



SKRIPSI - 141501

**Analisa Pengaruh Variasi *Injection Timing* Terhadap
Performa dan Emisi Gas Buang pada Mesin Diesel**

**Surya Rachmat Karama Jaya
4214105016**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Agung Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



FINAL PROJECT - 141501

Analysis The Effect of Injection Timing Variation on Diesel Engine's Performance And Exhaust Emission

**Surya Rachmat Karama Jaya
4214105016**

**Academic Supervisor:
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**MARINE ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Pengaruh Variasi Injection Timing Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang pada Mesin Diesel

Skripsi

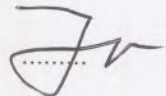
Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

Surya Rachmat Karama Jaya
4214105016

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi :

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D
NIP: 1956 0519 1986 10 1001



Surabaya
Juli, 2016

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Pengaruh Variasi Injection Timing Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang pada Mesin Diesel

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Surya Rachmat Karama Jaya
4214105016

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, ST. MT
NIP: 1977 0802 2008 01 1007

Surabaya
Juli, 2016
vii

Analisa Pengaruh Variasi Injection Timing Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang pada Mesin Diesel

Nama Mahasiswa : Surya Rachmat Karama Jaya
NRP : 4214 105 016
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah
M.Eng, Ph.D

Abstrak

Mesin diesel merupakan sistem penggerak utama yang dikenal sebagai jenis mesin bakar yang mempunyai tingkat efisiensi tinggi, namun masalah yang sering dihadapi pada pengoperasian mesin diesel adalah tingginya emisi NO_x dan partikel asap yang dikeluarkan dari mesin diesel. Pada penelitian ini akan dibuat analisa performa dan emisi gas buang mengenai pengaruh waktu penyalaaan pembakaran dengan memvariasikan nilai sudut timing injeksi pada mesin diesel. Selain itu tujuan dari penelitian ini untuk memenuhi regulasi yang ditetapkan oleh standart IMO (*International Maritime Organization*). Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode eksperimen. Hasil analisa yang didapat membuktikan bahwa perubahan nilai sudut injeksi timing yang divariasikan sangat berpengaruh pada pengujian performa dan emisi gas buang. Mesin diesel mengalami peningkatan prestasi kerja yang signifikan setelah menggunakan timing injeksi pada sudut 14° CA BTDC (*Retarded*) dengan nilai daya maksimum, torsi maksimum dan BMEP maksimum mesin diesel mengalami peningkatan sebesar 19%, untuk nilai dari efisiensi thermalnya juga mengalami peningkatan sebesar 4% sedangkan nilai SFOC lebih rendah sebesar 3%. Sedangkan kadar emisi gas buang yang dihasilkan sebagian besar memenuhi syarat dari standar regulasi yang telah ditetapkan.

Kata kunci: Timing injeksi, diesel, performa, emisi gas buang

Analysis The Effect of Injection Timing Variation on Diesel Engine's Performance And Exhaust Emission

Student Name : Surya Rachmat Karama Jaya
NRP : 4214 105 016
Departement : Marine Engineering
Academic Supervisor : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah
M.Eng, Ph.D

Abstract

The diesel engine is a primary mover system which known as a combustion engine's type with high efficiency level, but the problem often encountered in the diesel engine's operation is the high level of emissions NOx and exhaust gas emission. This research will analyze the effect of combustion ignition timing with varying the diesel engine's injection timing angle on performance and exhaust gas emission, as well as IMO (International Maritime Organization) standart fulfillment. This research is using experimental method. Analysis results showed that the variation of injection timing angle affect the performance and exhaust emissions. Diesel engines's performance increased significantly at 14° CA BTDC (Retarded) with maximum power, maximum torque and maximum BMEP, diesel engines's performance increased by 19%, thermal efficiency also increased by 4%, while SFOC lower by 3%. Exhaust emissions's content mostly qualify the regulatory standart that have been set.

Keyword: Injection timing, diesel, performance, Exhaust emission

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah S.W.T berkat limpahan rahmat, hidayah dan bimbingan-Nya sehingga skripsi dengan judul **“Analisa Pengaruh Variasi Injection Timing Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang pada Mesin Diesel”** dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam atas junjungan nabi besar Muhammad SAW yang diharapkan syafaatnya hingga diakhir kiamat.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan doa berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Ir. Agung Zuhdi M.F., M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan semangat, arahan, masukan, dan ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Nur selaku teknisi Laboratorium Marine Power Plant yang telah membantu penulis dalam persiapan pra eksperimen hingga eksperimen selesai.
3. Keluargaku tercinta selaku ayah, ibu dan adik dari penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayangnya, masukan serta dukungan baik moral maupun material kepada penulis.
4. Melisa Purnamasari Ayuningrat S.Gz, M.B.A yang selalu memberikan dorongan, semangat, motivasi, serta doanya dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Kawan seperjuangan dan seangkatan lintas jalur dari Politeknik Perpakalan Surabaya yang selalu mendukung hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan baik dan lancar.
6. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari pula bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu perlunya saran dan masukan demi membangun kebaikan dan kemajuan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya, amin.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	v
Abstrak.....	ix
Kata Pengantar.....	xiii
Daftar Isi.....	xv
Daftar Gambar.....	xvii
Daftar Grafik.....	xix
Daftar Tabel.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Permasalahan.....	2
1.4. Tujuan Permasalahan.....	3
1.5. Manfaat Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Overview.....	5
2.2. Proses Pembakaran Mesin Diesel.....	6
2.3. Timing Katup Mesin Diesel.....	7
2.4. Pengaruh Kerja Katup Mesin Diesel.....	8
2.5. Emisi Mesin Diesel.....	9
2.6. Pengaruh Saat Penyalaan Terhadap Nox.....	10
2.7. Standar Emisi Gas Nox.....	11
BAB III METODOLOGI	15
3.1. Persiapan Awal.....	16
3.2. Pembuatan Spi Cam Injektor.....	17
3.3. Pemasangan Spi Cam Injektor.....	17
3.4. Pra Eksperimen.....	18
3.5. Eksperimen.....	20
3.6. Analisis dan Pembahasan.....	21
3.7. Kesimpulan dan Saran.....	21

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	23
4.1. Variasi Injection Timing Mesin Diesel	23
4.1.1. Perencanaan Perubahan Sudut Timing	24
4.1.2. Derajat Timing Injeksi Mesin Diesel	26
4.1.3. Hasil Eksperimen Variasi Spi.....	27
4.2 Pengujian Performansi Mesin Diesel	28
4.2.1. SFOC Dan Daya.....	29
4.2.2 Daya Maksimum	32
4.2.3 Torsi	33
4.2.4 SFOC	34
4.2.5 BMEP	35
4.2.6 Eff. Thermal Dan Daya	36
4.2.7 Eff. Thermal	40
4.3. Pengujian Emisi.....	41
4.4 Pembahasan.....	43
4.4.1 Variasi sudut timing injeksi	43
4.4.2 Pengujian Performa	43
4.4.3 Pengujian Emisi.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1. Kesimpulan.....	47
5.2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	51
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram lokasi waktu penginjeksian.....	6
Gambar 2.2 Contoh saat pembukaaan dan penutupan katup.....	9
Gambar 2.3 Pengaruh saat penyalaan terhadap kadar Nox	10
Gambar 2.4 MARPOL Annex VI Batasan Emisi NOx	12
Gambar 3. 1 Flowchart penelitian tugas akhir.....	15
Gambar 3. 2 Engine Setup.....	19
Gambar 4.1 Timing Injeksi pada diagram timing	25
Gambar 4.2 Variasi timing injeksi pada cam injektor	26
Gambar 4.3 Perbedaan spi cam injektor	27
Gambar 4.4 Letak spi yang divariasikan pada cam injektor.....	27

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Perbandingan SFOC Dengan Daya Terhadap RPM	29
Grafik 4.2. Perbandingan SFOC Dengan Daya Terhadap RPM	30
Grafik 4.3. Perbandingan SFOC Dengan Daya Terhadap RPM	31
Grafik 4.4. Perbandingan Daya Maksimum Dengan Putaran Engine	32
Grafik 4.5. Perbandingan Torsi Maksimum Dengan Putaran Engine	33
Grafik 4.6. Perbandingan SFOC Dengan Putaran Pada Daya Maksimum.....	34
Grafik 4.7. Perbandingan BMEP Maksimum Dengan Putaran Engine	35
Grafik 4.8. Perbandingan Efisiensi Dengan Daya.....	36
Grafik 4.9. Perbandingan Efisiensi Dengan Daya.....	37
Grafik 4.10. Perbandingan Efisiensi Dengan Daya.....	38
Grafik 4.11. Perbandingan Efisiensi Dengan Putaran Pada Daya Maksimum.....	40
Grafik 4.12. Perbandingan Efisiensi Dengan Putaran Pada Daya Maksimum.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 MARPOL Annex VI	11
Tabel 2.2 MARPOL Annex VITest Cycle.....	14
Tabel 3.1. Spesifikasi mesin diesel.....	16
Tabel 3.2 Spesifikasi alat uji emisi.....	16
Tabel 3.3 Variasi Pengujian Mesin Diesel.....	19
Tabel 4.1 hasil pengujian emisi.....	41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Prinsip injeksi bahan bakar yang baik bertujuan untuk dapat memenuhi berbagai hal yang diharapkan dari kendaraan bermesin diesel, sistem injeksi bahan bakar minyak (BBM) (termasuk pompa injeksi dan nozzle) memainkan peranan yang penting karena secara langsung mempengaruhi performa mesin dan kendaraan. (Denso, 2005),

Pada motor diesel umumnya saat injeksi yang normal adalah antara 20° *Crank Angle* sampai dengan 16° *Crank Angle Before Top Dead Centre*. Jika saat injeksi dimundurkan (mendekati TDC), temperatur dan tekanan udara yang masuk menjadi lebih tinggi sehingga *ignition delay* lebih pendek. Sedangkan Jika saat injeksi lebih awal (menjauhi TDC) maka temperatur dan tekanan udara yang masuk menjadi lebih rendah sehingga waktu tunda lebih panjang. (Wahyudi, 2009)

Dari pemeriksaan yang dilakukan pada mesin diesel pada laboratorium mesin kapal, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember maka diperlukan sebuah analisa terkait performa mesin diesel yang mengharuskan mengatur ulang pada *fuel injection timing* dengan memvariasikan nilai derajatnya dengan tepat.

Hal ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas pembakaran dan menurunkan banyaknya asap yang terkandung dalam gas buang, dimana emisi gas buang yang dihasilkan mesin tersebut untuk memenuhi nilai batas emisi yang diijinkan dengan mengacu sesuai pada standart IMO (*International Maritime Organization*). Sehingga diharapkan dengan memvariasikan waktu penyalaan bahan bakar mesin diesel sebagai pemantik awal, emisi gas buang

yang dihasilkan semakin rendah dan konsumsi bahan bakar semakin irit, serta daya yang dihasilkan oleh mesin tersebut lebih efisien.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana cara memvariasikan fuel injection timing pada mesin diesel?
2. Bagaimana pengaruh perubahan fuel injection timing terhadap performa engine?
3. Bagaimana pengaruh perubahan fuel injection timing terhadap emisi gas buang?

