara siklus diesel dan Otto adalah penambahan panas pada tekanan tetap. Karena alasan ini siklus Diesel kadang disebut siklus tekanan tetap. Dalam diagram P-v, siklus diesel dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4. Siklus Diesel Diagram P-v

Proses dari siklus tersebut yaitu:

0-1 = Langkah Hisap pada $P = c$ (isobarik)

1-2 = Langkah Kompresi, P bertambah, $Q = c$ (isentropik / reversibel adiabatik)

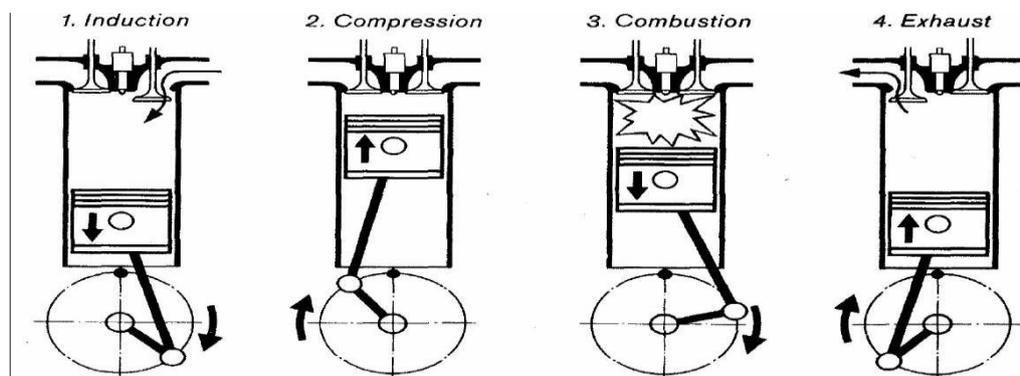
2-3 = Pembakaran, pada tekanan tetap (isobarik)

3-4 = Langkah Kerja P bertambah, $V = c$ (isentropik / reversibel adiabatik)

4-1 = Pengeluaran Kalor sisa pada $V = c$ (isokhorik)

1-0 = Langkah Buang pada $P = c$

Motor diesel empat langkah bekerja bila melakukan empat kali gerakan (dua kali putaran poros engkol) menghasilkan satu kali kerja. Secara skematis prinsip kerja motor diesel empat langkah dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Siklus Motor Diesel 4 langkah

1. Langkah hisap

Pada langkah ini katup masuk membuka dan katup buang tertutup. Udara mengalir ke dalam silinder.

2. Langkah kompresi

Pada langkah ini kedua katup menutup, piston bergerak dari titik TBM ke TMA menekan udara yang ada dalam silinder. 5° setelah mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan.

3. Langkah ekspansi

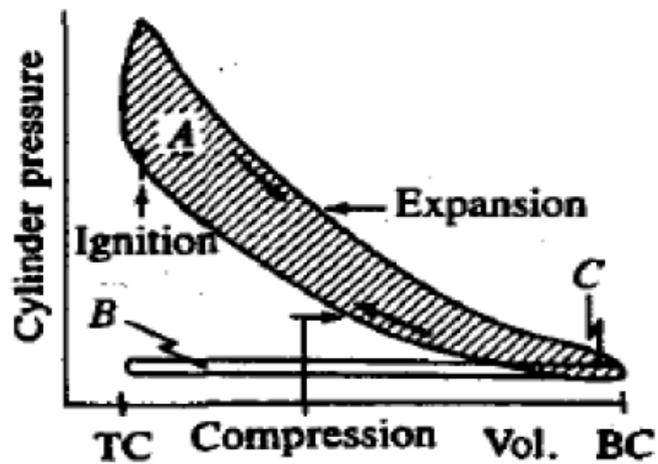
Karena injeksi bahan bakar ke dalam silinder yang bertemperatur tinggi, bahan bakar terbakar dan berekspansi menekan piston untuk melakukan kerja sampai piston mencapai TMB. Kedua katup tertutup pada langkah ini.

4. Langkah buang

Ketika piston hampir mencapai TMB, katup buang terbuka, katup masuk tetap tertutup. Ketika piston bergerak menuju TMA sisa pembakaran terbuang keluar ruang bakar. Akhir langkah ini adalah ketika piston mencapai TMA. Siklus kemudian berulang lagi.

2.3.2. Siklus Aktual Motor Diesel

Dalam siklus aktual motor diesel, kerugian – kerugian lebih rendah daripada yang terjadi pada siklus otto, seperti yang terlihat pada Gambar 2.6. Kerugian utama adalah karena pembakaran tidak sempurna dan penyebab utama perbedaan antara siklus teoritis dan siklus mesin diesel. Dalam siklus teoritis pembakaran diharapkan selesai pada akhir pembakaran tekanan tetap, tetapi aktualnya *after burning* berlanjut sampai setengah langkah ekspansi. Perbandingan efisiensi antara siklus aktual dan teoritis adalah sekitar 0,85.



Gambar 2.6. Siklus Aktual Motor Diesel 4 Langkah

2.4. Sistem Penginjeksian Bahan Bakar Motor Diesel

2.4.1 Pengertian Sistem Penginjeksian Bahan Bakar Motor Diesel

Sistem injeksi bahan bakar pada mesin diesel merupakan sistem paling penting di antara sistem-sistem yang lain. Dengan sistem injeksi bahan bakar yang baik dan tepat akan menghasilkan tenaga mesin yang optimal. Sebaliknya sistem injeksi bahan bakar yang kurang baik dan kurang tepat dapat menyebabkan tenaga mesin diesel kurang optimal, bahkan mungkin saja mesin diesel tidak dapat dijalankan sama sekali. Banyak orang yang menyatakan bahwa sistem injeksi bahan bakar pada mesin diesel merupakan jantung hidup matinya mesin.

Sistem injeksi bahan bakar mesin diesel mencakup rangkaian komponen-komponen yang berhubungan dengan bahan bakar, yang berfungsi mengisap bahan bakar dari tangki bahan bakar, memompakan bahan bakar, sampai bahan bakar tersebut diinjeksikan ke dalam ruang bakar silinder mesin dalam rangka memperoleh tenaga. (Best Mechanic, 2014)

2.4.2 Fungsi Sistem Injeksi Bahan Bakar

Berdasarkan pengertian sistem injeksi bahan bakar pada mesin diesel di atas, maka fungsi sistem injeksi bahan bakar mesin diesel yaitu:

- 1.) Menyimpan bahan bakar.
- 2.) Menyaring bahan bakar.
- 3.) Memompa atau menginjeksi bahan bakar ke dalam ruang bakar silindermesin.
- 4.) Mengabutkan bahan bakar ke dalam ruang bakar silinder mesin.
- 5.) Memajukan saat penginjeksian bahan bakar.
- 6.) Mengatur kecepatan mesin sesuai dengan bebannya melalui pengaturanpenyaluran bahan bakar.
- 7.) Mengembalikan kelebihan bahan bakar ke dalam tangki bahan bakar.

2.5. Pompa Bahan Bakar Diesel

Pada mesin diesel hanya udara bersih yang dihisap dan dikompresikan. Bahan bakar dan udara dicampur di dalam silinder dengan cara setelah udara dikompresikan, bahan bakar disemprotkan kedalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran. Persyaratan tekanan udara kompresi 1,5-4 Mpa (15-40 bar) sehingga temperatur udara naik 700-900°C. Bahan bakar harus dikabutkan halus, oleh pompa injeksi pada tekanan (100-250 bar).

Ada dua cara penyemprotan bahan bakar kedalam ruang bakar yaitu injeksi langsung dimana *injection nozzle* menyemprotkan bahan bakar langsung keruang bakar utama (*main combustion chamber*) pada akhir langkah kompresi. Udara tertekan dan menerima pusaran cepat akibatnya suhu dan tekanannya naik bahan bakar cepat menguap dan menyala dengan sendirinya setelah disemprotkan.

Cara menyemprotan yang kedua ialah injeksi tidak langsung dimana bahan bakar disemprotkan oleh *injection nozzle* ke kamar depan (*precombustion chamber*). Udara yang dikompresikan oleh torak memasuki kamar pusat dan membentuk aliran *turbulensi* ditempat bahan bakar yang diinjeksikan. Tetapi sebagian bahan bakar yang belum terbakar akan mengalir ke ruang bakar utama melalui saluran *transfer* untuk menyelesaikan pembakaran.

Pada sistem bahan bakar mesin diesel, *feed pump* menghisap bahan bakar dari tangki bahan bakar. Bahan bakar disaring oleh *fuel filter* dan kandungan air yang terdapat pada bahan bakar dipisahkan oleh *fuel sedimenter* sebelum dialirkan ke pompa injeksi bahan bakar. Dari pompa injeksi selanjutnya melalui pipa injeksi bahan bakar dialirkan ke *injektor* untuk diinjeksikan ke ruang bakar. (Ardha, 2011).

2.6. Perhitungan Torsi dan daya

2.6.1. Torsi dan daya

Gaya tekan putar pada bagian yang berputar disebut torsi, motor diesel digerakkan oleh torsi dari *Crankshaft*. Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. Satuan torsi biasanya dinyatakan dalam N.m (*Newton meter*).

Daya adalah besarnya kerja motor persatuan waktu. (Imam M, 2016) Daya pada motor diesel dapat diukur dengan menggunakan alat *dynamometer*, maka daya yang dihasilkan poros output ini sering di sebut sebagai daya rem (*brake Power*) dan untuk mengetahui torsi putaran mesin dapat diasumsikan dengan rumus sebagai berikut :

$$T = F \times r \tag{2.1}$$

maka :

$$P_B = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60000} T \quad (2.2)$$

2.6.2. *Chassis Dynamometer*

Dynamometer adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur tenaga, gaya puntir (torsi) yang dihasilkan oleh mesin. Prinsip kerja alat ini adalah dengan memberi beban yang berlawanan terhadap arah putaran sampai mendekati nol *rpm*, beban maksimum yang terbaca adalah gaya pengereman yang besarnya sama dengan gaya putar poros mesin. Pada tipe *Chassis dynamometer* pengetesan menggunakan mesin dan seluruh chassis kendaraan dalam keadaan lengkap terpasang. (Imam M, 2016)

2.6.3. **Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Specific Fuel Consumption*)**

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis konsumsi bahan bakar pada sebuah mesin. Untuk konsumsi bahan bakar hanya volume bahan bakar per satuan waktu (kg/jam). Agar mudah mengetahui jumlah bahan bakar yang di butuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

Bila daya rem dalam satuan kW dan laju aliran massa bahan bakar dalam satuan kg/jam, maka:

$$Sfc = \frac{\dot{m}_f}{P_B} \quad (2.3)$$

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (\dot{m}_f) di hitung dengan persamaan berikut :

$$\dot{m}_f = \dot{V} \times \rho \quad (2.4)$$

$$\dot{V} = \frac{V}{t}$$

2.7. Bahan Bakar

2.7.1 Solar

Solar adalah salah satu jenis bahan bakar yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi, pada dasarnya minyak mentah dipisahkan fraksi-fraksinya pada proses destilasi sehingga dihasilkan fraksi solar dengan titik didih 250°C sampai 300°C. Kualitas solar dinyatakan dengan bilangan *cetane* (pada bensin disebut oktan), yaitu bilangan yang menunjukkan kemampuan solar mengalami pembakaran di dalam mesin serta kemampuan mengontrol jumlah ketukan (*knocking*), semakin tinggi bilangan cetane pada solar maka kualitas solar akan semakin bagus.

Sebagai bahan bakar, tentunya solar memiliki karakteristik tertentu sama halnya dengan jenis bahan bakar lainnya. berikut karakteristik yang dimiliki fraksi solar:

1. Memiliki kandungan sulfur yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bensin dan kerosen.
2. Memiliki flash point (titik nyala) sekitar 40°C sampai 100°C.
3. Tidak berwarna atau terkadang berwarna kekuning-kuningan dan berbau.
4. Menimbulkan panas yang tinggi sekitar 10.900 kkal/kg. (*Berkah Fajar, Sudargana : 2007*)
5. Terbakar spontan pada temperatur 300°C.

Pada umumnya solar digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermesin diesel ataupun peralatan-peralatan industri lainnya. Agar menghasilkan

pembakaran yang baik, solar memiliki syarat-syarat agar memenuhi standar yang telah ditentukan. Berikut persyaratan yang menentukan kualitas solar:

- Tidak mudah mengalami pembekuan pada suhu yang dingin.
- Mudah terbakar.
- Memiliki sifat anti knocking dan membuat mesin bekerja dengan lembut.
- Solar harus memiliki kekentalan yang memadai agar dapat disemprotkan oleh ejector di dalam mesin.
- Memiliki kandungan sulfur sekecil mungkin, agar tidak berdampak buruk bagi mesin kendaraan serta tidak menimbulkan polusi.
- Tetap stabil atau tidak mengalami perubahan struktur, bentuk dan warna dalam proses penyimpanan.

Tabel 2.1.Properties Bahan Bakar Solar

NO.	Properties	Unit	Limit	
			Min	Max
1.	Density pada 15 °C	Kg/m ³	815	870
2.	Angka Cetane	-	45	-
3.	Index Cetane	-	48	-
4.	Visc. Kinematik pada 40°C	mm ² /sec	2.0	5.0
5.	Titik Didih	°C	-	18
6.	Titik Nyala	°C	60	-
7.	Distilasi : T95	°C	-	370
8.	Kandungan Belerang	% massa	-	0.35
9.	Korosi Copper	Merit	-	No.1
10.	Residu Konradson Carbon	Merit	-	No.1
11.	Kandungan Abu	% m/m	-	0.01
12.	Kandungan Air	Mg/kg	-	500
13.	Partikulat	Mg/l	-	0.01
14.	Angka Asam Kuat	mgKOH/g	-	-
15.	Total Asam Kuat	mgKOH/g	-	0.6
16.	Warna	No. ASTM	-	3.0
17.	API Gravity pada 15°C	-	-	-

Sumber : (Dicky Yoko Exoryanto, Bambang Sudarmanta. 2016 : 2)

2.7.1.1. Alat Ukur Konsumsi Bahan Bakar Solar

Alat ukur konsumsi bahan bakar yang digunakan terdiri dari selang plastik transparan, mistar 60 cm, botol minuman, selang bahan bakar, dan keran bahan bakar. Botol plastik digunakan sebagai penampung sementara sehingga bahan bakar tidak cepat habis selama mesin dinyalakan, pemilihan botol plastik yang digunakan adalah botol plastik transparan dengan tujuan agar dapat mengetahui volume bahan bakar pada botol sewaktu-waktu harus diisi kembali. Botol dilubangi pada bagian atas dan bagian bawah untuk menyambungkan botol dengan selang ukur (bagian atas botol) dan selang menuju ruang bakar (bagian bawah botol) menggantikan saluran bahan bakar dari tangki motor, sehingga solar di dalam botol mengalir ke ruang pembakaran. Diantara lubang bawah botol dan selang diberikan keran agar sewaktu-waktu tidak digunakan solar dapat ditutup. Botol dan selang disambung dan ditutup dengan campuran lem “*Dextone*” yang cukup banyak untuk menghindari adanya kebocoran pada sambungan. Alat ukur yang dibuat dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7. Alat ukur konsumsi bahan bakar solar

Alat ukur panjang yang digunakan berupa kertas putih yang dijadikan *background* dan penggaris sepanjang 60 cm yang diletakkan di atasnya kemudian diikat dengan kabel tis. Lalu selang diletakkan disamping mistar, sehingga dapat diketahui penurunan solar yang terjadi. Selang digunakan untuk mengamati kecepatan penurunan volume bahan bakar selama pengujian konsumsi bahan bakar. Selang ini dipasang tegak lurus sehingga penurunan volume bahan bakar dapat diamati. Ukuran selang yang digunakan adalah diameter luar 9 mm, dengan ketebalan dinding 1 mm berdasarkan pengukuran dengan jangka sorong. Dengan demikian diameter dalam selang adalah 8 mm. Karena dimensi selang yang bermacam-macam dan belum diketahui volume selang dalam ketinggian 1 cm, maka untuk mengetahui volume dalam milimeter setiap ketinggian 1 cm dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

Perhitungan volume dalam milimeter setiap ketinggian 1 cm :

$$V = \left(\frac{1}{4} \pi \times d^2 \right) \times h \quad (2.5)$$

Dimana :

$$\pi = 3.14$$

$$d = 0.8 \text{ cm}$$

$$h = 1 \text{ cm}$$

Maka :

$$V = \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,8 \text{ cm})^2 \right) \times 1 \text{ cm}$$

$$V = 0.502 \text{ cm}^3 = 0.502 \text{ ml}$$

Maka setiap penurunan 1 cm, terjadi penurunan volume bahan bakarsebesar 0.502 ml dan setiap penurunan 30 cm terjadi penurunan volume bahan bakar sebesar 15 ml.

2.7.2. Gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

LPG (*liquified petroleum gas*), adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propana (C₃H₈) dan butane (C₄H₁₀). Elpiji juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C₂H₆) dan pentana (C₅H₁₂). Sifat LPG terutama adalah sebagai berikut:

- 1) Cairan dan gasnya sangat mudah terbakar.
- 2) Gas tidak beracun, tidak berwarna dan biasanya berbau menyengat.
- 3) Gas dikirimkan sebagai cairan yang bertekanan di dalam tangki atau silinder.
- 4) Cairan dapat menguap jika dilepas dan menyebar dengan cepat.
- 5) Gas ini lebih berat dibanding udara sehingga akan banyak menempati daerah yang rendah.