1.3. Batasan Permasalahan

Untuk dapat melaksanakan penelitian ini diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Variabel timing injeksi yang digunakan meliputi Timing 18° CA BTDC, Timing 16° CA BTDC, Timing 14° CA BTDC .
2. Pengujian peformansi dilakukan pada mesin diesel Shanghai R175 yang berada di Laboratorium Marine Power Plant FTK ITS.
3. Analisis emisi gas buang menggunakan alat *Gas analyzer* tipe Ekom - J2KN

1.4. Tujuan Permasalahan

Untuk menjawab semua pertanyaan yang terdapat pada perumusan masalah diatas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui cara memvariasikan *fuel injection timing* pada mesin diesel.

2. Mengetahui pengaruh perubahan *fuel injection timing* terhadap unjuk kerja mesin diesel 4 langkah..
3. Mengetahui pengaruh perubahan *fuel injection timing* terhadap emisi gas buang yang dihasilkan mesin diesel.

1.5. Manfaat Penulisan

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Dapat memahami tentang cara merubah posisi sudut waktu penyalaan bahan bakar pada mesin diesel.
2. Dapat memahami pengaruh perubahan *fuel injection timing* terhadap unjuk kerja mesin diesel 4 langkah..
3. Dapat mengetahui pengaruh perubahan *fuel injection timing* terhadap emisi gas buang yang dihasilkan mesin diesel.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Overview

Studi mengenai mesin diesel yang dilakukan oleh Wahyudi (2009) umumnya saat injeksi yang normal adalah antara 20°C_A sampai 16°C_A sebelum titik mati atas. Jika saat injeksi lebih awal (ATDC) maka temperatur dan tekanan udara yang masuk menjadi lebih rendah sehingga waktu tunda lebih panjang. Sedangkan jika saat injeksi dimundurkan (BTDC), temperatur dan tekanan udara yang masuk menjadi lebih tinggi sehingga ignition delay lebih pendek

Menurut Sungkono, dkk (2008) menyimpulkan bahwa perubahan derajat waktu injeksi, baik dimundurkan (retarded) maupun dimajukan (advanced) 20°C_A BTDC memberikan perubahan (kenaikan ataupun penurunan) terhadap karakteristik pembakaran, unjuk kerja dan emisi mesin yang lebih besar dibandingkan perubahan retarded maupun advanced 40°C_A BTDC.

Demikian juga yang dilakukan oleh Susanto (2009), menyimpulkan bahwa dibandingkan dengan pengaturan standart mesin, perubahan timing injeksi melebihi 12°C_A BTDC menurunkan kerja dari mesin. Pengaturan timing injeksi yang paling baik adalah 11°C_A BTDC untuk mencapai efesiensi tinggi dan untuk menghasilkan Torsi, BMEP dan Daya.

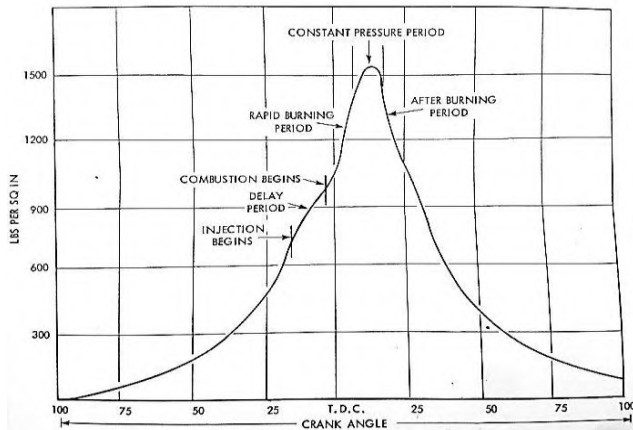
Selanjutnya Prabowo (2014) menganalisa pengaruh *timing injection* terhadap unjuk kerja mesin diesel 1 silinder, menunjukkan peningkatan daya dan torsi mesin terjadi pada pemajuan (*advanced*) pada *timing injection* 20°C_A BTDC dimana daya dan torsi rata-rata meningkat 9,15% serta konsumsi bahan bakar (SFOC) yang dihasilkan pada saat timing injeksi

dimundurkan (*retarded*) 20°CA BTDC mengalami penurunan 5,85% dibandingkan saat timing injeksi standar 45°CA BTDC.

Sebuah mesin diesel 4-tak 1 silinder pada penelitian ini akan dimodifikasi khususnya pada spi poros cam injektor pompa bahan bakar untuk divariasikan nilai derajatnya dengan proses *machining* dan proses *hardening*, sehingga waktu penyalaan bahan bakar dapat diperlambat maupun dipercepat sebelum titik mati atas (BTDC) saat penginjeksian bahan bakar dan dioperasikan pada beban dan putaran mesin yang berbeda. Hasil percobaan diharapkan menunjukkan bahwa dari waktu penyalaan bahan bakar yang lebih tepat dapat meningkatkan prestasi mesin terhadap performa dan emisi yang memenuhi dengan standar (regulasi).

2.2 Proses Pembakaran Mesin Diesel.

Pembakaran bahan bakar mesin diesel dapat dibagi menjadi empat tahap yang dapat diidentifikasi, yaitu pada tekanan waktu diagram pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram lokasi waktu penginjeksian pada setiap periode pembakaran pada mesin penyalaan kompresi.

(Edgar, William. 1954:283)

Tahap 1 disebut periode waktu penundaan penyalaan. Selama periode ini, pembakaran tidak cukup untuk meningkatkan suhu maupun tekanan, karena tergantung pada faktor: (1) kualitas penyalaan bahan bakar, (2) jumlah udara dalam ruang bakar, suhu dan tekanan, (3) kecepatan dan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, (4) jumlah atomisasi dan (5) jumlah aliran turbulensi. Semakin tinggi suhu dan tekanan dalam ruang pembakaran, semakin halus atomisasi dari partikel bahan bakar dan semakin tinggi turbulensi, periode waktu penundaan menjadi lebih pendek.

Tahap 2 disebut jangka waktu penundaan yang cepat. Selama periode ini bahan bakar telah diinjeksikan, tekanan dan temperatur akan meningkat dengan cepat. Tingkat pembakaran tergantung pada bahan bakar yang dicampur dengan udara (air fuel ratio)

Tahap 3 adalah periode kenaikan tekanan konstan. Injeksi berakhir sebelum akhir periode ini. Secara teoritis, tingkat injeksi dan pembakaran harus mencukupi sehingga tekanan tetap dan konstan selama tahap ini.

Tahap 4 disebut periode setelah pembakaran. Selama tahap ini piston bergerak ke bawah. Berat molekul bahan bakar akan menguap pada proses akhir, yang bercampur dengan oksigen dan terbakar. Proses pembakaran harus selesai sebelum katup buang dibuka atau hal itu akan menyebabkan asap (emisi) pada gas buang semakin tinggi.

2.3 Timing Katup Mesin Diesel

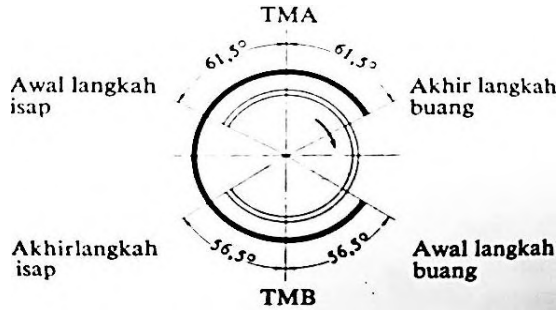
Timing yang tepat menurut Edgar, William. (1954:241) sangat penting diperlukan untuk memulai injeksi bahan bakar pada siklus pembakaran guna mendapatkan daya maksimum dari

campuran bahan bakar udara. Jika bahan bakar diinjeksikan terlalu awal dalam siklus pembakaran, penyalaan menjadi tertunda karena suhu udara pada titik ini tidak cukup tinggi. Sementara itu, bahan bakar yang tidak terbakar akan terakumulasi dalam silinder sehingga menghasilkan tekanan yang berlebihan dan terjadi kebisingan.

Di sisi lain, jika bahan bakar diinjeksikan terlambat dalam siklus, bahan bakar akan tidak terbakar semuanya sampai piston telah kembali pada titik mati bawah. Hal ini dapat mengurangi jumlah ekspansi gas yang terbakar, beberapa bahan bakar masih mungkin terbakar ketika katup buang terbuka. Sebagai hasil proses pembakaran, mesin tidak mengeluarkan daya penuh, konsumsi bahan bakar menjadi tinggi, dan gas buang lebih beresap dan suhu meningkat.

2.4 Pengaruh Kerja Katup Mesin Diesel

Mekanisme penggerak katup pada mesin 4 langkah mempunyai massa dan elastisitas yang mengakibatkan terjadinya getaran transien pada sistem katup tersebut yaitu dengan dorongan yang spontan oleh cam. Katup-katup dibuka dan ditutup dengan perantara poros cam yang berputar dengan kecepatan setengah kecepatan putar poros engkol. Sistem katup tidak selalu mengikuti kontur cam yang curam pada putaran poros cam yang tinggi. Sehingga untuk menjamin pembukaan katup yang setepat-tepatnya dan sebesar-besarnya tidaklah dipakai kontur cam yang curam, melainkan pembukaan katup BBDC (Before Bottom Dead Center) serta penutupan katup ATDC (After Top Dead Center). Saat pembukaan katup dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Contoh saat pembukaaan dan penutupan katup mesin dengan supercharger. Penggerak kapal 6 silinder, pendingin air, volume langkah torak 8,55 liter. Daya untuk beban kontinu: 150 PS pada 1.800 rpm. (Arismunandar, 1983:20)

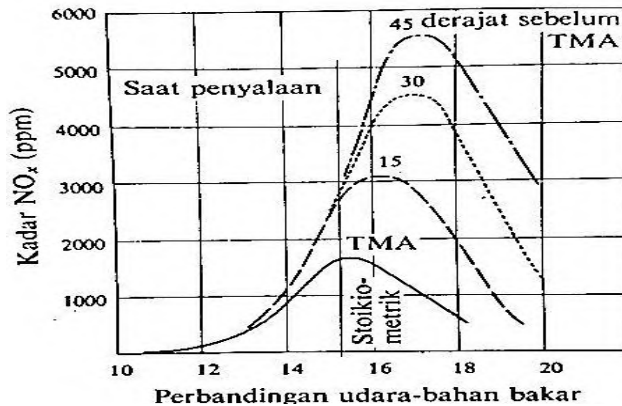
2.5 Emisi Mesin Diesel

Kadar emisi gas buang khususnya pada kandungan Nitrogen oksida (NO_x) merupakan sekelompok gas nitrogen berbahaya yang dapat merusak kesehatan maupun lingkungan. NO_x terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2). Nitrogen monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau dan sebaliknya nitrogen dioksida berbau tajam serta berwarna coklat kemerahan.

Pembentukan NO dan NO_2 merupakan reaksi antara nitrogen dan oksigen diudara sehingga membentuk NO yang bereaksi lebih lanjut dengan lebih banyak oksigen membentuk NO_2 . Nitrogen monoksida terdapat diudara dalam jumlah lebih besar daripada NO_2 . Walaupun ada bentuk oksida nitrogen lainnya, tetapi kedua gas tersebut termasuk kadar yang paling banyak diketahui sebagai bahan pencemar udara (polutan).

2.6 Pengaruh Saat Penyalaaan Terhadap Nox

Dalam motor diesel 4 langkah, kadar emisi gas buang untuk kadar emisi Nox sekitar 50% dari yang dihasilkan mesin diesel dengan penyemprotan langsung (*direct injection*) dibandingkan penyemprotan tidak langsung dan data emisi Nox lebih rendah dengan kamar pusran dibandingkan dengan kamar muka.



Gambar 2.3 Pengaruh saat penyalaaan terhadap kadar NO_x didalam gas buang. Arismunandar (1983:93)

Perbandingan campuran udara bahan bakar sangat tergantung pada pembentukan Nox, kadar Nox maksimum terjadi ketika campuran pada 15 dan 17, tergantung pada saat penyalaaannya. Apabila campuran udara dan bahan bakar lebih kecil atau lebih besar, maka NO_x yang dihasilkan akan berkurang.

2.7 Standar Emisi Gas Nox

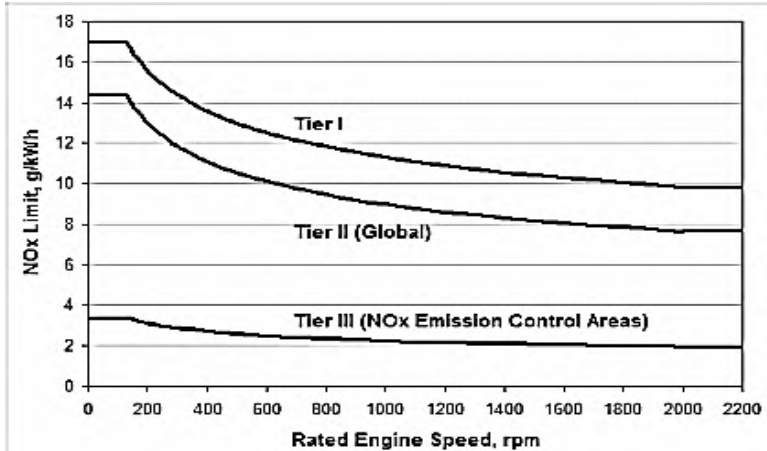
MARPOL annex VI regulasi 13 membahas mengenai peraturan kadar NO_x baik yang dikeluarkan oleh mesin maupun akibat dari karakteristik bahan bakar. Apabila nilai NO_x yang dikeluarkan oleh bahan bakar tidak masuk dalam nilai yang di atur pada MARPOL, maka derajat timing injeksi tersebut tidak layak divariasikan dan akan mengakibatkan pencemaran lingkungan.

Batas NO_x yang ditunjukkan pada mesin diesel bergantung pada putaran (n, RPM) maksimal yang digunakan pada mesin tersebut. Seperti yang ditunjukkan pada table 2.1

Tabel 2.1 MARPOL Annex VI Batasan Emisi NO_x

Tier	Date	NO _x Limit, g/kWh		
		n<130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17.0	45.n ^{-0.2}	9.8
Tier II	2011	14.4	44.n ^{-0.23}	7.7
Tier III	2016	3.4	9.n ^{-0.2}	1.96

Untuk mengetahui presentasi yang disajikan pada bentuk grafik mengenai masing - masing Tier 1, Tier 2, dan Tier 3 dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 MARPOL Annex VI Batasan Emisi NO_x

Untuk mengetahui nilai dari emisi mesin diesel berbahan bakar biodiesel menggunakan standar pengujian yang ditetapkan oleh regulasi IMO MARPOL annex VI regulasi 13 membahas mengenai peraturan kadar NO_x. Dalam regulasi ini untuk mengatur emisi dari NO_x dibagi menjadi 3 tingkatan, sebagai berikut:

a Tier I

Tingkatan ini untuk mesin diesel yang dipasang dikapal dengan tahun pembangunan 1 januari 2000 sampai 1 januari 2011. Adapun batasan berat NO_x yang dikeluarkan mesin dalam tingkatan ini, sebagai berikut:

- Berat NO_x 17.0 g/kWh untuk putaran mesin kurang dari 130 rpm
- Berat NO_x $45.0 \times n^{(-0.2)}$ g/kWh untuk putaran mesin lebih dari 130 rpm tetapi kurang dari 2000 rpm.
- Berat NO_x 9.8 g/kWh untuk putaran mesin lebih dari 2000 rpm.

b Tier II

Tingkatan ini untuk mesin diesel yang dipasang dikapal dengan tahun pembangunan setelah 1 januari 2011. Adapun batasan berat NO_x yang dikeluarkan mesin dalam tingkatan ini, sebagai berikut:

- Berat NO_x 14.4 g/kWh untuk putaran mesin kurang dari 130 rpm
- Berat NO_x $44,0 \times n^{(-0.23)}$ g/kWh untuk putaran mesin lebih dari 130 rpm tetapi kurang dari 2000 rpm.
- Berat NO_x 7.7 g/kWh untuk putaran mesin lebih dari 2000 rpm.

c Tier III

Tingkatan ini untuk mesin diesel yang dipasang dikapal dengan tahun pembangunan setelah 1 januari 2016. Adapun batasan berat NO_x yang dikeluarkan mesin dalam tingkatan ini, sebagai berikut:

- Berat NO_x 3.4 g/kWh untuk putaran mesin kurang dari 130 rpm
- Berat NO_x $9.0 \times n^{(-0.2)}$ g/kWh untuk putaran mesin lebih dari 130 rpm tetapi kurang dari 2000 rpm
- Berat NO_x 2.0 g/kWh untuk putaran mesin lebih dari 2000 rpm

Untuk mengetahui metode pengujian emisi gas buang yang akan digunakan untuk eksperimen berdasarkan *Test Cycle* MARPOL Annex VI dan dapat dilihat pada tabel 2.2

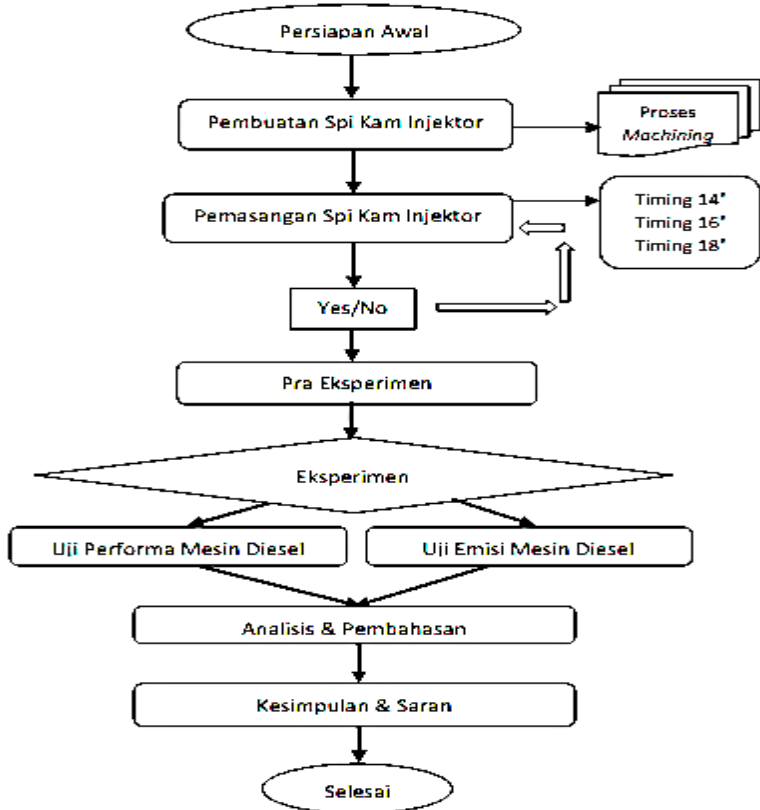
Tabel 2.2 MARPOL Annex VI, *Appendix II Test Cycle*

Test cycle type E2	Speed	100%	100%	100%	100%	
	Power	100%	75%	50%	25%	
	Weighting factor	0.2	0.5	0.15	0.15	
Test cycle type E3	Speed	100%	91%	80%	63%	
	Power	100%	75%	50%	25%	
	Weighting factor	0.2	0.5	0.15	0.15	
Test cycle type D2	Speed	100%	100%	100%	100%	100%
	Power	100%	75%	50%	25%	10%
	Weighting factor	0.05	0.25	0.3	0.3	0.1

- Untuk mesin diesel kecepatan konstan dan digunakan untuk penggerak utama atau digunakan sebagai diesel electric menggunakan *Test Cycle E2*.
- Untuk *controllable-pitch propeller* menggunakan *Test Cycle E2*.
- Untuk *auxiliary engines* kecepatan konstan menggunakan *Test Cycle D2*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan eksperimen ini dengan merubah sudut nok/cam sebagai penggerak pompa injeksi yang telah diatur waktu penyalaan bahan bakar (*injection timing*) oleh standar pabrikan yaitu 16°CA BTDC, menjadi diperlambat pada 14°CA BTDC, dan dipercepat 18°CA BTDC. Detail percobaan dapat dilihat pada *flow chart* gambar 3.1



Gambar 3. 1 *Flowchart* penelitian tugas akhir

3.1 Persiapan Awal

Pada tahap ini dilakukan persiapan bahan-bahan dan peralatan yang akan digunakan dalam penelitian serta pembelajaran mengenai cara/proses penelitian. Melakukan pengecekan pada mesin diesel mengenai kondisi mesin, basic performa mesin, full load dari mesin diesel sebelum dilakukan percobaan. Data mesin dan alat uji emisi yang digunakan adalah seperti terlihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1. Spesifikasi mesin diesel

Merk	: Shanghai
Model	: R175
Tipe	: <i>In line, single cylinder, 4 stroke, water cooled, direct injection</i>
Bore x Stroke (mm)	: 80 x 80
Piston Displacement (L)	: 0,515
Output (HP/rpm)	: 5,67/2200
Rasio Kompresi	: 21 :1

Untuk mengetahui hasil pengujian emisi mesin diesel menggunakan alat uji yaitu *Gas Analyzer* dengan spesifikasi pada table 3.2

Tabel 3.2 Spesifikasi alat uji emisi

Merk	: ECOM
Model	: J2Kn
Metode Pengujian	: Alat Uji Emisi Cerobong
Jenis Bahan bakar	: BioSolar (<i>Oil Diesel</i>)
Jenis Uji	O ₂ , NO, SO ₂ , H ₂ , CO ₂

3.2 Pembuatan Spi Cam Injektor

Pada tahap ini dilakukan proses bubut (*machining*) untuk pemotongan pada spi ukuran baru dengan menggunakan mesin frais. Berikut langkah - langkah pembuatan spi dengan sudut timing yang divariasikan:

1. Menghitung perencanaan pembuatan spi modifikasi
Diketahui: diameter dalam pasak (poros) spi pada cam injektor yaitu 75,36 mm

$$\text{Keliling} = \pi \cdot D$$

$$360^\circ \text{CA} = 75,36 \text{ mm}$$

$$1^\circ \text{CA} = \frac{75,36}{360^\circ} = 0,2093 \text{ mm}$$

$$2^\circ \text{CA} = 0,4186 \text{ mm}$$
 Sehingga dari ukuran spi standart 5mm dibuatlah ukuran baru yaitu 5,4186mm
2. Pengerjaan spi menggunakan spi yang utuh untuk kemudian dipotong dengan ukuran baru menggunakan mesin pemotong frais (proses *machining*)
3. Setelah proses pemotongan material spi tersebut harus diberi racun sepuh untuk memperkuat material spi (proses *hardening*). Begitu juga untuk pembuatan spi pada variasi selanjutnya.