LPG (*liquefied petroleum gas*) terdiri dari campuran utama propan dan butan dengansedikit persentase hidrokarbon tidak jenuh (propilen dan butilen) dan beberapa fraksi C₂ yang lebih ringan dan C₅ yang lebih berat. Senyawa yang terdapat dalam LPG adalah propan(C₃H₈), propilen (C₃H₆), normal dan iso-butan (C₄H₁₀) dan butilen (C₄H₈). LPG merupakan campuran dari hidrokarbon tersebut yang terbentuk gas pada tekanan atmosfer, namun dapat diembunkan menjadi bentuk cair pada suhu normal, dengan tekanan yang cukup besar.

Walaupun digunakan sebagai gas, namun untuk kemudahannya disimpan dan ditransport dalam bentuk cair dengan tertentu.

LPG Pertamina yang dipasarkan dalam kemasan tabung (3 kg, 6 kg, 12 kg, 50 kg) dan curah merupakan LPG campuran, dengan komposisi $\pm 30\%$ *propana* dan 70% *butane* (*dirjen migas : 2009*). Varian lain adalah LPG *Odourless* (tidak berbau). Zat mercaptan biasanya ditambahkan kepada LPG untuk memberikan bau yang khas, sehingga kebocoran gas dapat dideteksi dengan cepat.

Adapun karakteristik dari bahan bakar LPG yaitu :

1. Berbentuk cair bertekanan yang disimpan dalam tabung dengan berat jenis $0,555 - 0,584 \text{ kg/m}^3$.
2. Tingkat polusi dan gas buang rendah.
3. Tidak meninggalkan residu apabila menguap.
4. Bersih, tidak mengandung racun, tidak berwarna, mudah menyala dan aman dalam pengangkutan dan penyimpanan .
5. Gas LPG diudara terbuka mempunyai sifat lebih berat dari udara sehingga cenderung merambat kebawah permukaan tanah.
6. Untuk keselamatan gas LPG di tambahkan zat pembau (merkaptan) sehingga baunya menusuk hidung pertanda tabung bocor.
7. Nilai kalor gas LPG 11.245 kkal/kg .

Tabel 2.2. Spesifikasi Bahan Bakar LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)

Properties		Propane	n-Butane	DME
Rumus Kimia		C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CH₃OCH₃
Titik Didih / <i>Boiling point</i>	°C	-42	-0.5	-25.1
Densitas Cair / <i>Liquid density</i>	(g/cm ³ , 20°C)	0.49	0.57	0.67
Specific gravity of gas	(vs. air)	1.52	2	1.59
Saturated vapor pressure	(atm., 25°C)	9.3	2.4	6.1
Explosion limit	(%)	2.1 – 9.4	1.9 – 8.4	3.4 – 17
Cetane number		5	10	55 – 60
Octane number		100	-	13
Net calorific value	(kcal/kg)	11,900	11,800	6,900
Net calorific value	(kcal/l)	5,950	6,840	5,110

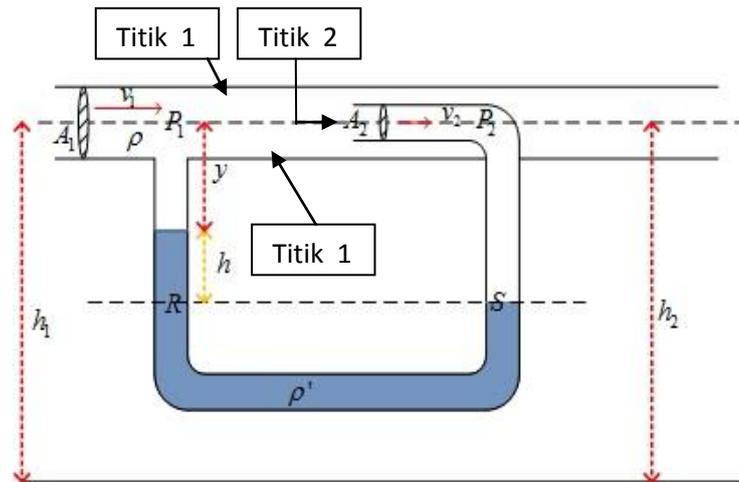
Sumber : (Aldo Maudy G : 2017)

2.7.3. Tabung Pitot

2.7.3.1. Pengertian Tabung Pitot

Tabung pitot merupakan suatu peralatan yang dapat dikembangkan sebagai pengukur kecepatan gerak pesawat terbang dan untuk mengukur kecepatan udara atau gas di dalam pipa tertutup.

Tabung pitot terdiri dari tabung dengan tikungan pendek, siku-siku, yang ditempatkan secara vertikal dalam cairan bergerak dengan mulut bagian membungkuk diarahkan hulu, sedangkan tekanan, diukur dengan perangkat yang terpasang, tergantung pada aliran dan dapat digunakan untuk menghitung kecepatan. Pada gambar 2.7 menjelaskan, Lubang pada titik 1 sejajar dengan aliran udara. Posisi kedua lubang ini dibuat cukup jauh dari ujung tabung pitot, sehingga laju dan tekanan udara di luar lubang sama seperti laju dan tekanan udara yang mengalir bebas. Dalam hal ini, v_1 = laju aliran udara yang mengalir bebas (ini yang akan kita ukur), dan tekanan pada kaki kiri manometer (pipa bagian kiri) = tekanan udara yang mengalir bebas (P_1).



Gambar 2.8. Tabung pitot

Lubang yang menuju ke kaki kanan manometer, tegak lurus dengan aliran udara. Karenanya, laju aliran udara yang lewat di lubang ini (bagian tengah) berkurang dan udara berhenti ketika tiba di titik 2. Dalam hal ini, $v_2 = 0$. Tekanan pada kaki kanan manometer sama dengan tekanan udara di titik 2 (P2).

Maka untuk mendapatkan kecepatan laju aliran fluida dapat di asumsikan menggunakan rumus dibawah ini :

$$v = \sqrt{\frac{2 \rho' gh}{\rho}} \quad (2.6)$$

Dari persamaan diatas percepatan gravitasi dapat didefenisikan sebagai suatu objek yang berada di permukaan laut memiliki nilai 9,80665 m/s. Umumnya digunakan nilai 9,81 m/s untuk mudahnya. Kemudian massa jenis dari fluida yang digunakan pada persamaan diatas dapat dilihat pada table dibawah.

2.7.3.2. Kegunaan dan Aplikasi Tabung Pitot

Kegunaan dan pengaplikasian tabung pitot ini ialah :

1. Untuk mengukur kecepatan udara pada pesawat terbang terhadap udara.
2. Untuk menentukan kecepatan angin dalam terowongan.

3. Untuk mengukur tekanan fluida pada wind tunnel.
4. Untuk menghitung profil kecepatan aliran pada pipa.

2.7.3.3. Kelebihan dan Kekurangan Tabung Pitot

Kelebihan :

1. Pressure drop aliran kecil
2. Susunan sederhana.
3. Relatif mudah dan murah.
4. Tidak perlu adanya kalibrasi.
5. Pressure drop aliran kecil.

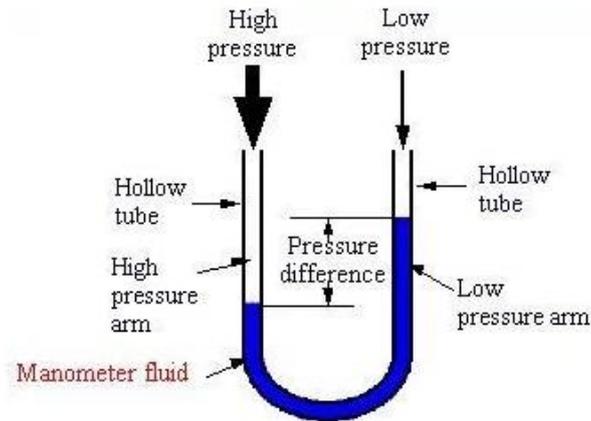
Kekurangan :

1. Keakuratan rendah untuk beberapa aplikasi.
2. Pipa harus lurus dengan kecepatan aliran untuk mendapatkan hasil yang baik.

2.7.4. Manometer U

2.7.4.1. Pengertian Manometer U

Manometer adalah alat yang berfungsi untuk mengukur tekanan udara dalam ruang tertutup. Manometer zat cair merupakan manometer jenis terbuka. Pada Gambar 2.9 menjelaskan manometer zat cair terdapat pipa U yang memiliki satu tabung terbuka dan satu tabung tertutup. Cairan dalam tabung dapat berupa air raksa, alkohol, ataupun air. Prinsip pengukuran tekanan udara dalam tabung manometer adalah dengan mengukur selisih ketinggian fluida dalam pipa. Jika tekanan gas dalam tabung lebih besar dari tekanan udara luar maka tinggi permukaan zat cair dalam tabung terbuka lebih tinggi daripada tinggi permukaan zat cair dalam tabung yang tertutup.



Gambar 2.9. Manometer U

Pada dasarnya satu manometer bekerja berdasarkan perbedaan tekanan dari dua ujung lengan pipa U, dimana dalam pipa telah diisi cairan, biasanya air atau airraksa. Jika kedua ujung lengan pipa terhubung ke udara luar (atmosfir), maka permukaan cairan akan sama karena kedua tekanannya sama. Jika kedua lengan terhubung dengan udara yang tekanannya berbeda, maka pada ujung yang tekanannya rendah permukaan cairan akan lebih tinggi dari ujung yang tekanannya tinggi. Dengan kata lain ujung bertekanan tinggi akan menekan cairan menuju ujung bertekanan rendah. Perbedaan ketinggian cairan di kedua lengan pipa U akan berbanding lurus dengan perbedaan tekanan antara 2 ujung tersebut. Namun manometer konvensional seperti ini masih memiliki beberapa kekurangan, antara lain:

1. Respon yang lambat.
2. Mudah terjadi kesalahan paralax, karena permukaan cairan tidak selalu rata.
3. Jika pipanya terlalu kecil akan terjadi efek kapilaritas akibat tegangan permukaan.

Karena itu harus dikoreksi;

1. Untuk pengolahan dan analysis data yang terukur harus dicatat secara manual dan baru setelah itu disalin ke komputer .

Tabel 2.3. Massa Jenis Fluida

Jenis benda	Massa jenis (kg/m ³)	Jenis benda	Massa jenis (kg/m ³)
Zat cair		Zat padat	
Air (4 °C)	1000	Es	920
Air Laut	1030	Aluminium	2700
Darah	1060	Besi & Baja	7800
Bensin	680	Emas	19300
Air raksa	13600	Gelas	2400 - 2800
Zat gas		Kayu	300 - 900
Udara	1,293	Tembaga	8900
Helium	0,1786	Timah	11300
Hidrogen	0,08994	Tulang	1700 - 2000
Uap air (100 °C)	0,6		

Sumber : (<http://pieceblg.blogspot.com/2010/12/massa-jenis-dan-berat-jenis.html>)

Berdasarkan persamaan kecepatan aliran fluida (v) diatas, laju aliran bahan bakar (m_f) terhadap Gas LPG dapat dihitung dengan terlebih dahulu mengetahui debit aliran gas dan dapat diasumsikan dengan rumus perbandingan sebagai berikut :

$$\frac{v}{r_0 - r} = \frac{v_{\max}}{r_0} \text{ atau } v = v_{\max} \left(1 - \frac{r}{r_0} \right) \quad (2.7)$$

$$Q = \int_A v \, dA = \int_0^{r_0} v_{\max} \left(1 - \frac{r}{r_0} \right) 2 \pi r \, dr$$

$$Q = 2 \pi v_{\max} \int_0^{r_0} \left(1 - \frac{r}{r_0} \right) r \, dr = 2 \pi v_{\max} r_0^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \right) = \frac{1}{3} \pi r_0^2 v_{\max}$$

Sebagaimana telah diketahui diameter tabung pitot yang digunakan pada pengujian ini adalah sebesar 17 mm, kemudian di konversi ke meter menjadi 0,017 m. Maka jari-jari (r) pada tabung pitot adalah 0,0085 m.

2.8. Sistem Bahan Bakar Ganda

Prinsip kerja dari sistem bahan bakar ganda ini yaitu bahan bakar gas dicampur dengan udara dalam silinder mesin baik melalui pencampuran langsung di dalam intake manifold dengan udara atau melalui suntikan langsung ke dalam silinder. Sebuah mesin bahan bakar ganda pada dasarnya adalah mesin diesel yang dimodifikasi dimana bahan bakar gas, disebut bahan bakar utama, yang dicampur bersama udara yang akan masuk melalui intake manifold. Bahan bakar ini adalah sumber utama energy input kemesin. Bahan bakar gas utama dikompresi dengan udara, bahan bakar gas memiliki temperature terbakar sendiri lebih tinggi dibandingkan minyak solar. Sedangkan bahan bakar diesel, biasanya disebut pilot fuel, di injeksi seperti pada mesin diesel biasa didekat akhir kompresi primer campuran bahan bakar udara. Bahan bakar pilot diesel merupakan yang melakukan pengapian pertama dan bertindak sebagai sumber pengapian untuk pembakaran dari campuran bahan bakar gas. Bahan bakar pilot diesel, yang di injeksi ke ruang bakar hanya menyumbang sebagian kecil dari tenaga mesin yang dihasilkan.

BAB 3

METODE PENELITIAN

Metode ini menggunakan metode eksperimental, yaitu dengan melakukan serangkaian pengujian variasi bahan bakar yang meliputi torsi, daya dan konsumsi bahan bakar spesifik. Penelitian ini menggunakan 3 variasi bahan bakar yaitu solar murni, solar + LPG dan modifikasi sistem injeksi + LPG.

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

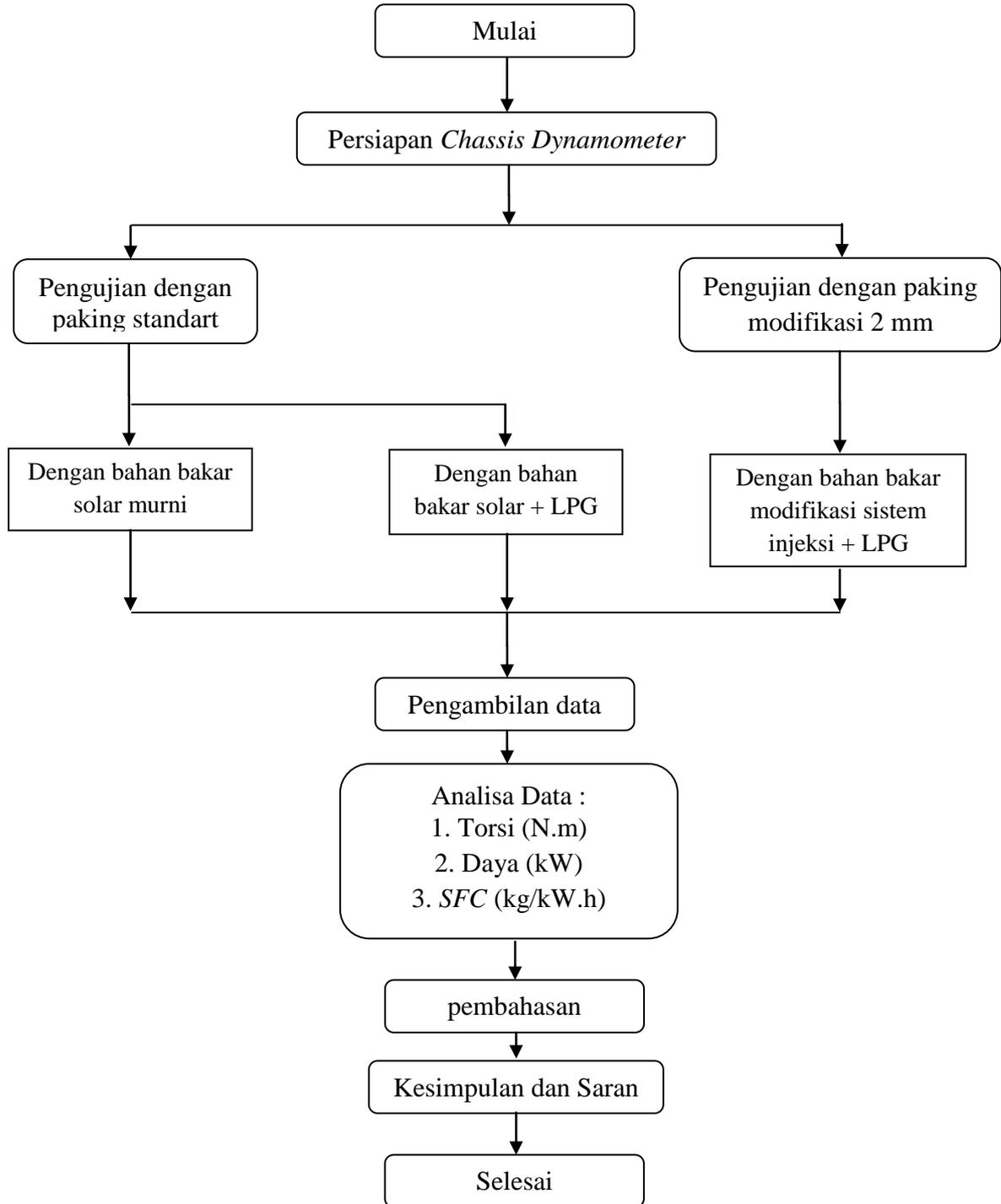
Tempat pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Jl. Kapten Mukhtar Basri, Ba No. 3 Medan – 20238 Telp. 061-6622400 Ext.12.

3.1.2 Waktu

No.	KEGIATAN	BULAN (2017-2018)															
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	ACC judul																
2	Pembuatan proposal																
3	Pembuatan leher mixer intake manifold																
4	Pembuatan brake dynamometer																
5	Pengujian Alat																
6	Pengerjaan laporan																
7	Seminar																
8	Sidang																

3.2. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.3. Spesifikasi Mesin

Mesin yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah mesin diesel silinder tunggal yang bermerk MISAKA R180 dan spesifikasi sebagai berikut :

Table 3.1. Spesifikasi mesin

Merk	Misaka
Type	R180
Diameter x Panjang	80 x 80 mm
Volume Langkah	0,402 liter
Nilai Keluaran (kW/rpm)	5,67/2600
Torsi Maksimum (N.m)	>23,4
Kecepatan Putaran Torsi Maksimum (rpm)	<2080
Konsumsi bahan bakar (g/kW.h)	<278,8
Rasio kompresi	22 : 1
Jenis	Mesin diesel horizontal 4 langkah
Jumlah Silinder	1
Sistem Start	manual / engkol
Sistem Pendingin	Hopper
Berat	79 Kg
Sistem pembakaran	Ruang depan

3.4. Alat dan Bahan

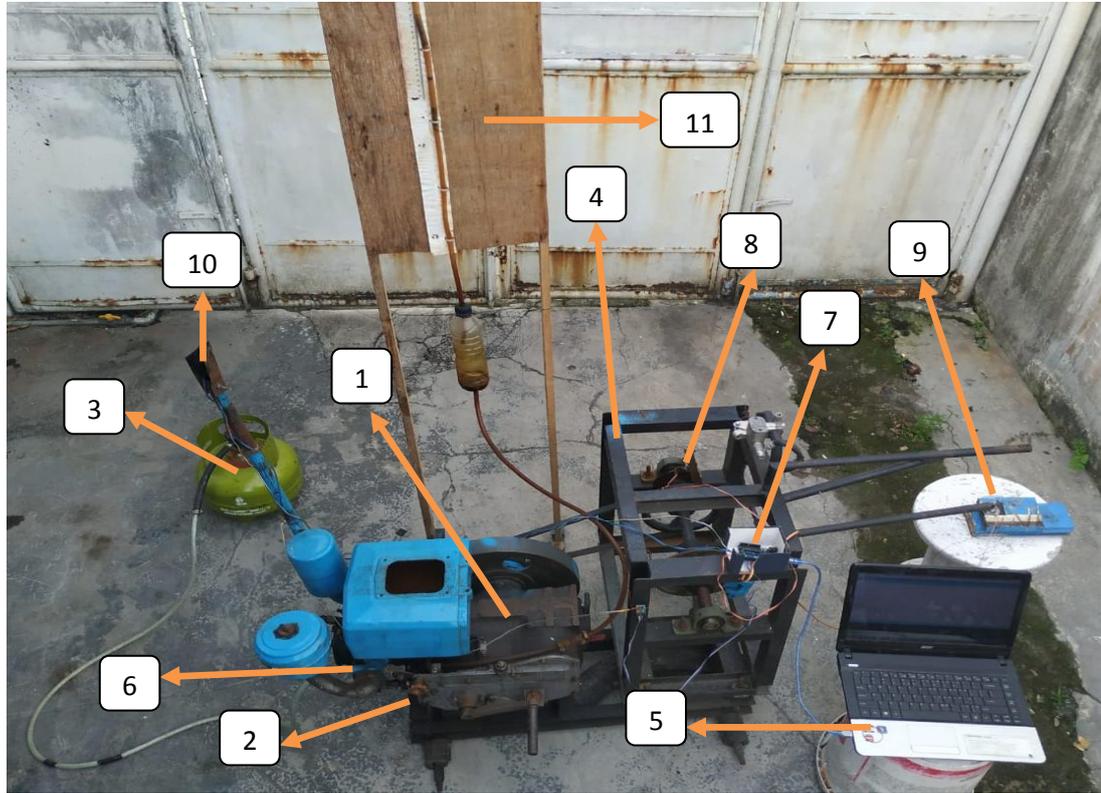
Alat dan bahan yang digunakan yaitu :

1. Experimental Set Up

Experimental set up yang dilakukan pada penelitian ini ialah penambahan jumlah paking pada pompa injeksi bahan bakar yang sederhana. Alat yang dibuat

untuk mengurangi pemakaian bahan bakar solar, setelah adanya pengurangan jarak panjang langkah pompa penekan bahan bakar akibat penambahan paking.

Desain alat dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 .



Keterangan :

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. Mesin diesel silinder tunggal | 7. Hardware Arduino UNO |
| 2. Pompa penekan bahan bakar | 8. RPM sensor |
| 3. Tabung Gas LPG | 9. Load Cell sensor |
| 4. Chassis Brake dynamometer | 10. MQ2 dan MQ7 sensor |
| 5. Laptop | 11. Alat Ukur Konsumsi Bahan Bakar Solar |
| 6. Leher Mixer Intake Manifold | |

Gambar 3.2. Experimental Set Up

2. Mesin diesel silinder tunggal

Mesin diesel silinder tunggal berfungsi sebagai alat uji untuk pengujian variasi bahan bakar.



Gambar 3.3. Mesin Diesel Silinder Tunggal

3. Pompa Penekan Bahan Bakar

Pompa penekan bahan bakar berfungsi untuk mensuplai sekaligus menekan bahan bakar dari tangki ke ruang bakar.



Gambar 3.4. Pompa Penekan Bahan Bakar

4. Pipa Injector

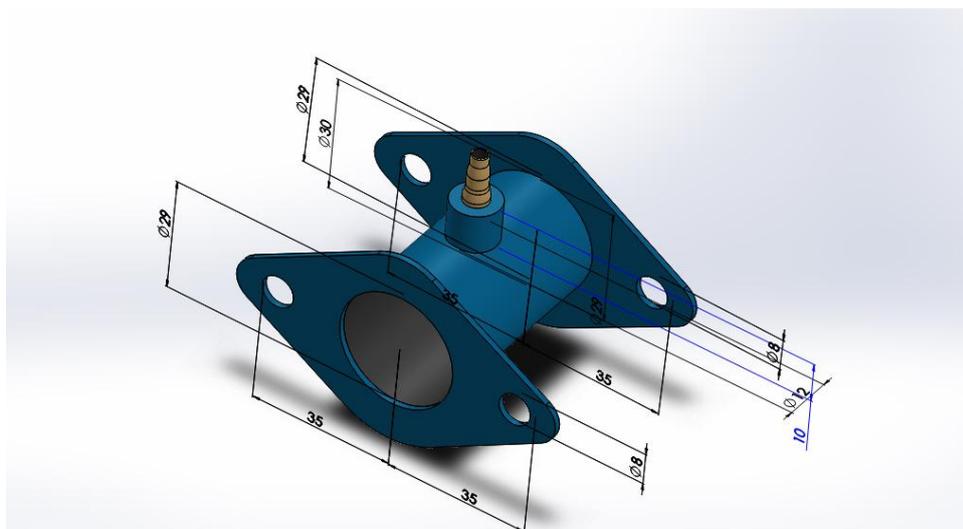
Pipa injector berfungsi untuk menyalurkan bahan bakar yang dipompakan.



Gambar 3.5. Pipa Injector

5. Leher Mixer Intake Manifold

Leher mixer intake manifold berfungsi untuk mencampur udara dan bahan bakar sebelum memasuki ruang bakar.



Gambar 3.6. Leher Mixer Intake Manifold

6. Paking Pompa Penekan

Paking pompa penekan berfungsi untuk mencegah terjadinya kebocoran oli sekaligus mengaruhi panjang langkah plunger terhadap variasi



Gambar 3.7. Paking Pompa Penekan

7. Kunci Ring dan Pas

Kunci ring dan pas berfungsi untuk membuka pompa dan pipa injector.



Gambar 3.8. Kunci Ring dan Pas

8. Caliper

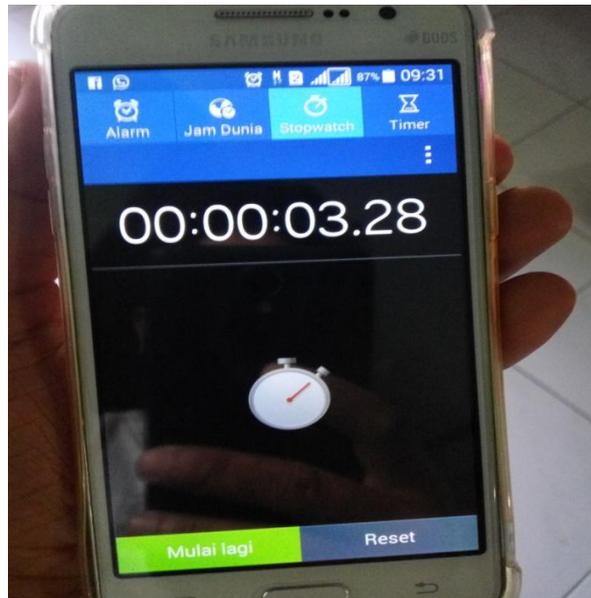
Caliper berfungsi sebagai alat untuk mengukur diameter selang transparan, diameter pompa plunger dan panjang langkah plunger.



Gambar 3.9. Caliper

9. Handphone Dengan Aplikasi Stopwatch

Handphone dengan aplikasi stopwatch berfungsi untuk mengukur waktu konsumsi bahan bakar.



Gambar 3.10. Handphone Dengan Aplikasi Stopwatch

10. Regulator

Regulator berfungsi untuk membuka dan menutup aliran gas pada tabung.



Gambar 3.11. Regulator

11. Gas LPG

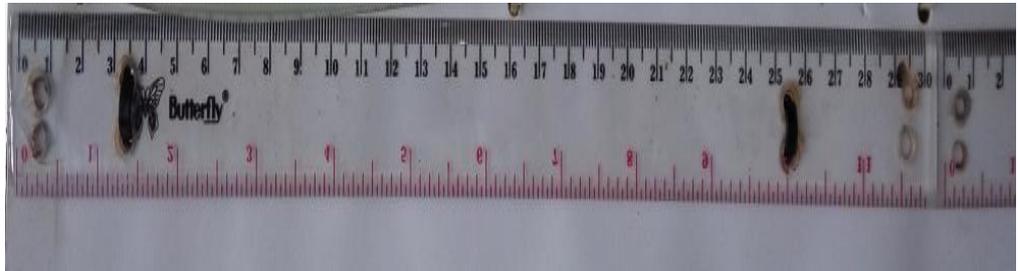
Berfungsi sebagai bahan bakar campuran pada motor diesel silinder tunggal berbahan bakar ganda.



Gambar 3.12. Gas LPG

12. Penggaris Plastik

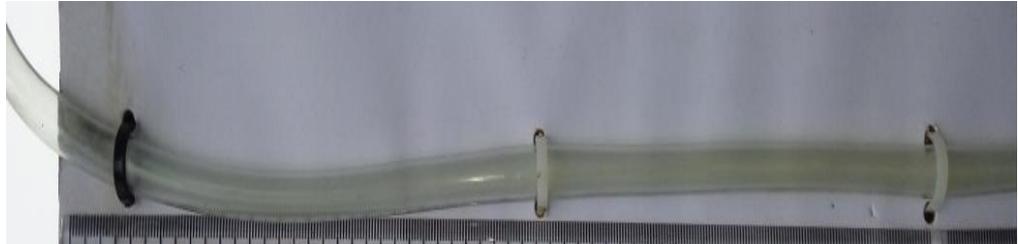
Penggaris plastik berfungsi untuk mengukur tinggi permukaan bahan bakar pada selang bahan bakar.



Gambar 3.13. Penggaris Plastik

13. Selang Transparan

Selang transparan berfungsi untuk mengamati penurunan permukaan bahan bakar pada saat pengujian.



Gambar 3.14. Selang Transparan

14. Wadah Penampung Sementara

Wadah Penampung Sementara berfungsi untuk menampung sementara bahan bakar yang akan dipompakan.



Gambar 3.15. Wadah Penampung Sementara

15. Rpm Sensor

Rpm sensor berfungsi sebagai alat ukur untuk mengetahui putaran mesin per menit. Model : FC-03



Gambar 3.16. Rpm Sensor

16. Arduino UNO

Arduino UNO berfungsi untuk memuat semua yang dibutuhkan untuk mendukung microcontroller, dengan cara dihubungkan dengan computer menggunakan kabel USB.



Gambar 3.17. Arduino UNO

17. Software Arduino

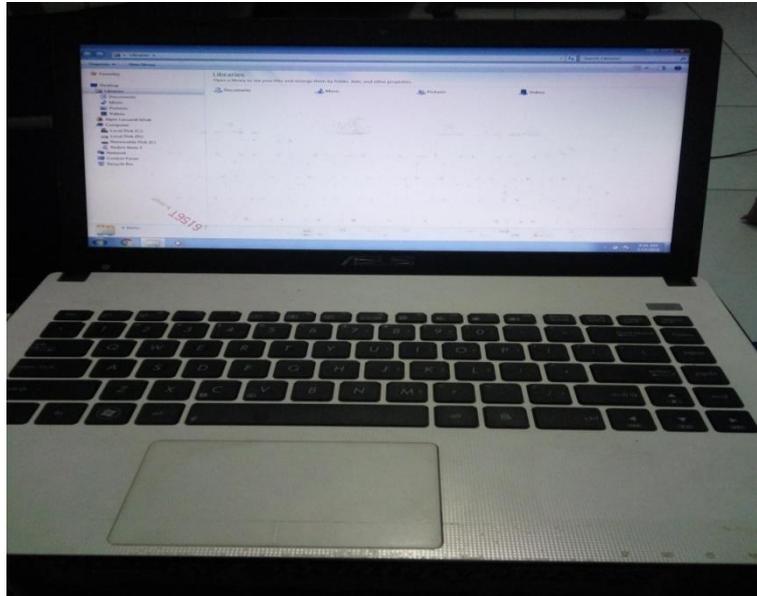
Software arduino berfungsi untuk memprogram arduino Rpm sensor dan mengetahui putaran mesin permenit.



Gambar 3.18. Software Arduino

18. Laptop

Berfungsi untuk membuka Software Arduino Uno.



Gambar 3.19. Laptop

19. Kabel USB

Kabel USB Berfungsi untuk menghubungkan modul arduino ke laptop.



Gambar 3.20. Kabel USB

20. ChassisDynamometer

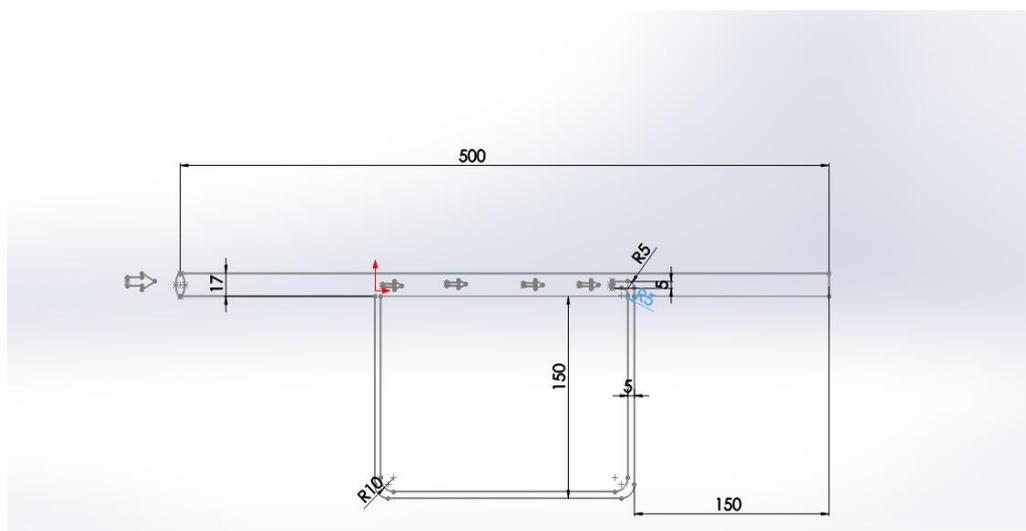
Dynamometer berfungsi sebagai alat yang digunakan untuk mengukur tenaga, gaya puntir (torsi) yang dihasilkan oleh mesin.



Gambar 3.21. *ChassisDynamometer*

20. Tabung Pitot

Tabung pitot berfungsi untuk mengukur kecepatan aliran massa bahan bakar dan udara terhadap motor diesel.