3.3 Pemasangan Spi Cam Injektor

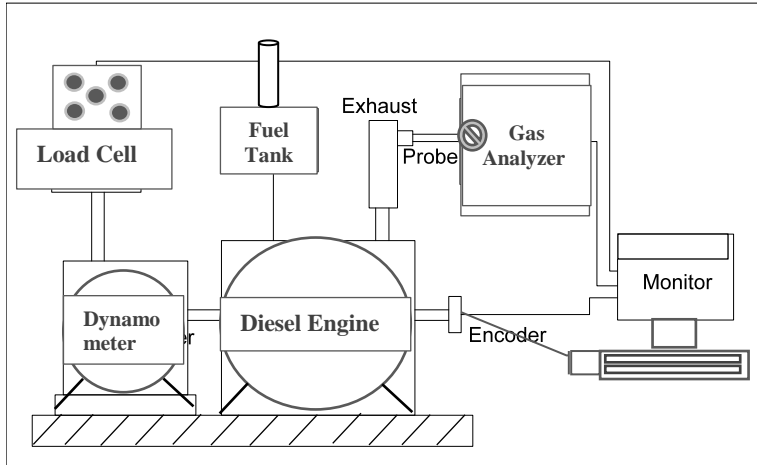
Pada tahap ini dilakukan proses pembongkaran cover mesin untuk setiap pemasangan spi yang divariasikan nilai sudut derajatnya dengan cara sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan.
2. Lepas pipa bahan bakar pada filter dan sambungkan ke gelas ukur dan mengeluarkan oli mesin diesel.
3. Melepas pompa bahan bakar (*fuel injection pump*)

4. Kemudian melepas penutup (*cover*) timing gear dan melepas timing gear dengan menggunakan alat yaitu *Tracker*.
5. Setelah lepas, spi pada cam injektor tersebut dapat diganti dari standar menjadi spi dengan ukuran baru (modifikasi).
6. Kemudian memasang lagi sesuai langkah waktu pada saat pembongkaran.
7. Ulangi observasi dua kali lagi dengan langkah yang sama dengan timing injeksi yang berbeda (diatas dan dibawah timing injeksi spesifikasi)
8. Bersihkan mesin diesel, peralatan-peralatan, dan tempat yang anda gunakan.

3.4 Pra Eksperimen

Pada tahap ini akan dilakukan pengecekan awal mesin terlebih dahulu mengenai kondisi mesin, basic performa mesin saat kondisi full load untuk mengetahui kondisi awal mesin sebelum dilakukan penelitian. Sehingga pada saat eksperimen yang akan di lakukan dapat terlebih dahulu direncanakan dengan menyiapkan variabel tetap dan variabel bebas, mencari nilai dari daya, torsi, dan SFOC (*Specific Fuel Oil Consumption*) serta pengujian kadar emisi gas buang.



Gambar 3. 2 Engine Setup

Pada engine setup ada beberapa metode yang digunakan untuk pengujian performa dan emisi gas buang diantara lain pada tabel sebagai penunjang pengambilan data.

Tabel 3.3 Variasi Pengujian Mesin Diesel

Variasi Sudut Timing Injeksi	Variasi Putaran Pada Uji Emisi	Variasi Putaran (RPM)	Variabel Daya Pada Uji Emisi	Variasi Hasil
- Timing 14° CA	- 63%	- 1323	- 25%	- Daya
BTDC	- 83%	- 1680	- 50%	- SFOC
- Timing 16° CA	- 91%	- 1911	- 75%	- Emisi
BTDC	- 100%	- 2100	- 100%	(Nox)
- Timing 18° CA				
BTDC				

Sebelum melakukan penelitian ada beberapa hal yang perlu dilakukan agar saat pengujian tidak mengalami gangguan maupun kecelakaan kerja. Hal-hal yang harus diperhatikan adalah penyetelan dan pengecekan mesin uji, adapun yang harus dilakukan sebelum pengujian adalah sebagai berikut:

1. Persiapkan bahan bakar.
2. Periksa pelumas mesin dan air radiator.
3. Periksa kondisi mesin uji dan Filter bahan bakar serta pembersihan seluruh sistem bahan bakar dan pengapian.
4. Mengkalibrasi alat-alat ukur yang akan digunakan.
5. Memasang semua alat uji.
6. Menyiapkan alat – alat ukur yang diperlukan selama pengujian.
7. Periksa semua selang bahan bakar dan memastikan tidak terdapat kebocoran.

3.5 Eksperimen

Pada tahap ini akan dilakukan pengambilan data berupa perbandingan performa dan kadar emisi dari penggunaan variasi waktu penyalaan (*Injection Timing*) yang berbeda pada mesin diesel yaitu Shanhai R-175 yang berada di Laboratorium Mesin Kapal FTK ITS. Pengujian emisi menggunakan alat gas analyzer *ECOM – J2KN* untuk mendapatkan nilai emisi berupa Nox.

Data yang akan diambil nantinya mengenai perbandingan dengan menggunakan variabel beban dan rpm yang berbeda pada mesin. pengujian performa engine untuk mengetahui daya maksimal dan SFOC pada engine serta dilanjutkan pengujian emisi sesuai regulasi yang telah di keluarkan IMO dalam regulasi MARPOL, Annex VI.

3.6 Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisa berupa perbandingan performa dan emisi gas buang mesin diesel yang telah dimodifikasi pengaturan waktu penyalaan bahan bakar tersebut. Dengan data-data yang telah diperoleh dari hasil performa motor diesel dan besarnya nilai NO_x untuk menjawab pertanyaan yang mendasari penelitian ini, yaitu bagaimana performa motor diesel setelah waktu penyalaan bahan bakar di variasikan dan besar kadar nilai NO_x nya.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Setelah semua yang dilakukan, maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari analisa data dan percobaan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

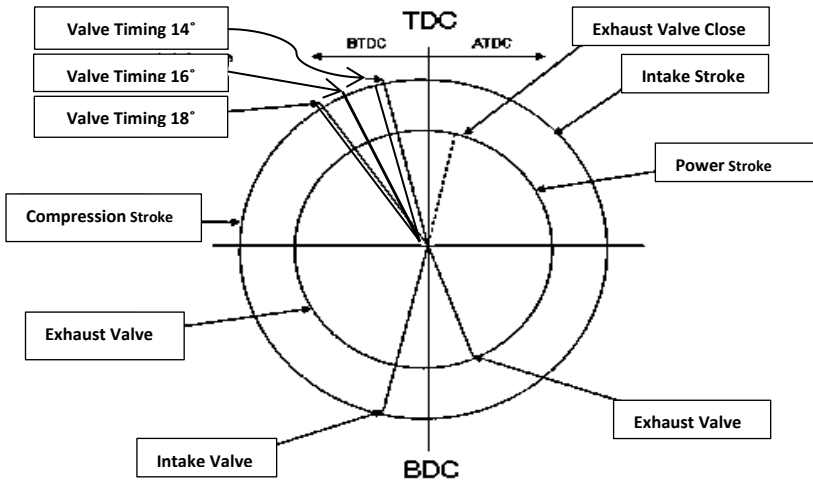
Untuk menjawab rumusan masalah pada penelitian ini telah dilakukan eksperimen berupa penggantian alat spi pada *cam* injector mesin diesel. Spi yang diganti yaitu dari spi *cam* injektor standar original pabrikan menjadi spi buatan (modifikasi) untuk merubah posisi sudut derajat letak *cam* injektor yang akan menekan pompa bahan bakar (*fuel pump*) dan disalurkan ke ruang bakar melalui injektor yang merupakan waktu penyalaan (*ignition timing*) bahan bakar pada ruang bakar mesin diesel. Waktu penginjeksian bahan bakar telah menentukan performa dan kadar emisi gas buang yang dihasilkan pada mesin diesel.

4.1 Variasi *Injection Timing* Mesin Diesel

Dalam proses untuk memvariasikan waktu penyalaan bahan bakar dengan metode pembuatan spi cam injektor dengan ukuran diperlambat maupun dipercepat dari standar mesin dengan melalui beberapa tahapan mulai desain perencanaan sampai hasil dari eksperimen yang telah dilakukan. Adapun hasil penelitian seperti terlihat pada gambar 4.1.1

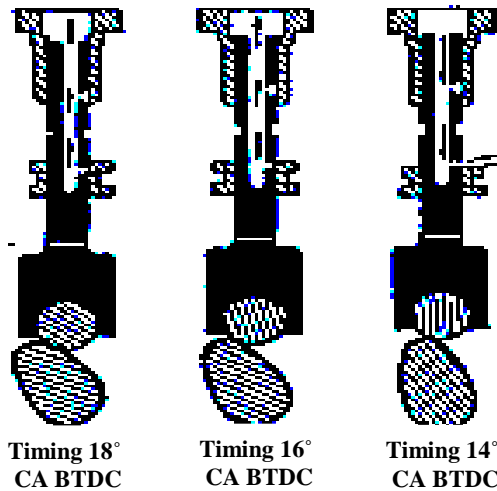
4.1.1 Perencanaan Perubahan Sudut Timing Injeksi

Pada perencanaan perubahan sudut saat membuka dan menutupnya kerja katup digambarkan dengan diagram timing (*valve timing diagram*) yang telah diplotkan pada masing – masing sudut timing berdasarkan nilai yang diperoleh dari perhitungan antara ukuran standar menjadi ukuran variasi. Valve timing dinyatakan dalam bentuk diagram yang menunjukkan besarnya sudut poros engkol berdasarkan kedudukan torak pada titik mati atas (TDC) atau titik mati bawah (BDC). Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan setiap besarnya sudut pada grafik secara teori untuk kemudian dilakukan eksperimen. Adapun perbedaan sudut timing seperti terlihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Perbedaan Variasi Timing Injeksi Pada *Timing Diagram*

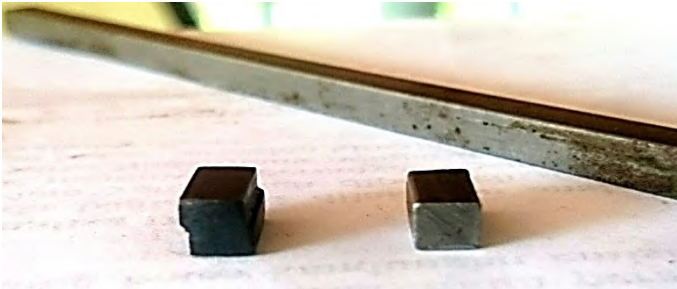
Valve timing diagram dipengaruhi oleh bentuk poros nok/cam dan celah katup. Komponen poros nok/cam juga menentukan kinerja pada performansi kerja katup pada mesin diesel. Hal ini berfungsi untuk membuka dan menutup katup sesuai dengan urutan timing pengapian atau *firing order*, menggerakkan pompa bahan bakar (*fuel pump*), dan memutar poros distributor karena pada camshaft terdapat gigi penggerak distributor atau (*Distributor drive gear*). Adapun perbedaan sudut timing seperti terlihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Perbedaan variasi timing injeksi pada cam injektor