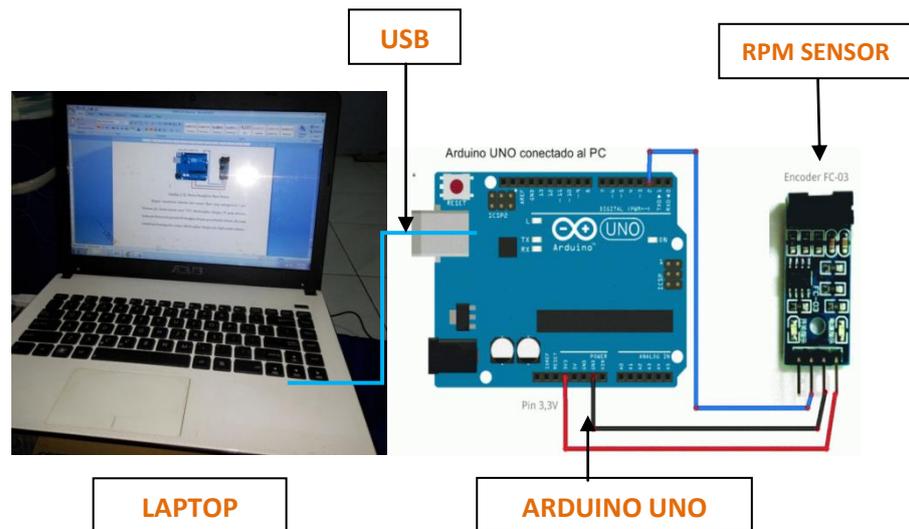


Gambar 3.22. tabung pitot

3.5. Skema Rangkaian RPM Sensor Dengan Arduino Uno

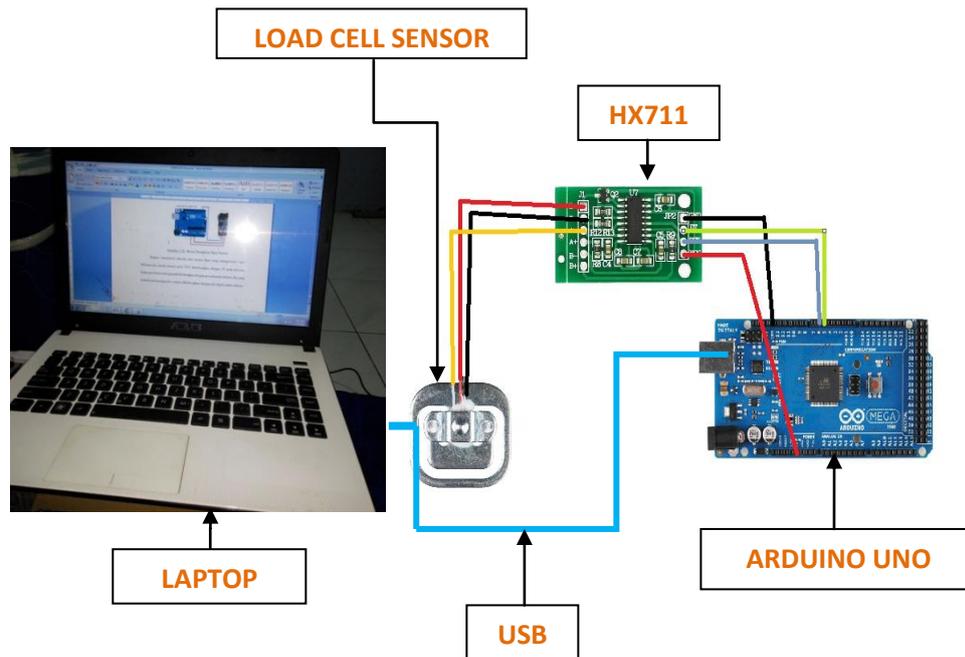
Rangkaian pada Rpm sensor dan Load Cell sensor terhadap arduino digunakan rangkaian receiver, dimana receiver terdiri dari receiver modul yang akan menerima data kemudian diolah di microcontroller arduino uno kedua yang akan di display pada laptop.

Untuk skema rangkaian receiver seperti pada gambar dibawah :



Gambar 3.23. Skema Rangkaian Rpm Sensor

Bagian transmitter dimulai dari sensor Rpm yang mempunyai 3 pin. Pertama pin merah sensor yaitu VCC dihubungkan dengan 5V pada arduino, kedua pin hitam yaitu ground dihubungkan dengan ground pada arduino, dan yang terakhir pin biru yaitu output dihubungkan dengan pin digital pada arduino.



Gambar 3.24. Skema Rangkaian Load Cell Sensor

Bagian transmitter dimulai dari sensor Load Cell yang mempunyai 3 pin yang dihubungkan pada HX711 yang fungsinya sebagai komponen pendukung pada load cell sensor. Pertama pin merah sensor yaitu VCC dihubungkan dengan E+ pada HX711 yang kemudian dihubungkan kembali ke 5V pada arduino, kedua pin hitam yaitu ground dihubungkan dengan E- pada HX711 yang kemudian dihubungkan kembali ke ground pada arduino, dan yang ketiga pin kuning yaitu output dihubungkan dengan A- pada HX711 yang kemudian dihubungkan kembali ke pin digital pada arduino.

3.6. Pengujian dan Teknik Pengambilan Data

Pada pengujian performa mesin ini digunakan alat *Dynamometer* untuk mengukur performa mesin pada berbagai tingkat putaran mesin, prosedur pengujian adalah sebagai berikut :

1. Memeriksa dahulu bahan bakar yang akan digunakan, penyetelan belting pada pully mesin dan memastikan air radiator terisi penuh.
2. Menyalakan laptop lalu memasukan *input* data kedalam program arduino uno, serta mengaplikasikan ke Ms. Excel menggunakan software PLX DAQ untuk tempat saving data hasil *Dynamometer*.
3. Menghidupkan mesin diesel untuk mendapatkan suhu yang ideal.
4. Menguji mesin diesel dengan penggunaan paking standart dengan bahan bakar solar murni.
5. Melakukan pengujian untuk pengambilan data dari beban pengereman pada rangka *dynamometer* dengan Loadcell sensor, putaran mesin dengan rpm sensor, dan konsumsi bahan bakar solar menggunakan stopwatch secara manual.
6. Setelah pengujian pertama selesai, pengujian kedua dilakukan pada kondisi paking masih dalam keadaan standart dengan bahan bakar solar + LPG.
7. Melakukan pengujian untuk pengambilan data dari beban pengereman pada rangka *dynamometer* dengan Loadcell sensor, putaran mesin dengan rpm sensor, konsumsi bahan bakar solar menggunakan stopwatch secara manual, dan konsumsi bahan bakar gas menggunakan tabung pitot secara manual.
8. Setelah pengujian kedua selesai, pengujian ketiga dilakukan pada kondisi modifikasi sistem injeksi yaitu menambahkan paking setebal 2 mm pada pompa injeksi dengan bahan bakar solar + LPG.
9. Melakukan pengujian untuk pengambilan data dari beban pengereman pada rangka *dynamometer* dengan Loadcell sensor, putaran mesin dengan rpm

sensor, konsumsi bahan bakar solar menggunakan stopwatch secara manual, dan konsumsi bahan bakar gas menggunakan tabung pitot secara manual.

10. Setelah pengujian ketiga selesai, data terhimpun di perangkat PLX DAQ, dan mesin diesel dapat dimatikan dan dikembalikan ke posisi semula.

BAB 4

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian diambil dari alat brake dynamometer dengan menggunakan motor diesel silinder tunggal. Parameter penelitian yang dilakukan adalah Torsi, Daya, Konsumsi Bahan Bakar Spesifik dan Perbandingan Udara Bahan Bakar dengan menggunakan variasi paking pompa injeksi dan bahan bakar solar, solar + LPG.

Pengambilan data dilakukan dalam beberapa variasi putaran mesin dengan interval 500 rpm yaitu 800 sampai 2300 rpm, maka akan diketahui seberapa besar perbedaan daya dan torsi yang dihasilkan dari tiap-tiap variasi paking pompa injeksi dan bahan bakar yang digunakan. Pengujian dilakukan 3 kali tiap putaran mesin, setelah itu dirata-rata kan kemudian diperoleh hasilnya.

4.2. Perhitungan Pada Bahan Bakar Solar Murni Terhadap Pembebanan 3kg dengan putaran mesin 800 rpm sampai 2300 rpm.

Data survey yang diketahui :

Panjang lengan <i>dynamometer</i> (m)	r	= 0,50 m
Specific Gravity (kg/m ³)	ρ	= 842,5kg/m ³
Volume bahan bakar yang diuji (ml)	V	= 0,502 ml

Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian Bahan Bakar Solar Murni

Bahan Bakar	Beban (kg)	Putaran Mesin (rpm)	Waktu Untuk Menghabiskan Bahan Bakar Sebanyak Volume (dtk)
Solar Murni	3,14	847	5,1
Solar Murni	3,12	1367	5,4
Solar Murni	3,18	1844	4,2
Solar Murni	3,15	2343	2,1

1. Torsi (T)

Untuk mengetahui Torsi putaran mesin dapat menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$T = F \times r$$

a. Pada putaran 800 rpm

Dimana :

$$F = \text{Gaya (3,14 kg = 30,79 N Tabel data hasil pengujian)}$$

$$r = \text{Jarak benda kepusat rotasi (0,50 m Data survei)}$$

Maka :

$$T = 30,79 \text{ N} \times 0,50 \text{ m}$$

$$= 15,39 \text{ N.m}$$

b. Pada putaran 1300 rpm

Dimana :

$$F = \text{Gaya (3,12 kg = 30,59 N Tabel data hasil pengujian)}$$

$$r = \text{Jarak benda kepusat rotasi (0,50 m Data survei)}$$

Maka :

$$T = 30,59 \text{ N} \times 0,50 \text{ m}$$

$$= 15,29 \text{ N.m}$$

c. Pada putaran 1800 rpm

Dimana :

$$F = \text{Gaya (3,15 kg = 30,89 N Tabel data hasil pengujian)}$$

$$r = \text{Jarak benda kepusat rotasi (0,50 m Data survei)}$$

Maka :

$$T = 30,89 \text{ N} \times 0,50 \text{ m}$$

$$= 15,44 \text{ N.m}$$

d. Pada putaran 2300 rpm

Dimana :

$$F = \text{Gaya (3,18 kg = 31,18 N Tabel data hasil pengujian)}$$

$$r = \text{Jarak benda kepusat rotasi (0,50 m Data survei)}$$

Maka :

$$T = 31,18 \text{ N} \times 0,50 \text{ m}$$

$$= 15,59 \text{ N.m}$$

2. Daya (P_B)

Setelah menghitung torsi maka daya dapat diketahui dengan persamaan

2.1 sebagai berikut :

$$P_B = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60000} T$$

a. Pada putaran 800 rpm

Dimana :

n = putaran mesin (847 rpm *Table data hasil pengujian*)

T = torsi (15,39 N.m)

Maka :

$$\begin{aligned} P_B &= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 847}{60000} 15,39 \text{ N.m} \\ &= 1,4 \text{ kW} \end{aligned}$$

b. Pada putaran 1300 rpm

Dimana :

n = putaran mesin (1367 rpm *Table data hasil pengujian*)

T = torsi (15,29 N.m)

Maka :

$$\begin{aligned} P_B &= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1367}{60000} 15,29 \text{ N.m} \\ &= 2,2 \text{ kW} \end{aligned}$$

c. Pada putaran 1800 rpm

Dimana :

n = putaran mesin (1844 rpm *Table data hasil pengujian*)

T = torsi (15,44 N.m)

Maka :

$$P_B = \frac{2.3,14 \cdot 1844}{60000} 15,44 \text{ N.m}$$
$$= 3 \text{ kW}$$

d. Pada putaran 2300 rpm

Dimana :

n = putaran mesin (2343 rpm *Table data hasil pengujian*)

T = torsi (15,59 N.m)

Maka :

$$P_B = \frac{2.3,14 \cdot 2343}{60000} 15,59 \text{ N.m}$$
$$= 3,8 \text{ kW}$$

3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Specific Fuel Consumption*)

Setelah menghitung daya maka SFC (*Specific Fuel Consumption*) dapat

diketahui dengan persamaan 2.3 sebagai berikut :

$$Sfc = \frac{\dot{m}_f}{P_B}$$

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (\dot{m}_f) dihitung dengan persamaan 2.4

berikut :

$$\dot{m}_f = \dot{V} \times \rho$$

$$\dot{V} = \frac{V}{t}$$

a. Pada putaran 800 rpm

Dimana :

ρ = specific gravity (842,5 kg/m³ *Data survei*)

V = Volume bahan bakar yang diuji (0,502 ml *Data survei*)

t = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak
volume uji (5,1 detik *Tabel data hasil pengujian*)

Maka :

$$\begin{aligned}\dot{V} &= \frac{0,502 \text{ ml}}{5,1 \text{ s}} \\ &= 0,0984 \text{ ml / s} \\ &= 0,0984 \text{ ml / s} \times 3600 \\ &= 354,2 \text{ ml / h} \\ &= 0,3542 \text{ l / h} \\ &= 0,0003542 \text{ m}^3 / \text{h}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_f &= \dot{V} \times \rho \\ &= 0,0003542 \text{ m}^3 / \text{h} \times 842,5 \text{ kg / m}^3 \\ &= 0,2984 \text{ kg / h}\end{aligned}$$

Maka SFC dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}Sfc &= \frac{0,2984 \text{ kg / h}}{1,4 \text{ kW}} \\ &= 0,2131 \text{ kg / kW . h}\end{aligned}$$

b. Pada putaran 1300 rpm

Dimana :

$$\rho = \text{specific gravity (842,5 kg/m}^3 \text{ Data survei)}$$

$$V = \text{Volume bahan bakar yang diuji (0,502 ml Data survei)}$$

$$t = \text{Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak} \\ \text{volume uji (5,4 detik Tabel data hasil pengujian)}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{0,502 \text{ ml}}{5,4 \text{ s}} \\ &= 0,0929 \text{ ml / s} \\ &= 0,0929 \text{ ml / s} \times 3600 \\ &= 334,4 \text{ ml / h} \\ &= 0,3344 \text{ l / h} \\ &= 0,0003344 \text{ m}^3 / \text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_f &= \dot{V} \times \rho \\ &= 0,0003344 \text{ m}^3 / \text{h} \times 842,5 \text{ kg / m}^3 \\ &= 0,2817 \text{ kg / h} \end{aligned}$$

Maka SFC dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{0,2817 \text{ kg / h}}{2,2 \text{ kW}} \\ &= 0,1280 \text{ kg / kW .h} \end{aligned}$$

c. Pada putaran 1800 rpm

Dimana :

$$\rho = \text{specific gravity (842,5 kg/m}^3 \text{ Data survei)}$$

$$V = \text{Volume bahan bakar yang diuji (0,502 ml Data survei)}$$

t = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak
 volume uji (4,2 detik *Tabel data hasil pengujian*)

Maka :

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{0,502 \text{ ml}}{4,2 \text{ s}} \\ &= 0,1195 \text{ ml / s} \\ &= 0,1195 \text{ ml / s} \times 3600 \\ &= 430,2 \text{ ml / h} \\ &= 0,4302 \text{ l / h} \\ &= 0,0004302 \text{ m}^3 / \text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_f &= \dot{V} \times \rho \\ &= 0,0004302 \text{ m}^3 / \text{h} \times 842,5 \text{ kg / m}^3 \\ &= 0,3624 \text{ kg / h} \end{aligned}$$

Maka SFC dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{0,3624 \text{ kg / h}}{3 \text{ kW}} \\ &= 0,1208 \text{ kg / kW . h} \end{aligned}$$

d. Pada putaran 2300 rpm

Dimana :

ρ = specific gravity (842,5 kg/m³ *Data survei*)

V = Volume bahan bakar yang diuji (0,502 ml *Data survei*)

t = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak
 volume uji (2,1 detik *Tabel data hasil pengujian*)

Maka :

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{0,502 \text{ ml}}{2,1 \text{ s}} \\ &= 0,2390 \text{ ml / s} \\ &= 0,2390 \text{ ml / s} \times 3600 \\ &= 860,4 \text{ ml / h} \\ &= 0,8604 \text{ l / h} \\ &= 0,0008604 \text{ m}^3 / \text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_f &= \dot{V} \times \rho \\ &= 0,0008604 \text{ m}^3 / \text{h} \times 842,5 \text{ kg / m}^3 \\ &= 0,7248 \text{ kg / h} \end{aligned}$$

Maka SFC dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{0,7248 \text{ kg / h}}{3,8 \text{ kW}} \\ &= 0,1907 \text{ kg / kW . h} \end{aligned}$$

4.3. Perhitungan Pada Bahan Bakar Solar + LPG Terhadap Pembebanan 3kg dengan putaran mesin 800 rpm sampai 2300 rpm.

Data survey yang diketahui :

Jarak benda ke pusat rotasi (m)	r	= 0,50 m
Specific Gravity (kg/m ³)	ρ	= 842,5 kg/m ³
Volume bahan bakar yang diuji (ml)	V	= 0,502 ml
Percepatan gravitasi (m/s ²)	g	= 9,81 m/s ²
Massa jenis zat cair didalam manometer	ρ'	= 1000 kg/m ³
Massa jenis gas (kg/m ³)	ρ	= 1,856kg/m ³

Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian Bahan Bakar Solar + LPG

Bahan Bakar	Beban (kg)	Putaran Mesin (rpm)	Tinggi Permukaan Fluida Didalam Manometer terhadap gas LPG (mm)	Waktu Untuk Menghabiskan Bahan Bakar solar Sebanyak Volume (dtk)
Solar + LPG	3,31	928	3,6	5,6
Solar + LPG	3,27	1441	3,8	5,1
Solar + LPG	3,29	1996	4,5	4,8
Solar + LPG	3,36	2458	4,7	3,1

1. Torsi (T)

Untuk mengetahui Torsi putaran mesin dapat menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$T = F \times r$$

a. Pada putaran 800 rpm

Dimana :

$$F = \text{Gaya (3,31 kg = 32,46 N Tabel data hasil pengujian)}$$

$$r = \text{Jarak benda kepusat rotasi (0,50 m Data survei)}$$

Maka :

$$T = 32,46 \text{ N} \times 0,50 \text{ m}$$

$$= 16,23 \text{ N.m}$$

b. Pada putaran 1300 rpm

Dimana :

$$F = \text{Gaya (3,27 kg = 32,06 N Tabel data hasil pengujian)}$$

$$r = \text{Jarak benda kepusat rotasi (0,50 m Data survei)}$$

Maka :

$$T = 32,06 \text{ N} \times 0,50 \text{ m}$$

$$= 16,03 \text{ N.m}$$

c. Pada putaran 1800 rpm

Dimana :

$$F = \text{Gaya} (3,29 \text{ kg} = 32,26 \text{ N Tabel data hasil pengujian})$$

$$r = \text{Jarak benda kepusat rotasi} (0,50 \text{ m Data survei})$$

Maka :

$$T = 32,26 \text{ N} \times 0,50 \text{ m}$$

$$= 16,13 \text{ N.m}$$

d. Pada putaran 2300 rpm

Dimana :

$$F = \text{Gaya} (3,36 \text{ kg} = 32,95 \text{ N Tabel data hasil pengujian})$$

$$r = \text{Jarak benda kepusat rotasi} (0,50 \text{ m Data survei})$$

Maka :

$$T = 32,95 \text{ N} \times 0,50 \text{ m}$$

$$= 16,47 \text{ N.m}$$

2. Daya (P_B)

Setelah menghitung torsi maka daya dapat diketahui dengan persamaan

2.1 sebagai berikut :

$$P_B = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60000} T$$

a. Pada putaran 800 rpm

Dimana :

n = putaran mesin (928 rpm *Table data hasil pengujian*)

T = torsi (16,23 N.m)

Maka :

$$P_B = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 928}{60000} 16,23 \text{ N.m}$$

$$= 1,6 \text{ kW}$$

b. Pada putaran 1300 rpm

Dimana :

n = putaran mesin (1441 rpm *Table data hasil pengujian*)

T = torsi (16,03 N.m)

Maka :

$$P_B = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1441}{60000} 16,03 \text{ N.m}$$

$$= 2,4 \text{ kW}$$

c. Pada putaran 1800 rpm

Dimana :

$n = \text{putaran mesin (1996 rpm Table data hasil pengujian)}$

$T = \text{torsi (16,13 N.m)}$

Maka :

$$P_B = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1996}{60000} 16,13 \text{ N.m}$$
$$= 3,8 \text{ kW}$$

d. Pada putaran 2300 rpm

Dimana :

$n = \text{putaran mesin (2458 rpm Table data hasil pengujian)}$

$T = \text{torsi (16,47 N.m)}$

Maka :

$$P_B = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2458}{60000} 16,47 \text{ N.m}$$
$$= 4,6 \text{ kW}$$

3. Kecepatan Aliran Massa Gas LPG Yang Masuk Kedalam Ruang Bakar

Kecepatan aliran gas yang masuk kedalam ruang bakar dapat di asumsikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$v = \sqrt{\frac{2 \rho' g h}{\rho}}$$

Dimana :

v = kecepatan aliran fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2) = (9,81 m/s^2 *data survey*)

h = tinggi permukaan fluida didalam manometer (mm)

ρ' = massa jenis zat cair didalam manometer (1000 kg/m^3 *data survey*)

ρ = massa jenis gas LPG (kg/m^3) = (1,856 kg/m^3 *data survey*)

Berdasarkan Tabel 2.2 spesifikasi bahan bakar LPG, maka massa jenis gas LPG dapat dihitung dengan asumsi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\rho_{LPG} &= (2 \times 0,7) + (1,52 \times 0,3) \\ &= 1,4 + 0,456 \\ &= 1,856 \text{ kg / m}^3\end{aligned}$$

a. Pada putaran 800 rpm

Dimana :

h = tinggi permukaan fluida didalam manometer (3,6 mm *Tabel data hasil pengujian*)

maka :

$$\begin{aligned}v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3 \cdot 9,81 \text{ m / s}^2 \cdot 3,6 \text{ mm} \cdot 10^{-3}}{1,856 \text{ kg / m}^3}} \\ &= \sqrt{38,05} \\ &= 6,168 \text{ m/s}\end{aligned}$$

b. Pada putaran 1300 rpm

Dimana :

$h =$ tinggi permukaan fluida didalam manometer (3,8 mm *Tabel data hasil pengujian*)

maka :

$$\begin{aligned}v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3 \cdot 9,81 \text{ m / s}^2 \cdot 3,8 \text{ mm} \cdot 10^{-3}}{1,856 \text{ kg / m}^3}} \\&= \sqrt{40,17} \\&= 6,337 \text{ m/s}\end{aligned}$$

c. Pada putaran 1800 rpm

Dimana :

$h =$ tinggi permukaan fluida didalam manometer (4,5 mm *Tabel data hasil pengujian*)

maka :

$$\begin{aligned}v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3 \cdot 9,81 \text{ m / s}^2 \cdot 4,5 \text{ mm} \cdot 10^{-3}}{1,856 \text{ kg / m}^3}} \\&= \sqrt{47,57} \\&= 6,897 \text{ m/s}\end{aligned}$$

d. Pada putaran 2300 rpm

Dimana :

$h =$ tinggi permukaan fluida didalam manometer (4,7 mm *Tabel data hasil pengujian*)

maka :

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3 \cdot 9,81 \text{ m / s}^2 \cdot 4,7 \text{ mm} \cdot 10^{-3}}{1,856 \text{ kg / m}^3}}$$

$$= \sqrt{49,68}$$

$$= 7,048 \text{ m/s}$$

4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Specific Fuel Consumption*)

Setelah menghitung daya maka SFC (*Specific Fuel Consumption*) dapat diketahui dengan persamaan 2.3 sebagai berikut :

$$Sfc = \frac{\dot{m}_f}{P_B}$$

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (\dot{m}_f) dihitung dengan persamaan 2.4 berikut :

$$\dot{m}_f = \dot{V} \times \rho$$

$$\dot{V} = \frac{V}{t}$$

a. Pada putaran 800 rpm

Dimana :

ρ = specific gravity (842,5 kg/m³ *Data survei*)

V = Volume bahan bakar yang diuji (0,502 ml *Data survei*)

t = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak

volume uji (5,6 detik *Tabel data hasil pengujian*)

Maka :

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{0,502 \text{ ml}}{5,6 \text{ s}} \\ &= 0,0896 \text{ ml / s} \\ &= 0,0896 \text{ ml / s} \times 3600 \\ &= 322,59 \text{ ml / h} \\ &= 0,32256 \text{ l / h} \\ &= 0,00032256 \text{ m}^3 / \text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{f \text{ solar}} &= \dot{V} \times \rho \\ &= 0,00032256 \text{ m}^3 / \text{h} \times 842,5 \text{ kg / m}^3 \\ &= 0,2717 \text{ kg / h} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui laju aliran bahan bakar (m_f) terhadap gas LPG, terlebih dahulu menghitung debit aliran Gas LPG (Q) dan berdasarkan penurunan persamaan 2.7 maka dapat diasumsikan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3} \pi r_0^2 v_{max}$$

Dimana :

r_0 = jari-jari tabung pitot (0,0085m data survei)

$v = v_{max}$ =kecepatan aliran fluida (6,168m/s)

maka :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,0085^2 \cdot 6,168 \text{ m / s} \\ &= 0,000466 \text{ m}^3 / \text{s} \\ \dot{m}_{f \text{ gas}} &= 0,000466 \text{ m}^3 / \text{s} \times \rho \\ &= 0,000466 \text{ m}^3 / \text{s} \times 1,856 \text{ kg / m}^3 \\ &= 0,000864 \text{ kg / s} \\ &= 0,000864 \text{ kg / s} \times 3600 \\ &= 3,04 \text{ kg / h} \end{aligned}$$

Maka massa laju aliran bahan bakar gas adalah :

$$\dot{m}_{f \text{ gas}} = 3,04 \text{ kg / h}$$

Kemudian setelah mengetahui hasil laju aliran bahan bakar (\dot{m}_f) dari masing-masing bahan bakar, maka total laju aliran bahan bakar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{f \text{ total}} &= \dot{m}_{f \text{ Solar}} + \dot{m}_{f \text{ Gas}} \\ &= 0,2717 \text{ kg / h} + 3,04 \text{ kg / h} \\ &= 3,3117 \text{ kg / h}\end{aligned}$$

Maka SFC dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}SFC &= \frac{\dot{m}_{f \text{ total}}}{P_b} \\ &= \frac{3,3117 \text{ kg / h}}{1,6 \text{ kW}} \\ &= 2.069 \text{ kg / kW .h}\end{aligned}$$

b. Pada putaran 1300 rpm

Dimana :

ρ = specific gravity (842,5 kg/m³ *Data survei*)

V = Volume bahan bakar yang diuji (0,502 ml *Data survei*)

t = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak

volume uji (5,1 detik *Tabel data hasil pengujian*)

Maka :

$$\begin{aligned}
 \dot{V} &= \frac{0,502 \text{ ml}}{5,1 \text{ s}} \\
 &= 0,0984 \text{ ml / s} \\
 &= 0,0984 \text{ ml / s} \times 3600 \\
 &= 354,24 \text{ ml / h} \\
 &= 0,3542 \text{ l / h} \\
 &= 0,0003542 \text{ m}^3 / \text{h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_{f \text{ solar}} &= \dot{V} \times \rho \\
 &= 0,2984 \text{ kg / h}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui laju aliran bahan bakar (m_f) terhadap gas LPG, terlebih dahulu menghitung debit aliran Gas LPG (Q) dan berdasarkan penurunan persamaan 2.7 maka dapat diasumsikan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3} \pi r_0^2 v_{mas}$$

Dimana :

$$r_0 = \text{jari-jari tabung pitot (0,0085 m}^2 \text{ data survei)}$$

$$v = v_{max} = \text{kecepatan aliran fluida (6,337 m/s)}$$

maka :

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,0085 \text{ m}^2 \cdot 6,337 \text{ m / s} \\
 &= 0,000479 \text{ m}^3 / \text{s} \\
 \dot{m}_{f \text{ gas}} &= 0,000479 \text{ m}^3 / \text{s} \times \rho \\
 &= 0,000479 \text{ m}^3 / \text{s} \times 1,856 \text{ kg / m}^3 \\
 &= 0,000889 \text{ kg / s} \\
 &= 0,000889 \text{ kg / s} \times 3600 \\
 &= 3,2 \text{ kg / h}
 \end{aligned}$$

Maka massa laju aliran bahan bakar gas adalah :

$$\dot{m}_{f \text{ gas}} = 3,2 \text{ kg} / \text{h}$$

Kemudian setelah mengetahui hasil laju aliran bahan bakar (m_f) dari masing-masing bahan bakar, maka total laju aliran bahan bakar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{f \text{ total}} &= \dot{m}_{f \text{ Solar}} + \dot{m}_{f \text{ Gas}} \\ &= 0,2984 \text{ kg} / \text{h} + 3,2 \text{ kg} / \text{h} \\ &= 3,4984 \text{ kg} / \text{h} \end{aligned}$$

Maka SFC dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} SFC &= \frac{\dot{m}_{f \text{ total}}}{P_B} \\ &= \frac{3,4984 \text{ kg} / \text{h}}{2,4 \text{ kW}} \\ &= 1.028 \text{ kg} / \text{kW} .\text{h} \end{aligned}$$

c. Pada putaran 1800 rpm

Dimana :

$$\rho = \text{specific gravity (842,5 kg/m}^3 \text{ Data survei)}$$

$$V = \text{Volume bahan bakar yang diuji (0,502 ml Data survei)}$$

$$t = \text{Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak volume uji (4,8 detik Tabel data hasil pengujian)}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{0,502 \text{ ml}}{4,8 \text{ s}} \\ &= 0,1045 \text{ ml} / \text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,1045 \text{ ml / s} \times 3600 \\
&= 376,2 \text{ ml / h} \\
&= 0,3762 \text{ l / h} \\
&= 0,0003762 \text{ m}^3 / \text{h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\dot{m}_{f \text{ solar}} &= \dot{V} \times \rho \\
&= 0,0003762 \text{ m}^3 / \text{h} \times 842,5 \text{ kg / m}^3 \\
&= 0,3169 \text{ kg / h}
\end{aligned}$$

Untuk mengetahui laju aliran bahan bakar (m_f) terhadap gas LPG, terlebih dahulu menghitung debit aliran Gas LPG (Q) dan berdasarkan penurunan persamaan 2.7 maka dapat diasumsikan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3} \pi r_0^2 v_{max}$$

Dimana :

$$r_0 = \text{jari-jari tabung pitot (0,0085 m data survei)}$$

$$v = v_{max} = \text{kecepatan aliran fluida (6,897 m/s)}$$

maka :

$$Q = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,0085^2 \cdot 6,897 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$= 0,000521 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\dot{m}_{f \text{ gas}} = 0,000521 \text{ m}^3 / \text{s} \times \rho$$

$$= 0,000521 \text{ m}^3 / \text{s} \times 1,856 \text{ kg / m}^3$$

$$= 0,000966 \text{ kg / s}$$

$$= 0,000966 \text{ kg / s} \times 3600$$

$$= 3,47 \text{ kg / h}$$

Maka massa laju aliran bahan bakar gas adalah :

$$\dot{m}_{f \text{ gas}} = 3,47 \text{ kg / h}$$

Kemudian setelah mengetahui hasil laju aliran bahan bakar (m_f) dari masing-masing bahan bakar, maka total laju aliran bahan bakar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{f \text{ total}} &= \dot{m}_{f \text{ Solar}} + \dot{m}_{f \text{ Gas}} \\ &= 0,3169 \text{ kg / h} + 3,47 \text{ kg / h} \\ &= 3,7869 \text{ kg / h}\end{aligned}$$

Maka SFC dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}SFC &= \frac{\dot{m}_{f \text{ total}}}{P_B} \\ &= \frac{3,7869 \text{ kg / h}}{3,8 \text{ kW}} \\ &= 0,9965 \text{ kg / kW .h}\end{aligned}$$

d. Pada putaran 2300 rpm

Dimana :

ρ = specific gravity (842,5 kg/m³ *Data survei*)

V = Volume bahan bakar yang diuji (0,502 ml *Data survei*)

t = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak

volume uji (3,1 detik *Tabel data hasil pengujian*)

Maka :

$$\begin{aligned}\dot{V} &= \frac{0,502 \text{ ml}}{3,1 \text{ s}} \\ &= 0,1619 \text{ ml / s} \\ &= 0,1619 \text{ ml / s} \times 3600 \\ &= 582,84 \text{ ml / h}\end{aligned}$$

$$= 0,58284 \text{ l / h}$$

$$= 0,00058284 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\dot{m}_{f \text{ solar}} = \dot{V} \times \rho$$

$$= 0,00058284 \text{ m}^3 / \text{h} \times 842,5 \text{ kg / m}^3$$

$$= 0,4910 \text{ kg / h}$$

Untuk mengetahui laju aliran bahan bakar (m_f) terhadap gas LPG, terlebih dahulu menghitung debit aliran Gas LPG (Q) dan berdasarkan penurunan persamaan 2.7 maka dapat diasumsikan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3} \pi r_0^2 v_{max}$$

Dimana :

r_0 = jari-jari tabung pitot (0,0085 m data survei)

$v = v_{max}$ = kecepatan aliran fluida (7,048m/s)

maka :

$$Q = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,0085^2 \cdot 7,048 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$= 0,000532 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\dot{m}_{f \text{ gas}} = 0,000532 \text{ m}^3 / \text{s} \times \rho$$

$$= 0,000532 \text{ m}^3 / \text{s} \times 1,856 \text{ kg / m}^3$$

$$= 0,000987 \text{ kg / s}$$

$$= 0,000987 \text{ kg / s} \times 3600$$

$$= 3,55 \text{ kg / h}$$

Maka massa laju aliran bahan bakar gas adalah :

$$\dot{m}_{f \text{ gas}} = 3,55 \text{ kg / h}$$

Kemudian setelah mengetahui hasil laju aliran bahan bakar (m_f) dari masing-masing bahan bakar, maka total laju aliran bahan bakar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{f \text{ total}} &= \dot{m}_{f \text{ Solar}} + \dot{m}_{f \text{ Gas}} \\ &= 0,4910 \text{ kg / h} + 3,55 \text{ kg / h} \\ &= 4,041 \text{ kg / h} \end{aligned}$$

Maka SFC dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} SFC &= \frac{\dot{m}_{f \text{ total}}}{P_B} \\ &= \frac{4,041 \text{ kg / h}}{4,6 \text{ kW}} \\ &= 0,8784 \text{ kg / kW .h} \end{aligned}$$

4.4. Perhitungan Pada Modifikasi Sistem Injeksi + LPG Terhadap Pembebanan 3kg dengan putaran mesin 800 rpm sampai 2300 rpm.