4.1.2 Hasil Eksperimen Variasi Spi

Dalam proses memvariasikan timing injeksi yaitu dengan langkah menghitung pembuatan spi cam injektor dari ukuran spi standart dengan ukuran baru sesuai variasi perhitungan. Pengerjaan spi menggunakan mesin pemotong frais (proses *machining*) untuk kemudian dipotong sesuai perhitungan. Setelah proses pemotongan material spi tersebut harus diberi racun sepuh untuk memperkuat material spi (proses *hardening*). Begitu juga untuk pembuatan spi pada variasi selanjutnya. Adapun hasil penelitian yang telah dilakukan seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 4.3 Perbedaan spi cam injektor modifikasi (kiri) dengan standar (kanan)



Gambar 4.4 Letak spi yang telah divariasikan pada cam injektor modifikasi (kiri) dengan standar (kanan)

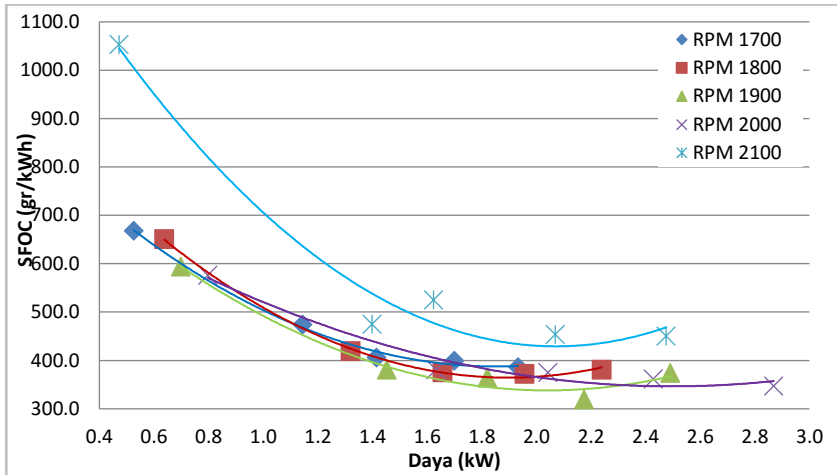
4.2 Pengujian Performansi Mesin Diesel

Pada Penelitian ini akan dilakukan uji performansi untuk mengetahui pengaruh variasi *injection timing* pada prestasi mesin diesel. Variasi timing injeksi yang digunakan adalah pada timing standar 16°CA , timing dipercepat 18°CA dan timing diperlambat 14°CA sebelum TMA. Putaran yang digunakan dimulai pada putaran 1700 rpm sampai dengan 2100 rpm.

Pada pengujian peforma mesin diesel, harus mengetahui beban full load dan rpm maksimum. Data yang akan didapat adalah tegangan, arus, rpm alternator, dan waktu konsumsi 10 ml bahan bakar dalam satuan menit. Langkah selanjutnya yaitu menganalisa data dan membuat grafik perbandingan setiap pengujian. Hasil yang diperoleh dari perbandingan grafik tersebut yaitu mengetahui titik dimana penggunaan bahan bakar yang efisien, mengetahui nilai maksimum torsi dan daya serta kadar emisi gas buang secara menyeluruh terutama letak pembebanan pada masing-masing putaran. Adapun hasil penilitian seperti terlihat pada gambar 4.2.1

4.2.1 Sfoc Dan Daya

a. Pada Sudut Timing 16°CA BTDC (standar)

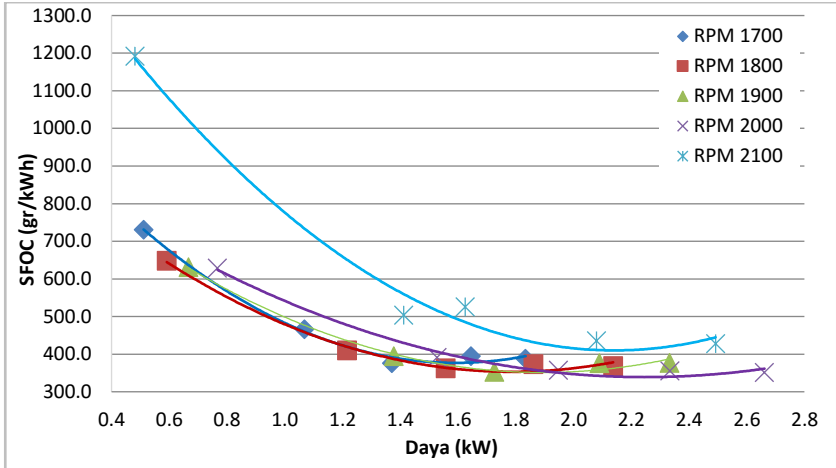


Grafik 4.1 Perbandingan Antara SFOC Dengan Daya Terhadap RPM

Dari grafik perbandingan daya dengan SFOC terhadap putaran (grafik 4.1) tampak bahwa nilai daya terbesar didapatkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Nilai daya pada putaran 1700 rpm sebesar 1,6 kW, sedangkan pada saat putaran 2100 rpm dihasilkan daya sebesar 2,1 atau bertambah 0,4 kW dari putaran 1700 rpm. Dengan demikian, berdasarkan grafik diatas dapat dikatakan bahwa nilai daya terus mengalami peningkatan untuk setiap putarannya. Sementara pada nilai SFOC, nilai SFOC terendah didapatkan pada saat beban 3500 Watt untuk setiap putarannya. Pada putaran 1700 rpm, nilai SFOC yang dihasilkan sebesar 387,82 gr/kWh, sedangkan pada putaran 2100 rpm nilai SFOC yang dihasilkan sebesar 428,17 gr/kWh. Dengan adanya selisih perbedaan

nilai SFOC sebesar 40,34 gr/kWh, maka berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi putaran engine, maka nilai SFOC yang didapatkan semakin rendah.

b. Pada Sudut Timing 14° CA BTDC (*Retarted*)

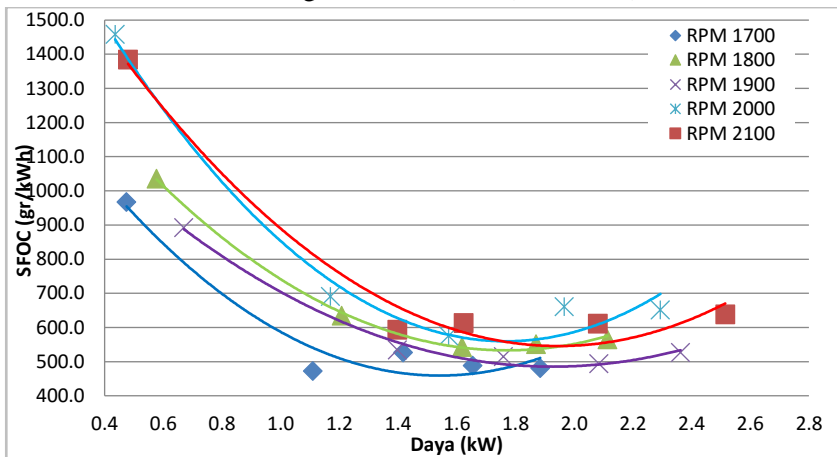


Grafik 4.2 Perbandingan Antara SFOC Dengan Daya Terhadap RPM

Dari grafik perbandingan daya dengan SFOC terhadap putaran (grafik 4.2) tampak bahwa nilai daya terbesar didapatkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Nilai daya pada putaran 1700 rpm sebesar 1,8 kW, sedangkan pada saat putaran 2100 rpm dihasilkan daya sebesar 2,5 atau bertambah 0,7 kW dari putaran 1700 rpm. Dengan demikian, berdasarkan grafik diatas dapat dikatakan bahwa nilai daya terus mengalami peningkatan untuk setiap putarannya. Sementara pada nilai SFOC, nilai SFOC terendah didapatkan pada saat beban 3500 Watt

untuk setiap putarannya. Pada putaran 1700 rpm, nilai SFOC yang dihasilkan sebesar 386,40 gr/kWh, sedangkan pada putaran 2100 rpm nilai SFOC yang dihasilkan sebesar 450,37gr/kWh. Dengan adanya selisih perbedaan nilai SFOC sebesar 63,97/kWh, maka berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi putaran engine, maka nilai SFOC yang didapatkan semakin rendah.

c. Pada Sudut Timing 18° CA BTDC (*Advanced*)

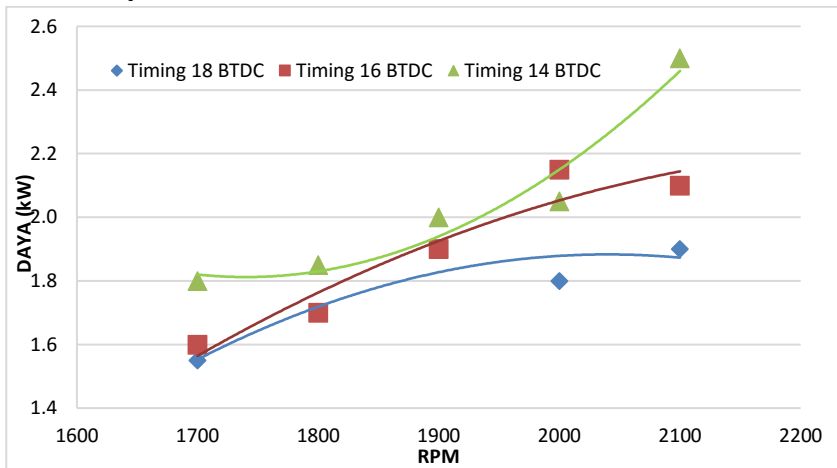


Grafik 4.3 Perbandingan Antara SFOC Dengan Daya Terhadap RPM

Dari grafik perbandingan daya dengan SFOC terhadap putaran (grafik 4.3) tampak bahwa nilai daya terbesar didapatkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Nilai daya pada putaran 1700 rpm sebesar 1,55 kW, sedangkan pada saat putaran 2100 rpm dihasilkan daya sebesar 1,9 atau bertambah 0,35 kW dari putaran 1700 rpm. Dengan demikian, berdasarkan grafik diatas dapat dikatakan bahwa nilai daya terus mengalami peningkatan

untuk setiap putarannya. Sementara pada nilai SFOC, nilai SFOC terendah didapatkan pada saat beban 3500 Watt untuk setiap putarannya. Pada putaran 1700 rpm, nilai SFOC yang dihasilkan sebesar 480,49 gr/kWh, sedangkan pada putaran 2100 rpm nilai SFOC yang dihasilkan sebesar 638,77 gr/kWh. Dengan adanya selisih perbedaan nilai SFOC sebesar 158,28/kWh, maka berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi putaran engine, maka nilai SFOC yang didapatkan semakin rendah.