Data survey yang diketahui :

Jarak benda ke pusat rotasi (m)	r	= 0,50 m
Specific Gravity (kg/m ³)	ρ	= 842,5 kg/m ³
Volume bahan bakar yang diuji (ml)	V	= 0,502 ml
Percepatan gravitasi (m/s ²)	g	= 9,81 m/s ²
Massa jenis zat cair didalam manometer	ρ'	= 1000 kg/m ³
Massa jenis gas (kg/m ³)	ρ	= 1,856kg/m ³

Tabel 4.3. Data Hasil Pengujian Modifikasi Sistem Injeksi + LPG

Bahan Bakar	Beban (kg)	Putaran Mesin (rpm)	Tinggi Permukaan Fluida Didalam Manometer terhadap gas LPG (mm)	Waktu Untuk Menghabiskan Bahan Bakar solar Sebanyak Volume (dtk)
-------------	------------	---------------------	---	--

Modifikasi Solar + LPG	3,41	852	6,7	7,5
Modifikasi Solar + LPG	3,32	1361	7,2	6,9
Modifikasi Solar + LPG	3,28	1858	7,8	6,4
Modifikasi Solar + LPG	3,31	2372	8,1	5,8

1. Torsi (T)

Untuk mengetahui Torsi putaran mesin dapat menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$T = F \times r$$

a. Pada putaran 800 rpm

Dimana :

$$F = \text{Gaya (3,41 kg = 33,44 N Tabel data hasil pengujian)}$$

$$r = \text{Jarak benda kepusat rotasi (0,50 m Data survei)}$$

Maka :

$$T = 33,44 \text{ N} \times 0,50 \text{ m}$$

$$= 16,72 \text{ N.m}$$

b. Pada putaran 1300 rpm

Dimana :

$$F = \text{Gaya (3,32 kg = 32,55 N Tabel data hasil pengujian)}$$

$$r = \text{Jarak benda kepusat rotasi (0,50 m Data survei)}$$

Maka :

$$T = 32,55 \text{ N} \times 0,50 \text{ m}$$

$$= 16,27 \text{ N.m}$$

c. Pada putaran 1800 rpm

Dimana :

$$F = \text{Gaya (3,28 kg = 32,16 N Tabel data hasil pengujian)}$$

$$r = \text{Jarak benda kepusat rotasi (0,50 m Data survei)}$$

Maka :

$$T = 32,16 \text{ N} \times 0,50 \text{ m}$$

$$= 16,08 \text{ N.m}$$

d. Pada putaran 2300 rpm

Dimana :

$$F = \text{Gaya (3,31 kg = 32,46 N Tabel data hasil pengujian)}$$

$$r = \text{Jarak benda kepusat rotasi (0,50 m Data survei)}$$

Maka :

$$T = 32,46 \text{ N} \times 0,50 \text{ m}$$

$$= 16,23 \text{ N.m}$$

2. Daya (P_B)

Setelah menghitung torsi maka daya dapat diketahui dengan persamaan

2.1 sebagai berikut :

$$P_B = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60000} T$$

a. Pada putaran 800 rpm

Dimana :

n = putaran mesin (852 rpm *Table data hasil pengujian*)

T = torsi (16,72 N.m)

Maka :

$$\begin{aligned} P_B &= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 852}{60000} 16,72 \text{ N.m} \\ &= 1,2 \text{ kW} \end{aligned}$$

b. Pada putaran 1300 rpm

Dimana :

n = putaran mesin (1361 rpm *Table data hasil pengujian*)

T = torsi (16,27 N.m)

Maka :

$$\begin{aligned} P_B &= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1361}{60000} 16,27 \text{ N.m} \\ &= 1,8 \text{ kW} \end{aligned}$$

c. Pada putaran 1800 rpm

Dimana :

n = putaran mesin (1858 rpm *Table data hasil pengujian*)

T = torsi (16,08 N.m)

Maka :

$$P_B = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1858}{60000} 16,08 \text{ N.m}$$

$$= 3,5 \text{ kW}$$

d. Pada putaran 2300 rpm

Dimana :

n = putaran mesin (2372 rpm *Table data hasil pengujian*)

T = torsi (16,23 N.m)

Maka :

$$P_B = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2372}{60000} 16,23 \text{ N.m}$$

$$= 4 \text{ kW}$$

3. Kecepatan Aliran Massa Gas LPG Yang Masuk Kedalam Ruang Bakar

Kecepatan aliran gas yang masuk kedalam ruang bakar dapat di asumsikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$v = \sqrt{\frac{2 \rho' g h}{\rho}}$$

Dimana :

v = kecepatan aliran fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2) = (9,81 m/s^2 *data survey*)

h = tinggi permukaan fluida didalam manometer (mm)

ρ' = massa jenis zat cair didalam manometer (1000 kg/m^3 *data survey*)

ρ = massa jenis gas LPG (kg/m^3) = (1,856 kg/m^3 *data survey*)

Berdasarkan Tabel 2.2 spesifikasi bahan bakar LPG, maka massa jenis gas LPG dapat dihitung dengan asumsi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\rho_{LPG} &= (2 \times 0,7) + (1,52 \times 0,3) \\ &= 1,4 + 0,456 \\ &= 1,856 \text{ kg / m}^3\end{aligned}$$

a. Pada putaran 800 rpm

Dimana :

h = tinggi permukaan fluida didalam manometer (6,7mm *Tabel data hasil pengujian*)

maka :

$$\begin{aligned}v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3 \cdot 9,81 \text{ m / s}^2 \cdot 6,7 \text{ mm} \cdot 10^{-3}}{1,856 \text{ kg / m}^3}} \\ &= \sqrt{70,82} \\ &= 8,415 \text{ m/s}\end{aligned}$$

b. Pada putaran 1300 rpm

Dimana :

h = tinggi permukaan fluida didalam manometer (7,2mm *Tabel data hasil pengujian*)

maka :

$$\begin{aligned}v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3 \cdot 9,81 \text{ m / s}^2 \cdot 7,2 \text{ mm} \cdot 10^{-3}}{1,856 \text{ kg / m}^3}} \\ &= \sqrt{76,11} \\ &= 8,724 \text{ m/s}\end{aligned}$$

c. Pada putaran 1800 rpm

Dimana :

h = tinggi permukaan fluida didalam manometer (7,8mm *Tabel data hasil pengujian*)

maka :

$$\begin{aligned}v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3 \cdot 9,81 \text{ m / s}^2 \cdot 7,8 \text{ mm} \cdot 10^{-3}}{1,856 \text{ kg / m}^3}} \\&= \sqrt{82,45} \\&= 9,080 \text{ m/s}\end{aligned}$$

d. Pada putaran 2300 rpm

Dimana :

h = tinggi permukaan fluida didalam manometer (8,1mm *Tabel data hasil pengujian*)

maka :

$$\begin{aligned}v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3 \cdot 9,81 \text{ m / s}^2 \cdot 8,1 \text{ mm} \cdot 10^{-3}}{1,856 \text{ kg / m}^3}} \\&= \sqrt{85,62} \\&= 9,253 \text{ m/s}\end{aligned}$$

4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Specific Fuel Consumption*)

Setelah menghitung daya maka SFC (*Specific Fuel Consumption*) dapat diketahui dengan persamaan 2.3 sebagai berikut :

$$Sfc = \frac{\dot{m}_f}{P_B}$$

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (\dot{m}_f) dihitung dengan persamaan 2.4 berikut :

$$\dot{m}_f = \dot{V} \times \rho$$

$$\dot{V} = \frac{V}{t}$$

a. Pada putaran 800 rpm

Dimana :

ρ = specific gravity (842,5 kg/m³ *Data survei*)

V = Volume bahan bakar yang diuji (0,502 ml *Data survei*)

t = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak
volume uji (7,5 detik *Tabel data hasil pengujian*)

Maka :

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{0,502 \text{ ml}}{7,5 \text{ s}} \\ &= 0,0669 \text{ ml / s} \\ &= 0,0669 \text{ ml / s} \times 3600 \\ &= 240,84 \text{ ml / h} \\ &= 0,24084 \text{ l / h} \\ &= 0,00024084 \text{ m}^3 / \text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{f \text{ solar}} &= \dot{V} \times \rho \\ &= 0,00024084 \text{ m}^3 / \text{h} \times 842,5 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ &= 0,2029 \text{ kg} / \text{h}\end{aligned}$$

Untuk mengetahui laju aliran bahan bakar (m_f) terhadap gas LPG, terlebih dahulu menghitung debit aliran Gas LPG (Q) dan berdasarkan penurunan persamaan 2.7 maka dapat diasumsikan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3} \pi r_0^2 v_{max}$$

Dimana :

$$r_0 = \text{jari-jari tabung pitot (0,0085 m data survei)}$$

$$v = v_{max} = \text{kecepatan aliran fluida (8,415 m/s)}$$

maka :

$$\begin{aligned}Q &= \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,0085^2 \cdot 8,415 \text{ m} / \text{s} \\ &= 0,000636 \text{ m}^3 / \text{s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{f \text{ gas}} &= 0,000636 \text{ m}^3 / \text{s} \times \rho \\ &= 0,000636 \text{ m}^3 / \text{s} \times 1,856 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ &= 0,001180 \text{ kg} / \text{s} \\ &= 0,001180 \text{ kg} / \text{s} \times 3600 \\ &= 3,04 \text{ kg} / \text{h}\end{aligned}$$

Maka massa laju aliran bahan bakar gas adalah :

$$\dot{m}_{f \text{ gas}} = 4,24 \text{ kg} / \text{h}$$

Kemudian setelah mengetahui hasil laju aliran bahan bakar (m_f) dari masing-masing bahan bakar, maka total laju aliran bahan bakar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\dot{m}_{f \text{ total}} = \dot{m}_{f \text{ Solar}} + \dot{m}_{f \text{ Gas}}$$

$$= 0,2029 \text{ kg / h} + 4,24 \text{ kg / h}$$

$$= 4,4429 \text{ kg / h}$$

Maka SFC dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$SFC = \frac{\dot{m}_{f \text{ total}}}{P_B}$$

$$= \frac{4,4429 \text{ kg / h}}{1,2 \text{ kW}}$$

$$= 3,7024 \text{ kg / kW .h}$$

b. Pada putaran 1300 rpm

Dimana :

ρ = specific gravity (842,5 kg/m³ *Data survei*)

V = Volume bahan bakar yang diuji (0,502 ml *Data survei*)

t = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak
volume uji (6,9 detik *Tabel data hasil pengujian*)

Maka :

$$\dot{V} = \frac{0,502 \text{ ml}}{6,9 \text{ s}}$$

$$= 0,0727 \text{ ml / s}$$

$$= 0,0727 \text{ ml / s} \times 3600$$

$$= 261,72 \text{ ml / h}$$

$$= 0,26172 \text{ l / h}$$

$$= 0,00026172 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\dot{m}_{f \text{ solar}} = \dot{V} \times \rho$$

$$= 0,00026172 \text{ m}^3 / \text{h} \times 842,5 \text{ kg / m}^3$$

$$= 0,2204 \text{ kg / h}$$

Untuk mengetahui laju aliran bahan bakar (m_f) terhadap gas LPG, terlebih dahulu menghitung debit aliran Gas LPG (Q) dan berdasarkan penurunan persamaan 2.7 maka dapat diasumsikan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3} \pi r_0^2 v_{max}$$

Dimana :

r_0 = jari-jari tabung pitot (0,0085 m data survei)

$v = v_{max}$ = kecepatan aliran fluida (8,724m/s)

maka :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,0085^2 \cdot 8,724 \text{ m}^3 / \text{s} \\ &= 0,000659 \text{ m}^3 / \text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{f \text{ gas}} &= 0,000659 \text{ m}^3 / \text{s} \times \rho \\ &= 0,000659 \text{ m}^3 / \text{s} \times 1,856 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ &= 0,001223 \text{ kg} / \text{s} \\ &= 0,001223 \text{ kg} / \text{s} \times 3600 \\ &= 4,40 \text{ kg} / \text{h} \end{aligned}$$

Maka massa laju aliran bahan bakar gas adalah :

$$\dot{m}_{f \text{ gas}} = 4,40 \text{ kg} / \text{h}$$

Kemudian setelah mengetahui hasil laju aliran bahan bakar (m_f) dari masing-masing bahan bakar, maka total laju aliran bahan bakar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{f \text{ total}} &= \dot{m}_{f \text{ Solar}} + \dot{m}_{f \text{ Gas}} \\ &= 0,2204 \text{ kg} / \text{h} + 4,40 \text{ kg} / \text{h} \\ &= 4,6204 \text{ kg} / \text{h} \end{aligned}$$

Maka SFC dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SFC &= \frac{\dot{m}_{f \text{ total}}}{P_B} \\
 &= \frac{4,6204 \text{ kg / h}}{1,8 \text{ kW}} \\
 &= 2.5668 \text{ kg / kW .h}
 \end{aligned}$$

c. Pada putaran 1800 rpm

Dimana :

ρ = specific gravity (842,5 kg/m³ *Data survei*)

V = Volume bahan bakar yang diuji (0,502 ml *Data survei*)

t = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak

volume uji (6,4 detik *Tabel data hasil pengujian*)

Maka :

$$\begin{aligned}
 \dot{V} &= \frac{0,502 \text{ ml}}{6,4 \text{ s}} \\
 &= 0,0784 \text{ ml / s} \\
 &= 0,0784 \text{ ml / s} \times 3600 \\
 &= 282,24 \text{ ml / h} \\
 &= 0,28224 \text{ l / h} \\
 &= 0,00028224 \text{ m}^3 / \text{h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_{f \text{ solar}} &= \dot{V} \times \rho \\
 &= 0,00028224 \text{ m}^3 / \text{h} \times 842,5 \text{ kg / m}^3 \\
 &= 0,2377 \text{ kg / h}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui laju aliran bahan bakar (m_f) terhadap gas LPG, terlebih dahulu menghitung debit aliran Gas LPG (Q) dan berdasarkan penurunan persamaan 2.7 maka dapat diasumsikan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3} \pi r_0^2 v_{max}$$

Dimana :

r_0 = jari-jari tabung pitot (0,0085 m data survei)

$v = v_{max}$ = kecepatan aliran fluida (9,080m/s)

maka :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,0085^2 \cdot 9,080 \text{ m}^3 / \text{s} \\ &= 0,000686 \text{ m}^3 / \text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{f \text{ gas}} &= 0,000686 \text{ m}^3 / \text{s} \times \rho \\ &= 0,000686 \text{ m}^3 / \text{s} \times 1,856 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ &= 0,001273 \text{ kg} / \text{s} \\ &= 0,001273 \text{ kg} / \text{s} \times 3600 \\ &= 4,58 \text{ kg} / \text{h} \end{aligned}$$

Maka massa laju aliran bahan bakar gas adalah :

$$\dot{m}_{f \text{ gas}} = 4,58 \text{ kg} / \text{h}$$

Kemudian setelah mengetahui hasil laju aliran bahan bakar (m_f) dari masing-masing bahan bakar, maka total laju aliran bahan bakar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{f \text{ total}} &= \dot{m}_{f \text{ Solar}} + \dot{m}_{f \text{ Gas}} \\ &= 0,2377 \text{ kg} / \text{h} + 4,58 \text{ kg} / \text{h} \\ &= 4,8177 \text{ kg} / \text{h} \end{aligned}$$

Maka SFC dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SFC &= \frac{\dot{m}_{f \text{ total}}}{P_B} \\
 &= \frac{4,8177 \text{ kg / h}}{3,5 \text{ kW}} \\
 &= 1,3764 \text{ kg / kW .h}
 \end{aligned}$$

d. Pada putaran 2300 rpm

Dimana :

ρ = specific gravity (842,5 kg/m³ *Data survei*)

V = Volume bahan bakar yang diuji (0,502 ml *Data survei*)

t = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak

volume uji (5,8 detik *Tabel data hasil pengujian*)

Maka :

$$\begin{aligned}
 \dot{V} &= \frac{0,502 \text{ ml}}{5,8 \text{ s}} \\
 &= 0,0865 \text{ ml / s} \\
 &= 0,0865 \text{ ml / s} \times 3600 \\
 &= 311,58 \text{ ml / h} \\
 &= 0,31158 \text{ l / h} \\
 &= 0,00031158 \text{ m}^3 / \text{h} \\
 \dot{m}_{f \text{ solar}} &= \dot{V} \times \rho \\
 &= 0,00031158 \text{ m}^3 / \text{h} \times 842,5 \text{ kg / m}^3 \\
 &= 0,2625 \text{ kg / h}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui laju aliran bahan bakar (m_f) terhadap gas LPG, terlebih dahulu menghitung debit aliran Gas LPG (Q) dan berdasarkan penurunan persamaan 2.7 maka dapat diasumsikan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3} \pi r_0^2 v_{max}$$

Dimana :

$$r_0 = \text{jari-jari tabung pitot (0,0085 m data survei)}$$

$$v = v_{max} = \text{kecepatan aliran fluida (9,253 m/s)}$$

maka :

$$Q = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,0085^2 \cdot 9,253 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$= 0,000699 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\dot{m}_{f \text{ gas}} = 0,000699 \text{ m}^3 / \text{s} \times \rho$$

$$= 0,000699 \text{ m}^3 / \text{s} \times 1,856 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$= 0,001298 \text{ kg} / \text{s}$$

$$= 0,001298 \text{ kg} / \text{s} \times 3600$$

$$= 4,67 \text{ kg} / \text{h}$$

Maka massa laju aliran bahan bakar gas adalah :

$$\dot{m}_{f \text{ gas}} = 4,67 \text{ kg} / \text{h}$$

Kemudian setelah mengetahui hasil laju aliran bahan bakar (m_f) dari masing-masing bahan bakar, maka total laju aliran bahan bakar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\dot{m}_{f \text{ total}} = \dot{m}_{f \text{ Solar}} + \dot{m}_{f \text{ Gas}}$$

$$= 0,2625 \text{ kg} / \text{h} + 4,67 \text{ kg} / \text{h}$$

$$= 4,9325 \text{ kg} / \text{h}$$

Maka SFC dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SFC &= \frac{\dot{m}_{f \text{ total}}}{P_B} \\
 &= \frac{4,9325 \text{ kg / h}}{4 \text{ kW}} \\
 &= 1,233 \text{ kg / kW .h}
 \end{aligned}$$

4.5. Pembahasan

4.5.1. Putaran Mesin Terhadap Torsi

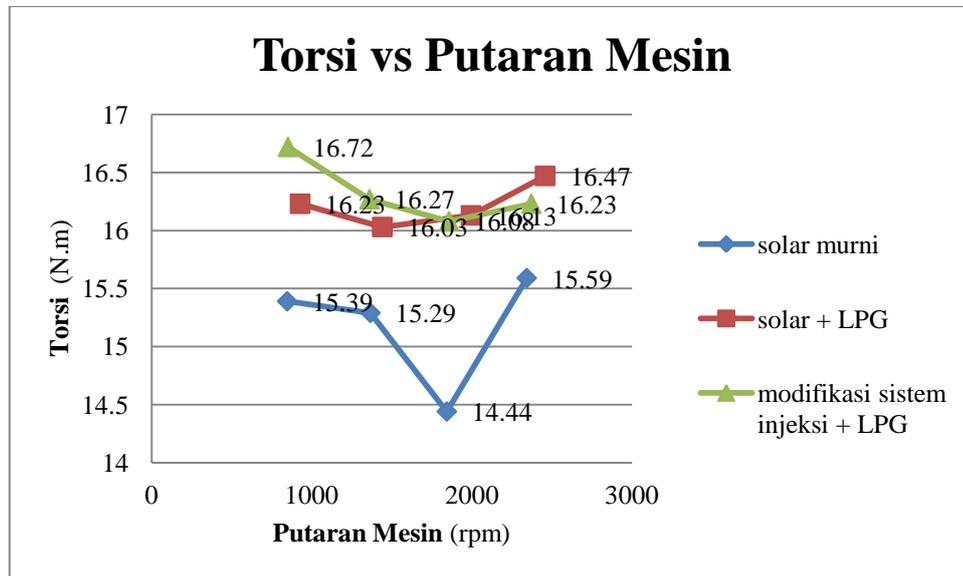
Data hasil Putaran Mesin terhadap Torsi menggunakan bahan bakar Solar Murni, Solar + LPG, dan Modifikasi Solar + LPG dengan beban pengereman 3 kg dapat dilihat pada Tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.4. Data Hasil Putaran Mesin Terhadap Torsi

Bahan Bakar	Putaran Mesin (rpm)	Torsi (N.m)
Solar Murni	847	15,39
	1367	15,29
	1844	14,44
	2343	15,59
Solar + LPG	928	16,23
	1441	16,03
	1996	16,13
	2458	16,47
Modifikasi Sistem Injeksi + LPG	852	16,72
	1361	16,27
	1858	16,08
	2372	16,23

Torsi dapat dilihat pada Gambar 4.1 dimana putaran mesin 852 rpm pada percobaan Modifikasi Sistem Injeksi + LPG meningkat, ini disebabkan oleh tingginya konsumsi LPG pada putaran rendah sehingga mengakibatkan beban pengereman mengalami kenaikan, sedangkan Torsi pada putaran mesin 1844 rpm

percobaan Solar Murni menurun, ini disebabkan karena putaran poros tidak stabil sehingga mengakibatkan beban pengereman mengalami penurunan.



Gambar 4.1. Grafik Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Torsi

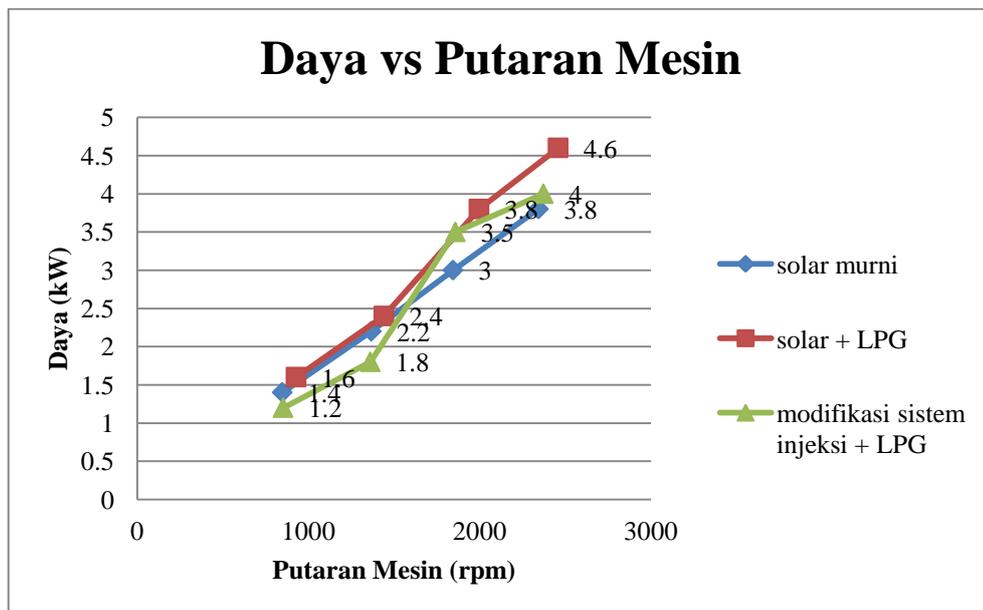
4.5.2. Putaran Mesin Terhadap Daya

Data hasil Putaran Mesin terhadap Daya menggunakan bahan bakar Solar Murni, Solar + LPG, dan Modifikasi Solar + LPG dengan beban pengereman 3 kg dapat dilihat pada Tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 4.5. Data Hasil Putaran Mesin terhadap Daya

Bahan Bakar	Putaran Mesin (rpm)	Daya (kW)
Solar Murni	847	1,4
	1367	2,2
	1844	3
	2343	3,8
Solar + LPG	928	1,6
	1441	2,4
	1996	3,8
	2458	4,6
Modifikasi Sistem Injeksi + LPG	852	1,2
	1361	1,8
	1858	3,5
	2372	4

Dari hasil eksperimen diperoleh jika putaran mesin semakin meningkat maka daya yang dihasilkan semakin naik, ini disebabkan karena masuknya bahan bakar gas pada kondisi paking standart pada percobaan Solar + LPG yang menyebabkan meningkatnya putaran dibandingkan dengan percobaan Solar Murni dan Modifikasi Solar + LPG. Begitu juga pada percobaan Modifikasi Sistem Injeksi + LPG, terlihat daya yang dihasilkan lebih tinggi daripada percobaan dengan bahan bakar Solar Murni dan lebih rendah daripada percobaan dengan bahan bakar Solar + LPG. Ini disebabkan karena dimulainya modifikasi sistem injeksi dengan menambahkan paking setebal 2 mm sehingga sedikit mengurangi konsumsi solar yang mengakibatkan putaran mesin menurun dibandingkan pada percobaan dengan bahan bakar Solar + LPG.



Gambar 4.2. Grafik Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Daya

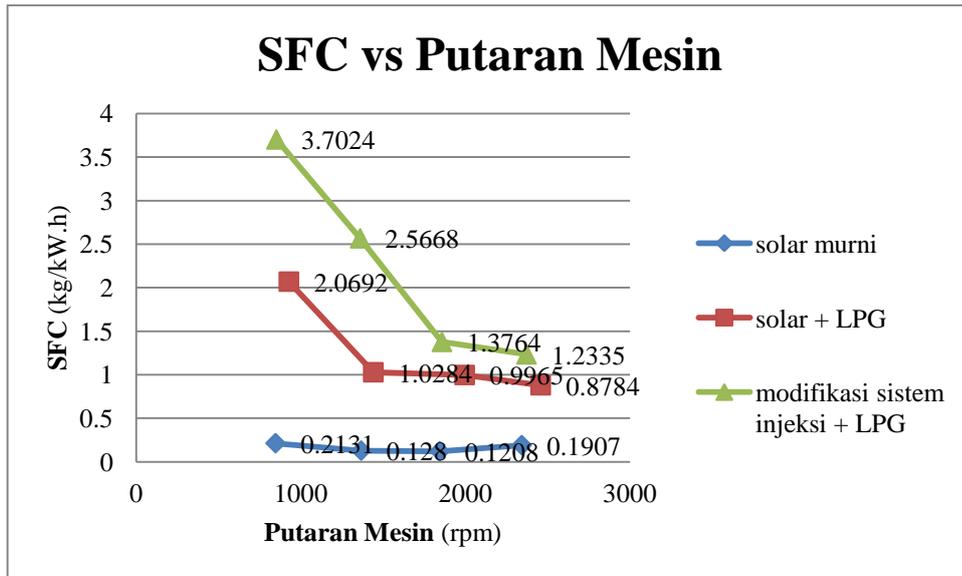
4.5.3. Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Data hasil Putaran terhadap Mesin Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) menggunakan bahan bakar Solar Murni, Solar + LPG, dan Modifikasi Solar + LPG dengan beban pengereman 3 kg dapat dilihat pada Tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6. Data Hasil Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Bahan Bakar	Putaran Mesin (rpm)	SFC (kg/kW.h)
Solar Murni	847	0,2131
	1367	0,1280
	1844	0,1208
	2343	0,1907
Solar + LPG	928	2,0692
	1441	1,0284
	1996	0,9965
	2458	0,8784
Modifikasi Sistem Injeksi + LPG	852	3,7024
	1361	2,5668
	1858	1,3764
	2372	1,2335

Pada Gambar 4. 3 dapat dilihat grafik perbandingan antara konsumsi bahan bakar spesifik terhadap putaran mesin mengalami peningkatan pada putaran rendah dengan percobaan Modifikasi Sistem Injeksi + LPG, hal ini dikarenakan konsumsi bahan bakar LPG yang Meningkat dibandingkan dengan percobaan Solar + LPG. Namun efisiensi konsumsi bahan bakar terlihat karena dipengaruhi oleh modifikasi sistem injeksi dengan menambah paking setebal 2 mm sehingga konsumsi solar sedikit menurun, dan terlihat pula daya yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan menggunakan bahan bakar Solar Murni.



Gambar 4.3. Grafik Pengaruh Putaran Terhadap *SFC*

BAB 5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat di ambil pada penelitian ini adalah :

- a. Pada bahan bakar solar murni dan solar + LPG debit aliran massa bahan bakar solar terlihat stabil, maka sebaliknya pada bahan bakar Modifikasi Sistem Injeksi + LPG debit aliran massa bahan bakar solar terlihat menurun. Hal ini menyatakan bahwa modifikasi yang dilakukan terhadap penambahan paking setebal 2 mm mampu sedikit mengurangi bahan bakar solar.
- b. Pada percobaan solar + LPG daya yang dihasilkan semakin meningkat dengan adanya penambahan bahan bakar LPG.
- c. Pada hasil dari perhitungan dilihat pada percobaan Solar + LPG dan Modifikasi Sistem Injeksi + LPG. Nilai Torsi, Daya dan konsumsi bahan bakar spesifik (*SFC*) lebih besar dari pada yang terlihat pada perhitungan percobaan Solar Murni.
- d. Kemudian pada kondisi bahan bakar Solar + LPG efisiensi penggunaan bahan bakar menurun sebaliknya pada kondisi Modifikasi Sistem Injeksi + LPG efisiensi penggunaan bahan bakar terlihat meningkat.
- e. Jadi dilihat dari hasil eksperimen bahwa pada percobaan Modifikasi Sistem Injeksi + LPG terlihat lebih efektif atau lebih bagus karena efisiensi penggunaan bahan bakar meningkat dan menghasilkan daya maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan Solar Murni.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian ini yaitu :

1. Agar melengkapi alat-alat ukur yang ada pada instalasi pengujian variasi bahan bakar. Sehingga mendapat data yang lebih akurat. Seperti pengukuran konsumsi bahan bakar solar dengan menggunakan selang transparan dan pengukuran kecepatan aliran fluida terhadap gas LPG yang awalnya menggunakan tabung pitot dan manometer U di ganti dengan sensor pengukur kecepatan aliran fluida terhadap gas LPG.

DAFTAR PUSTAKA

- Aris Munandar, Wiranto. 2005. Penggerak Mula Motor Bakar Torak. Penerbit ITB : Bandung.
- Ir. Philip Kristanto. 2015. Motor Bakar Torak-Teori dan Aplikasinya. Penerbit CV. Andi Offset : Yogyakarta.
- Albert Marganda Rumahorbo , Mulfi Hazwi, (2014). “Analisa Eksperimental Performansi Mesin Diesel Menggunakan Bahan Campuran Biofuel Vitamine Engine Power Booster”, Tugas Akhir, Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara.
- Imam Murdianto, (2016), ” Perbedaan Performa (Daya, Torsi ,Konsumsi Bahan Bakar) Menggunakan Injektor Standart Dan Injektor Racing Dengan Bahan Bakar Pertamina Dan Pertamina Plus Pada Sepeda Motor V-XION”, Tugas Sarjana, Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang.
- Wiliandi Saputro, (2016). “Desain Sistem Penggunaan Kombinasi Bahan Bakar (Solar - LPG) dan Pengukuran Kinerjanya Untuk Motor Bakar Diesel”, Tugas Akhir, Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- <https://www.google.co.id/amp/s/dokumen/.tips/amp/documents/tabung-pitot-dan-flowmeter.html>. (diakses 03-6-2018).
- <http://pieceblg.blogspot.com/2010/12/massa-jenis-dan-berat-jenis.html>. (diakses 14-7-2018).
- <http://www.prosesindustri.com/2015/02/defenisi-bahan-bakar-diesel-solar.html>. (diakses 21-10-2018).
- http://www.bppp.tegal.com/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=226:sistem-bahan-bakar-motor-diesel&catid=44:artikel&Itemid=85. (diakses 11-9-2017).

LAMPIRAN

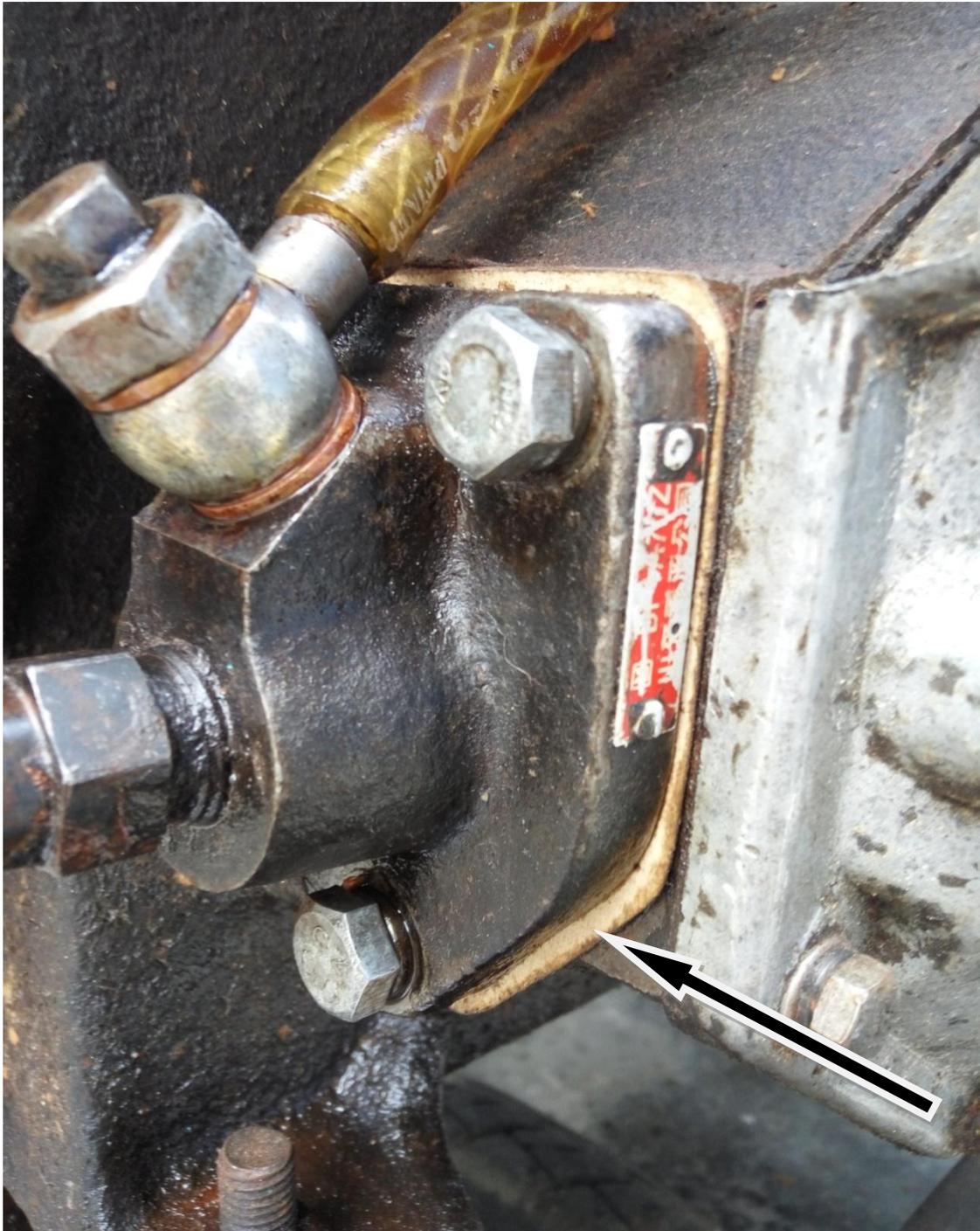
1. Gambar Rangkaian Motor Diesel Dengan Bahan Bakar Ganda