4.2.2 Daya Maksimum

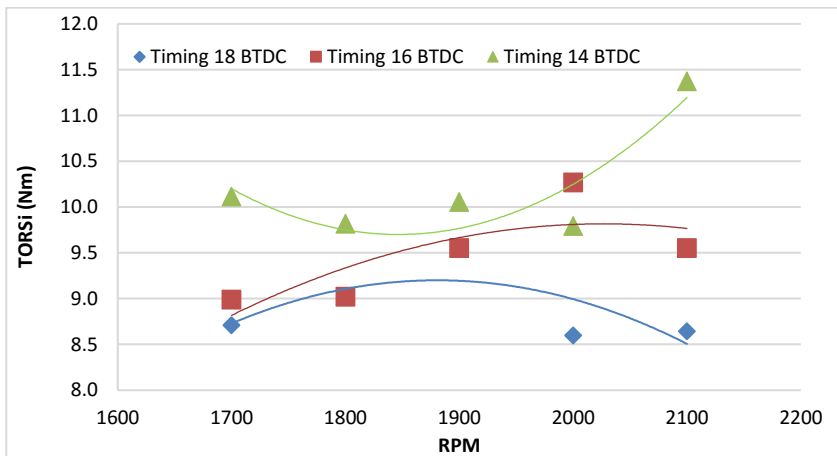


Grafik 4.4 Perbandingan antara Daya maksimum Dengan RPM

Grafik diatas merupakan perbandingan antara nilai daya maksimum dengan putaran pada tiap jenis bahan bakar, dimana nilai daya terbesar didapatkan pada saat

beban 3500 Watt. Pada putaran 1700 rpm dari jenis Timing 18°CA BTDC dengan Timing 14°CA BTDC terdapat kenaikan nilai daya sebesar 0,2513 kW. Sedangkan pada putaran 2100 rpm juga terdapat kenaikan nilai daya sebesar 0,612 kW. Jadi berdasarkan grafik 4.4 dapat terlihat bahwa semakin tinggi putaran engine, maka daya yang dihasilkan menjadi bertambah besar. Nilai daya maksimum dari grafik diatas diperoleh dari jenis Timing 14°CA BTDC pada putaran 2100 yaitu sebesar 2,541 kW.

4.2.3 Torsi

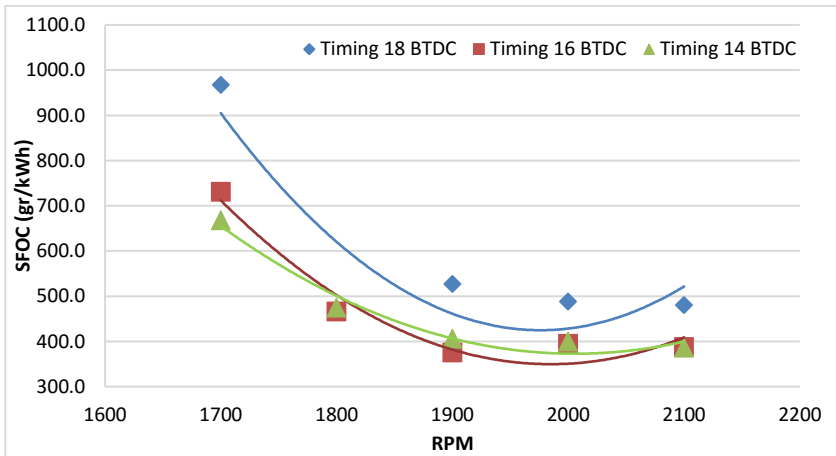


Grafik 4.5 Perbandingan Torsi Maksimum Dengan RPM

Grafik diatas merupakan perbandingan antara nilai torsi maksimum dengan putaran pada tiap jenis timing injeksi, dimana nilai torsi terbesar didapatkan pada saat beban 3500 Watt. Bisa terlihat pada putaran 1700 rpm dari jenis Timing 18°CA BTDC dengan Timing 14°CA BTDC terdapat kenaikan nilai torsi sebesar 1,41Nm. Sedangkan pada putaran 2100 rpm juga terdapat kenaikan nilai torsi

sebesar 2,731 Nm. Jadi berdasarkan grafik 4.5 dapat terlihat bahwa terjadi peningkatan yang signifikan karena torsi mesin berbanding lurus dengan daya mesin, sehingga semakin besar penambahan beban pada mesin maka daya mesin maupun torsi juga semakin besar. Nilai torsi maksimum dari grafik diatas diperoleh dari jenis Timing 14°CA BTDC pada putaran 2100 yaitu sebesar 11,37 Nm.

4.2.4 SFOC

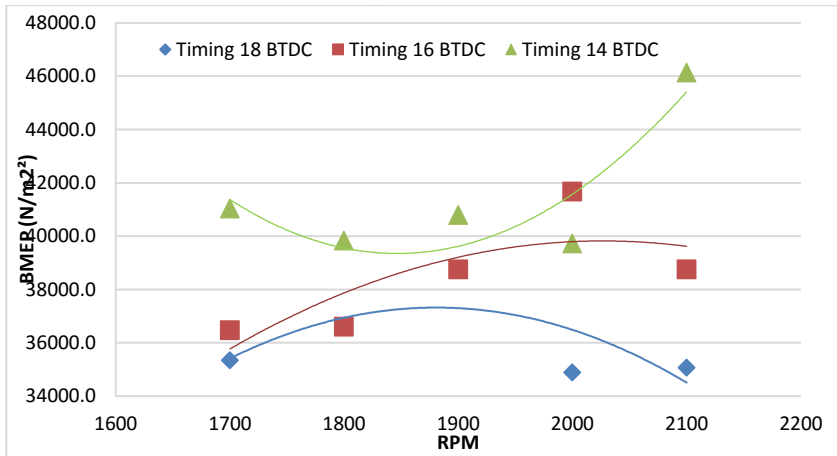


Grafik 4.6 Perbandingan SFOC dengan RPM Pada Daya Maksimum

Grafik diatas merupakan perbandingan antara nilai SFOC dengan putaran pada daya maksimum dari tiap jenis bahan bakar. Bisa terlihat pada putaran 1700 rpm dari jenis Timing 18°CA BTDC dengan Timing 14°CA BTDC terdapat penurunan nilai SFOC sebesar 299,67 gr/kWh. Sedangkan pada putaran 2100 rpm juga terdapat penurunan

nilai SFOC sebesar 330,43 gr/kWh. Jadi berdasarkan grafik 4.6 dapat terlihat bahwa semakin tinggi putaran engine, maka SFOC yang dihasilkan semakin menjadi rendah. Nilai SFOC minimum dari grafik diatas diperoleh dari jenis Timing 16°CA BTDC pada putaran 1900 yaitu sebesar 353,15 gr/kWh.

4.2.5 BMEP (*Brake Mean Effective Pressure*)



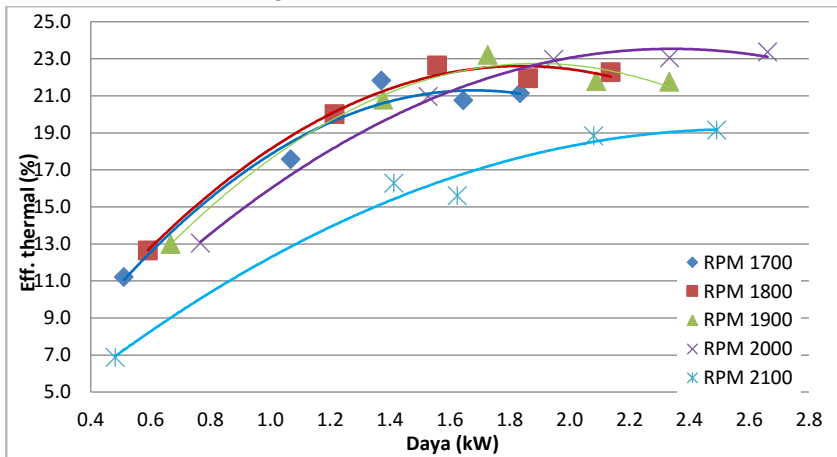
Grafik 4.7 Perbandingan BMEP Maksimum dengan RPM

Grafik diatas merupakan perbandingan antara nilai BMEP maksimum dengan putaran pada tiap jenis bahan bakar, dimana nilai BMEP terbesar didapatkan pada saat beban 3500 Watt. Bisa terlihat pada putaran 1700 rpm dari jenis Timing 18°CA BTDC dengan Timing 14° CA BTDC terdapat kenaikan nilai BMEP sebesar 5699,88 N/m². Sedangkan pada putaran 2100 rpm juga terdapat kenaikan nilai BMEP sebesar 53487,86 N/m². Jadi berdasarkan grafik 4.7 dapat terlihat bahwa semakin tinggi putaran

engine, maka BMEP yang dihasilkan semakin besar pula. Nilai BMEP maksimum dari grafik diatas diperoleh dari jenis Timing 14°CA BTDC pada putaran 2100 yaitu sebesar $46141,89/\text{m}^2$.

4.2.6 Eff. Thermal Dan Daya

a. Pada Sudut Timing 16°CA BTDC (standar)

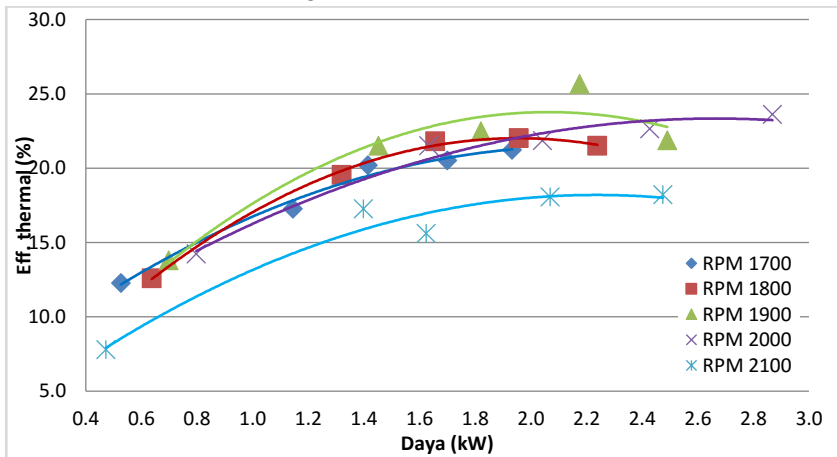


Grafik 4.8 Perbandingan Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap RPM

Dari grafik 4.8 perbandingan daya dengan SFOC terhadap putaran tampak bahwa nilai daya terbesar didapatkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Nilai daya pada putaran 1700 rpm sebesar 1,834 kW, sedangkan pada saat putaran 2100 rpm dihasilkan daya sebesar 2,492 kW atau bertambah 0,658 kW dari putaran 1700 rpm. Dengan demikian, berdasarkan grafik diatas dapat dikatakan bahwa nilai daya terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya putaran.

Sementara pada nilai efisiensi thermal, dimana nilai efisiensi thermal terbesar didapatkan pada saat beban 3000 Watt untuk setiap putarannya. Pada putaran 1700 rpm, nilai efisiensi thermal yang dihasilkan sebesar 20,7596 %, sedangkan pada putaran 2100 rpm nilai efisiensi thermal yang dihasilkan sebesar 18,8342 %. Dengan adanya selisih perbedaan nilai efisiensi thermal sebesar 1,925 %, maka berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi putaran engine, maka nilai efisiensi thermal yang didapatkan semakin besar pula.

b. Pada Sudut Timing 14°CA BTDC (*Retarded*)

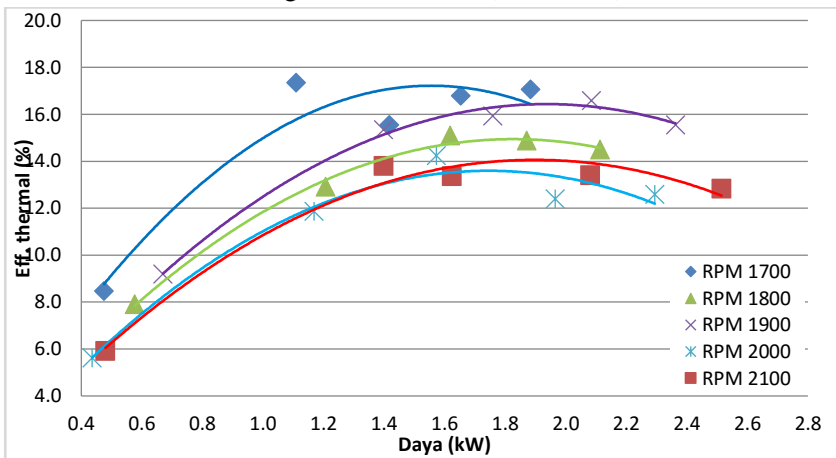


Grafik 4.9 Perbandingan Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap RPM

Dari grafik 4.9 perbandingan daya dengan SFOC terhadap putaran tampak bahwa nilai daya terbesar didapatkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Nilai daya pada putaran 1700 rpm sebesar 1,93 kW, sedangkan pada saat putaran 2100 rpm dihasilkan daya

sebesar 2,48 kW atau bertambah 0,54 kW dari putaran 1700 rpm. Dengan demikian, berdasarkan grafik diatas dapat dikatakan bahwa nilai daya terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya putaran. Sementara pada nilai efisiensi thermal, dimana nilai efisiensi thermal terbesar didapatkan pada saat beban 3000 Watt untuk setiap putarannya. Pada putaran 1700 rpm, nilai efisiensi thermal yang dihasilkan sebesar 20,5147 %, sedangkan pada putaran 2100 rpm nilai efisiensi thermal yang dihasilkan sebesar 18,0558 %. Dengan adanya selisih perbedaan nilai efisiensi thermal sebesar 2,46 %, maka berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi putaran engine, maka nilai efisiensi thermal yang didapatkan semakin besar pula.

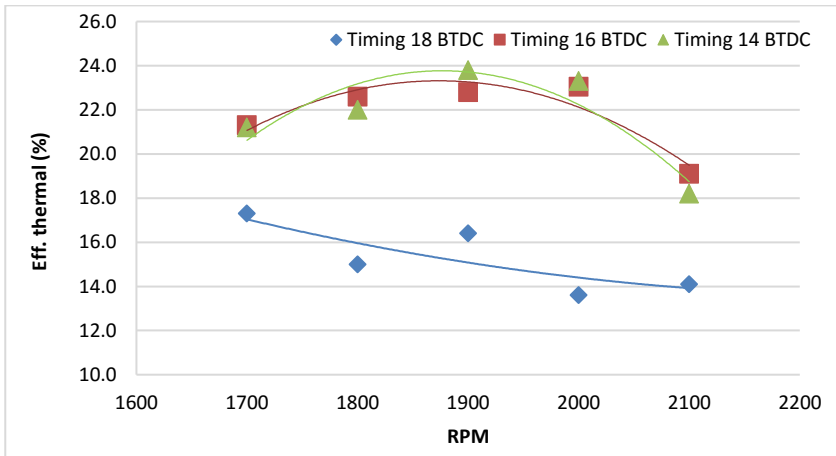
c. Pada Sudut Timing 18°CA BTDC (Advanced)



Grafik 4.10 Perbandingan Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap RPM

Dari grafik 4.10 perbandingan daya dengan SFOC terhadap putaran tampak bahwa nilai daya terbesar didapatkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Nilai daya pada putaran 1700 rpm sebesar 1,88 kW, sedangkan pada saat putaran 2100 rpm dihasilkan daya sebesar 2,51 kW atau bertambah 0,63 kW dari putaran 1700 rpm. Dengan demikian, berdasarkan grafik diatas dapat dikatakan bahwa nilai daya terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya putaran. Sementara pada nilai efisiensi thermal, dimana nilai efisiensi thermal terbesar didapatkan pada saat beban 3000 Watt untuk setiap putarannya. Pada putaran 1700 rpm, nilai efisiensi thermal yang dihasilkan sebesar 16,7851%, sedangkan pada putaran 2100 rpm nilai efisiensi thermal yang dihasilkan sebesar 13,4123 %. Dengan adanya selisih perbedaan nilai efisiensi thermal sebesar 3,37 %, maka berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi putaran engine, maka nilai efisiensi thermal yang didapatkan semakin besar pula.

4.2.7 Eff. Thermal



Grafik 4.11 Perbandingan Eff. Thermal Dengan RPM Pada Daya Maksimum

Grafik diatas merupakan perbandingan antara nilai efisiensi thermal dengan putaran pada daya maksimum dari tiap jenis bahan bakar. Bisa terlihat pada putaran 1700 rpm dari jenis jenis Timing 18° CA BTDC dengan Timing 14° CA BTDC terdapat peningkatan nilai efisiensi thermal sebesar 0,943 %. Sedangkan pada putaran 2000 rpm juga terdapat peningkatan nilai efisiensi thermal sebesar 1,3 %. Jadi berdasarkan grafik 4.11 dapat terlihat bahwa semakin tinggi putaran engine, maka nilai efisiensi thermal yang dihasilkan semakin menjadi besar. Nilai efisiensi thermal maksimum dari grafik diatas diperoleh dari jenis Timing 14° CA BTDC pada putaran 1900 yaitu sebesar 4 %.

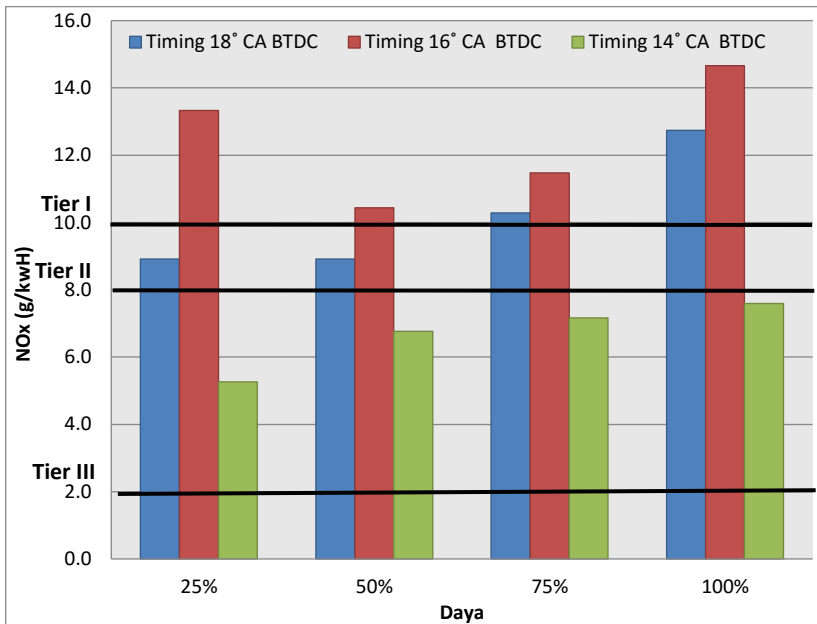
4.3 Pengujian Emisi

Dalam melakukan pengujian emisi NO_x data awal yang di butuhkan adalah variasi rpm dan variasi beban yang sesuai dengan aturan pengujian dari standar IMO (International Maritime Organization). Setelah hasil pengujian emisi NO_x didapatkan, langkah selanjutnya yaitu membuat grafik *load* vs NO_x menggunakan variasi timing injeksi yang berbeda dan disesuaikan dengan standar yang diatur IMO yang tertera dalam MARPOL Annex VI Regulasi 13, apakah kadar timing injeksi yang divariasikan ini telah memenuhi dalam batasan standar regulasi tersebut.

Tabel 4.1 hasil pengujian emisi pada setiap timing injeksi

Load	RPM	Timing 14° CA BTDC		Timing 16° CA BTDC		Timing 18° CA BTDC	
		(ppm)	(gr/kwh)	(ppm)	(gr/kwh)	(ppm)	(gr/kwh)
25	63	490	5,2626	1241	13,3283	830	8,9142
50	80	630	6,7662	972	10,4392	830	8,9142
75	91	667	7,1635	1068	11,4703	958	10,2889
100	100	707	7,5931	1365	14,6601	1186	12,7376

Tabel 4.1 merupakan hasil dari eksperimen yang telah dilakukan. Syarat pengujian emisi yang diatur oleh IMO yaitu untuk menghasilkan daya 25% pada timing injeksi 14° CA dilakukan pada pembebanan 3500 Watt, daya 50% pada 2500 Watt, daya 75% pada 2500 Watt, dan daya 100% pada 3500 Watt. Dari data yang dihasilkan oleh gas *analyser*, berupa nilai NO dengan satuan ppm dan di konversi menjadi gr/kWh untuk memenuhi persyaratan dari MARPOL Annex VI Regulasi 13.



Grafik 4.10 Perbandingan Nox Dengan RPM

Pada grafik diatas menunjukkan perbandingan hasil dari keluaran NO_x antara tiga variasi timing injeksi dengan variasi putaran dan empat variasi pembebanan dengan menggunakan metode pengujian berdasarkan aturan oleh IMO. Perbandingan nilai kadar emisi NO_x terbesar didapatkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Nilai NO_x dengan timing injeksi pada sudut 16° CA BTDC (Standar) paling besar 7,59318 g/kWh pada kecepatan 2100 RPM. Sedangkan nilai Nox paling rendah saat menggunakan timing injeksi 14° CA (*Retarded*) sebesar 7,59318g/kWh pada kecepatan 2100

RPM. Nilai rata-rata NO_x pada setiap variasi timing injeksi adalah 9,795 g/kWh.

4.4 Pembahasan

Adapun pembahasan dengan berbagai hasil eksperimen yang telah dilakukan pada setiap pengujian dan menganalisa setiap grafik dengan memberikan penjelasan dari berbagai hasil data eksperimen. Adapun pembahasan seperti terlihat pada berikut ini:

4.4.1 Variasi sudut timing injeksi

Pada saat mesin berputar dengan kecepatan tinggi, katup harus membuka lebih cepat dan menutup lebih lambat sehingga katup membuka lebih lama untuk memberi kesempatan masuknya udara sebanyak - banyaknya dalam ruang bakar agar masuknya udara dapat dimanfaatkan sebesar - besarnya. Saat membukanya katup buang juga dipercepat agar supaya tekanan gas buang dapat dipercepat keluarnya. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan performa dan emisi yang efisien setelah membuat spi buatan (modifikasi) dengan diperlambat maupun dipercepat, serta berpotensi untuk dapat dijadikan referensi untuk engine maker sebagai referensi maupun riset di masa yang akan datang.

4.4.2 Pengujian Performa

Berdasarkan hasil pengujian peformansi mesin diesel yang dilakukan, didapatkan bahwa penggunaan timing injeksi pada sudut 14° CA (*Retarded*) direkomendasikan sebagai pengganti timing injeksi pada sudut 16° CA BTDC (Standar) dikarenakan memiliki prestasi performa yang lebih baik. Dari tabel hasil pengujian eksperimen, mesin diesel mengalami peningkatan prestasi kerja yang signifikan ketika timing injeksi pada sudut 16° CA BTDC pada putaran yang sama. Hal ini

membuktikan bahwa penggunaan pada timing injeksi yang sesuai dapat mempengaruhi kinerja dari performa mesin diesel. Bahan bakar terbakar dengan sempurna ketika saat penginjeksiaan pada saat siklus pembakaran maksimal tercapai pada mesin dan juga tekanan injeksi yang telah sesuai dengan spesifikasi mesin diesel tersebut.

4.4.3 Pengujian Emisi

Pada pengujian emisi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa kadar Nox pada saat injeksi Timing 16° CA BTDC (standar) lebih tinggi dibandingkan dengan kadar NOx dari injeksi Timing 14° CA BTDC (*Retarded*). Regulasi emisi yang dihasilkan pada timing injeksi 14° CA BTDC belum dapat memenuhi persyaratan regulasi IMO tier 3 akan tetapi hanya memenuhi pada tier 2. Sedangkan pada timing injeksi 16° CA BTDC dan timing injeksi 18° CA BTDC dapat memenuhi persyaratan regulasi IMO tier 1. Hal ini bisa disebabkan karena mesin belum dilengkapi dengan teknologi untuk mereduksi emisi gas buang. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut seperti mengaplikasikan teknologi *after treatment* guna memenuhi standar emisi pada tier 3

LAMPIRAN

RUMUS PERHITUNGAN

- Daya Mesin

Untuk mendapatkan daya mesin diperlukan beberapa variable yang didapatkan dari hasil eksperimen

$$\frac{V \cdot I \cdot \cos \phi}{\eta \text{ Generator} \times \eta \text{ Belt}}$$

Dimana :

V = Voltase

I = Arus

$\cos \phi$ = Sudut antara V dan I (0.9)

η_{Gen} = Efisiensi Generator (0.85)

η_{Belt} = Efisiensi Belt

$$\eta \text{ Belt} = \frac{\text{Putaran nyata}}{\text{Putaran Teori}}$$

$$\frac{\text{Putaran Motor} \times \text{Diameter pulley motor}}{\text{Diameter pulley Generator}} =$$

$$= \frac{2100 \times 11 \text{ cm}}{15 \text{ cm}}$$

$$= 1540 \text{ RPM}$$

- $\eta \text{ Belt}$ pada RPM 2100 beban 1000
 $= 1367/1540$
 $= 0.892$

- η Belt pada RPM 2100 beban 2000
= 1365/1540
= 0.891
- η Belt pada RPM 2100 beban 2500
= 1363/1540
= 0.889
- η Belt pada RPM 2100 beban 3000
= 1362/1540
= 0.889
- η Belt pada RPM 2100 beban 3500
= 1361/1540
= 0.888
- Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)
Konsumsi bahan bakar spesifik atau specific fuel consumption (SFOC) merupakan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah satuan daya.

$$FCR = \frac{\rho \times V}{T}$$

Dimana:

- FCR : laju aliran bahan bakar (gr/h)
 ρ : massa jenis bahan bakar (gr/m³)
 v : volume bahan bakar (m³)
 t : waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10ml

$$SFOC = \frac{FCR}{P}$$

Dimana:

SFOC : konsumsi spesifik bahan bakar
(g/kWh) P : daya (kW)

- Torsi

Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya.

$$T = \frac{P \times 60000}{2\pi \times rpm}$$

Dimana:

T : torsi
(Nm) P :
daya (kW)
n : putaran motor diesel (rpm)

- BMEP (Break Main Effective Pressure)

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan efektif dari fluida kerja terhadap torak sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja persiklus.

$$BMEP = \frac{P \times Z \times 1000}{v \times 2 \times 3,14 \times Rps \times i}$$

Dimana :

BMEP : tekanan efektif rata-rata
(N/m²) P : daya (kW)
Z : konstanta 2 untuk 4-
stroke v : volume langkah
(m³)
I : jumlah silinder

- Efisiensi Thermal (η_{th})

Efisiensi termal menyatakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap jumlah energi bahan bakar yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu.

$$\eta_{th} = \frac{P \times 1000000}{FCR \times LHV} \times 100\%$$

Dimana:

η_{th} : efisiensi thermal (%)

P : daya (kW)

FCR : laju aliran bahan bakar

(kg/h) LHV : Lower Heating

Value (J/kg)

TIMING 14" BIDD

Putaran Engine	Beban (watt)	Putaran Generator (rpm)	Alternator Tegangan Arus		Volume Bahan Bakar (ms3)	Waktu (detik)	waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m²)	LHV (J/kg)	Ef. Thermal (%)
			(volt)	(Ampere)												
1700	1000	1107	143	3,1	0,00001	85	0,0236	830000	0,89	0,53	351,53	668,13	2,96	117638,23	43921500	12,27
1700	2000	1106	146	6,6	0,00001	55	0,0153	830000	0,89	1,14	543,27	474,60	6,43	285941,10	43921500	17,27
1700	2500	1104	145	8,2	0,00001	52	0,0144	830000	0,89	1,42	574,62	406,08	7,95	316381,56	43921500	20,18
1700	3000	1102	144	9,9	0,00001	44	0,0122	830000	0,89	1,70	679,09	399,54	9,55	380027,01	43921500	20,51
1700	3500	1102	141	11,5	0,00001	40	0,0111	830000	0,89	1,93	747,00	386,40	10,87	432248,74	43921500	21,21
1800	1000	1174	163	3,3	0,00001	72	0,0200	830000	0,89	0,64	415,00	651,09	3,38	134595,90	43921500	12,59
1800	2000	1171	161	6,9	0,00001	54	0,0150	830000	0,89	1,32	553,33	419,27	7,01	278686,83	43921500	19,55
1800	2500	1169	160	8,7	0,00001	48	0,0133	830000	0,89	1,66	622,50	375,78	8,79	349802,65	43921500	21,81
1800	3000	1168	158	10,4	0,00001	41	0,0114	830000	0,89	1,96	728,78	372,37	10,39	413281,49	43921500	22,01
1800	3500	1165	155	12,1	0,00001	35	0,0097	830000	0,89	2,24	853,71	381,19	11,89	472922,00	43921500	21,50
1900	1000	1237	173	3,4	0,00001	72	0,0200	830000	0,89	0,70	415,00	594,34	3,51	139686,26	43921500	13,79
1900	2000	1235	172	7,1	0,00001	54	0,0150	830000	0,89	1,45	553,33	381,07	7,30	290481,32	43921500	21,51
1900	2500	1234	170	9	0,00001	45	0,0125	830000	0,89	1,82	664,00	364,70	9,16	364229,10	43921500	22,47
1900	3000	1232	169	10,8	0,00001	43	0,0119	830000	0,89	2,18	694,88	319,42	10,94	435209,26	43921500	25,66
1900	3500	1233	166	12,6	0,00001	32	0,0089	830000	0,89	2,49	933,75	374,85	12,53	498326,44	43921500	21,87
2000	1000	1298	186	3,6	0,00001	65	0,0181	830000	0,89	0,80	459,69	576,49	3,81	151544,13	43921500	14,22
2000	2000	1299	183	7,5	0,00001	48	0,0133	830000	0,89	1,63	622,50	381,16	7,80	310385,61	43921500	21,50
2000	2500	1295	182	9,4	0,00001	39	0,0108	830000	0,89	2,04	766,15	375,19	9,75	388085,89	43921500	21,85
2000	3000	1295	180	11,3	0,00001	34	0,0094	830000	0,89	2,43	878,82	361,98	11,60	461402,09	43921500	23,64
2000	3500	1297	177	13,6	0,00001	30	0,0083	830000	0,89	2,87	996,00	347,18	13,70	545218,49	43921500	23,61
2100	1000	1367	199	2	0,00001	60	0,0167	830000	0,89	0,47	498,00	1053,88	2,15	85528,91	43921500	7,78
2100	2000	1365	196	6	0,00001	45	0,0125	830000	0,89	1,40	664,00	474,87	6,36	253088,87	43921500	17,26
2100	2500	1364	195	7	0,00001	35	0,0097	830000	0,89	1,62	853,71	525,62	7,39	293979,24	43921500	15,59
2100	3000	1362	193	9	0,00001	32	0,0088	830000	0,89	2,07	939,62	453,95	9,42	374645,99	43921500	18,06
2100	3500	1363	189	11	0,00001	27	0,0074	830000	0,89	2,48	1114,93	450,37	11,26	448081,50	43921500	18,20

TIMING 16° B7DC

Putaran Engine	Bahan	Putaran Generator (rpm)	Alternator Tegangan		Volume Bahan Bakar (m3)	Waktu (detik)	waktu (jam)	Densitas (gram3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (m)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (Nm ²)	LHV (J/kg)	Eff. Thermal (%)
			(volt)	(Ampere)												
1700	1000	1103	143	3	0,00001	80	0,0222	830000	0,89	0,51	373,50	730,90	2,87	114256,50	43921500	11,21
1700	2000	1106	145	6,2	0,00001	60	0,0167	830000	0,89	1,07	498,00	466,31	6,00	238782,74	43921500	17,58
1700	2500	1105	146	7,9	0,00001	58	0,0161	830000	0,89	1,37	515,17	375,65	7,71	306650,99	43921500	21,82
1700	3000	1104	144	9,6	0,00001	46	0,0128	830000	0,89	1,65	649,57	394,83	9,25	367843,45	43921500	20,76
1700	3500	1103	140	11	0,00001	42	0,0117	830000	0,89	1,834	711,43	387,82	10,31	410150,82	43921500	21,13
1800	1000	1167	155	3,2	0,00001	78	0,0217	830000	0,89	0,59	385,08	647,89	3,14	128855,94	43921500	12,65
1800	2000	1168	157	6,5	0,00001	60	0,0167	830000	0,89	1,22	498,00	409,72	6,45	256666,12	43921500	20,01
1800	2500	1164	157	8,3	0,00001	53	0,0147	830000	0,89	1,56	563,77	362,00	8,27	328869,15	43921500	22,64
1800	3000	1166	156	10	0,00001	43	0,0119	830000	0,89	1,86	694,88	373,35	9,88	395028,84	43921500	21,95
1800	3500	1165	153	11,7	0,00001	38	0,0106	830000	0,89	2,14	786,32	367,85	11,35	451387,72	43921500	22,28
1900	1000	1235	170	3,3	0,00001	71	0,0197	830000	0,89	0,67	420,85	650,91	3,35	133442,43	43921500	12,99
1900	2000	1232	170	6,8	0,00001	55	0,0153	830000	0,89	1,38	543,27	394,29	6,93	275642,07	43921500	20,79
1900	2500	1236	169	8,6	0,00001	49	0,0136	830000	0,89	1,73	609,80	353,15	8,68	345453,98	43921500	23,21
1900	3000	1232	167	10,5	0,00001	38	0,0106	830000	0,89	2,09	786,32	376,22	10,51	418112,78	43921500	21,79
1900	3500	1231	163	12	0,00001	34	0,0094	830000	0,89	2,33	878,82	376,65	11,73	466776,70	43921500	21,76
2000	1000	1305	185	3,5	0,00001	62	0,0172	830000	0,89	0,77	481,94	628,39	3,66	145756,40	43921500	13,04
2000	2000	1300	181	7,1	0,00001	50	0,0139	830000	0,89	1,53	597,60	391,10	7,30	290396,88	43921500	20,96
2000	2500	1300	182	9	0,00001	43	0,0119	830000	0,89	1,95	694,88	356,79	9,30	370142,47	43921500	22,97
2000	3000	1299	180	10,9	0,00001	36	0,0100	830000	