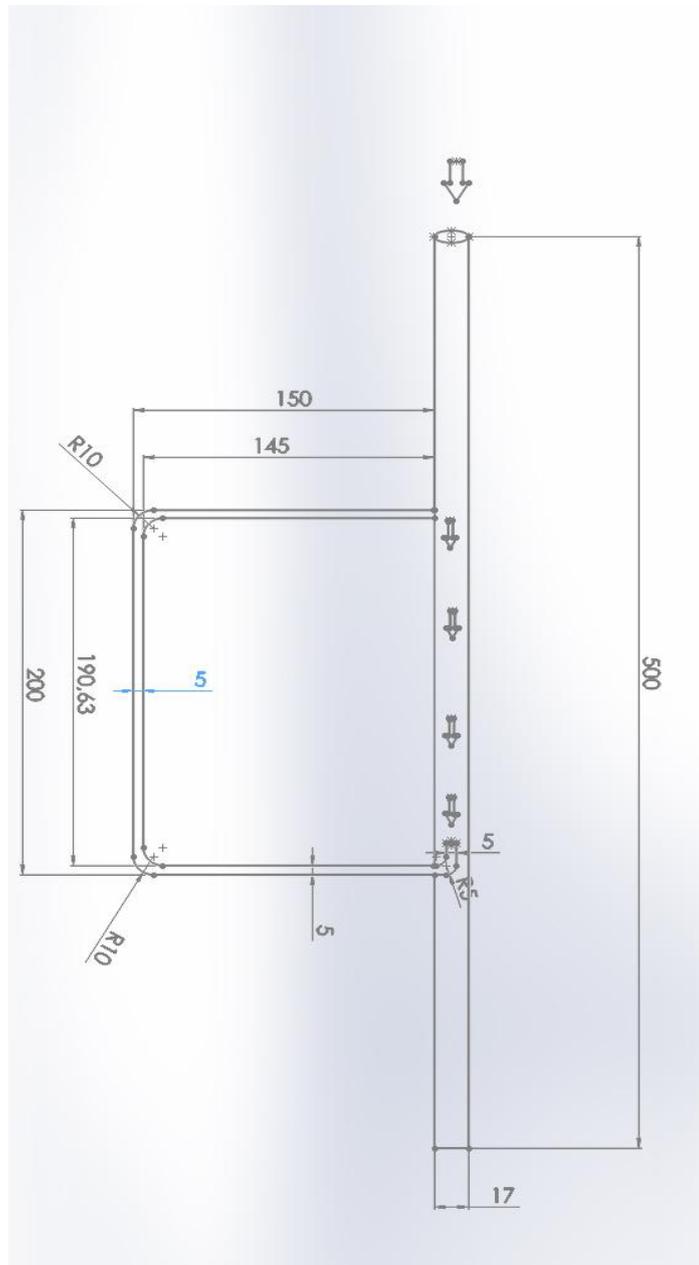
2. Pompa Injeksi Bahan Bakar Kondisi Standart.



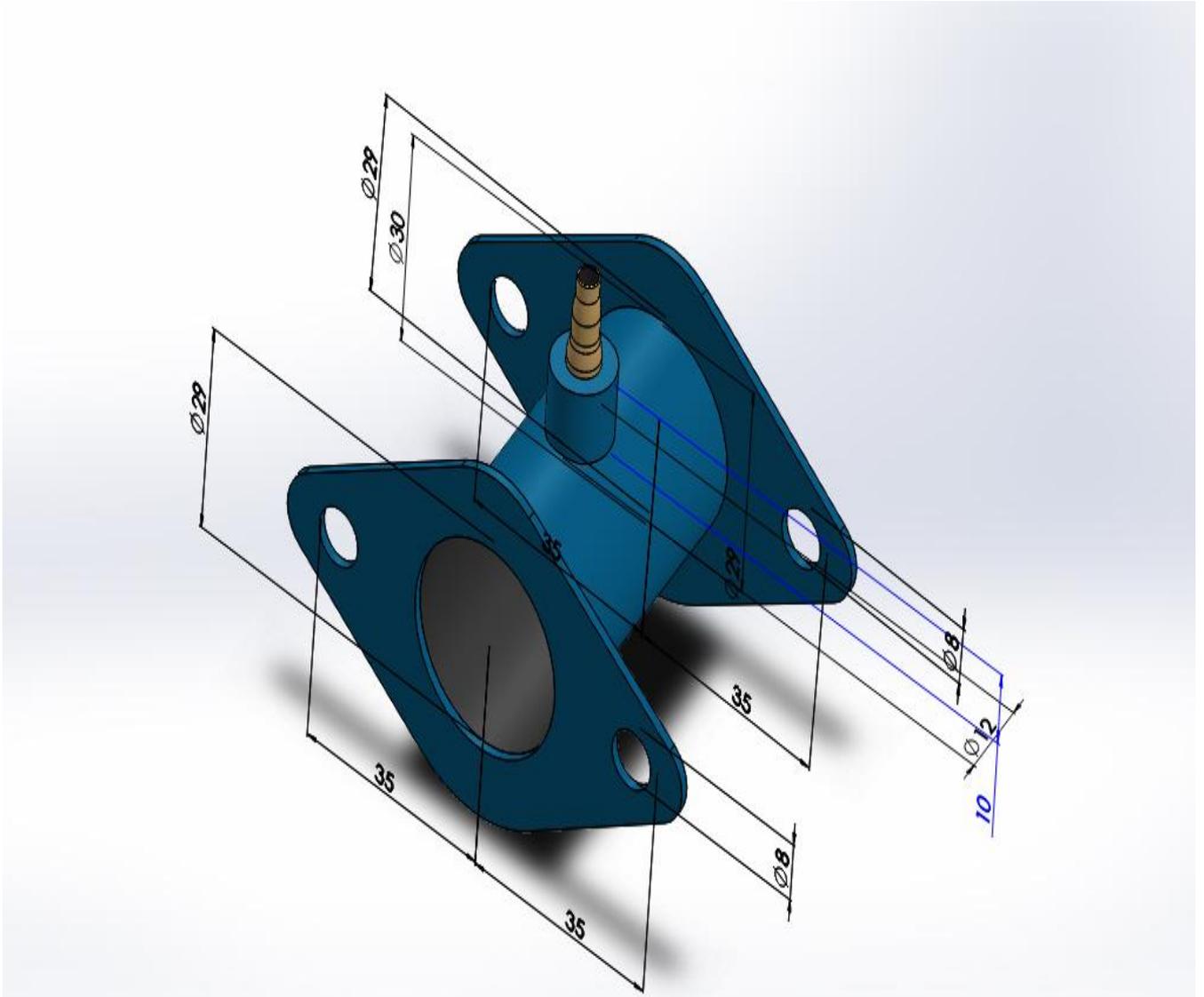
3. Pompa Injeksi Bahan Bakar Kondisi Modifikasi (penambahan paking)



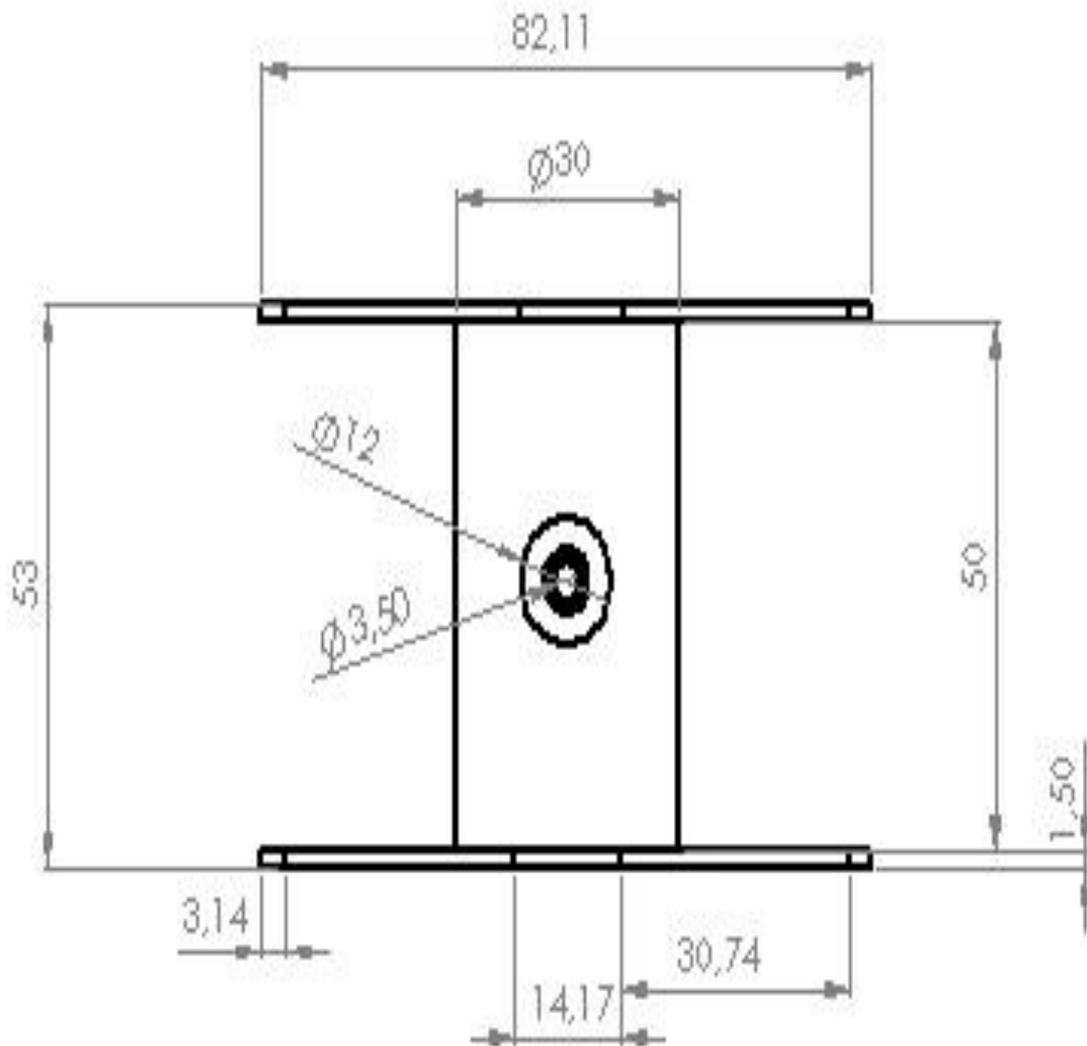
4. Dimesnsi Tabung Pitot



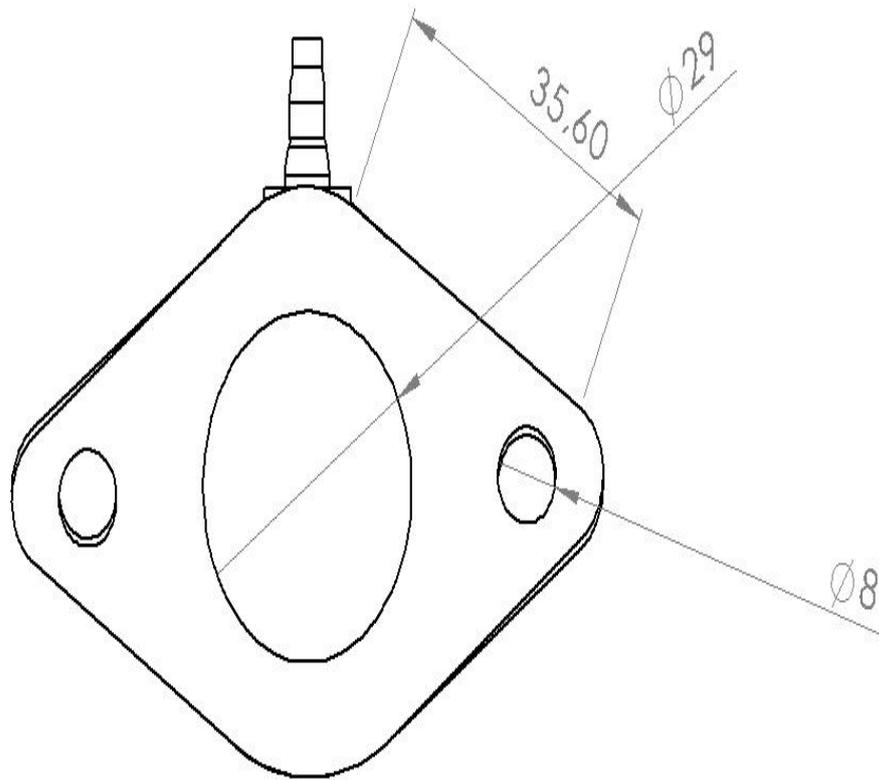
5. Dimensi Leher Mixer Intake Manifold



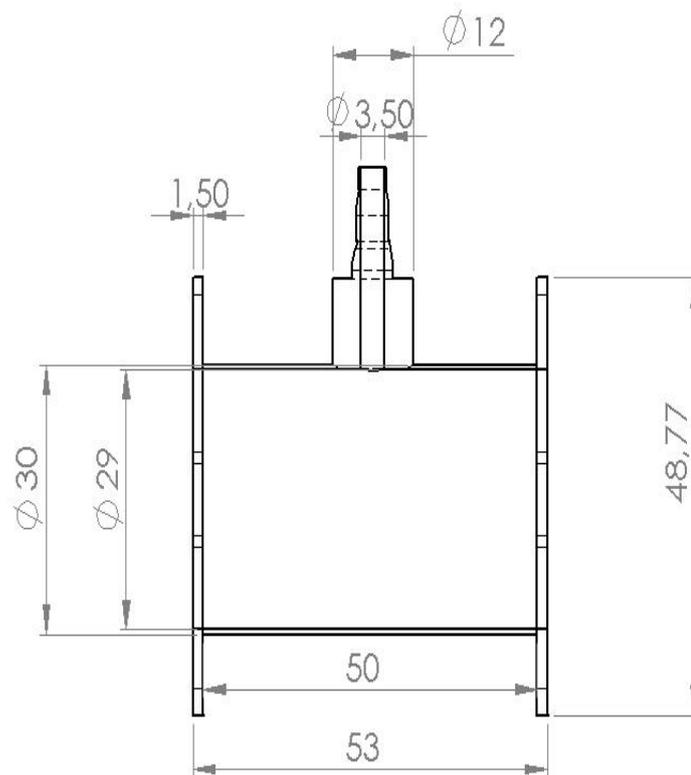
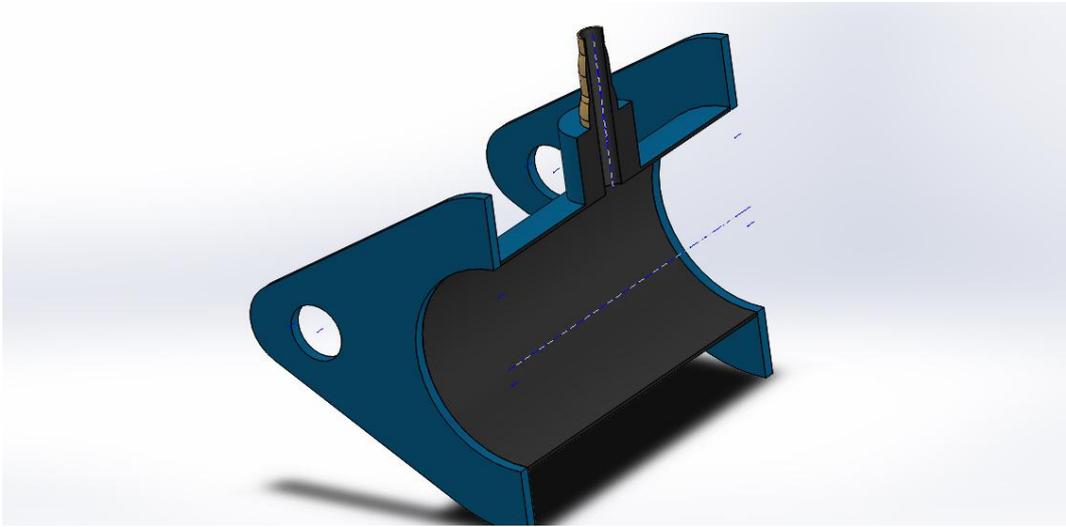
6. Dimensi Leher Mixer Intake Manifold Tampak Atas



7. Dimensi Leher Mixer Intake Manifold Tampak Depan



8. Dimensi Leher Mixer Intake Manifold Tampak Potongan Vertikal



DAFTAR RIWAYAT HDUP



DATA PRIBADI

Nama : Alpin Lazuardi
NPM : 1307230131
Tempat / Tanggal Lahir : Tangerang, 13 September 1995
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Alamat : Komp. Griya Bestari Permai Jl. Marelan I Pasar 4
Barat, Kel. Terjun Kec. Medan-Marelan
Nomor HP : 085372241184
Email : lazuardialpin@yahoo.com
Nama Orang Tua
Ayah : Usman M. Ishak
Ibu : Ainun Mardiah

PENDIDIKAN FORMAL

2000-2007 : SD NEGERI PARAPAT TANGERANG
2007-2010 : SMP SWASTA DHARMA SISWA TANGERANG
2010-2013 : SMK SWASTA SINAR HUSNI HELVETIA MEDAN
2013-2018 : Mengikuti Pendidikan S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas
Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara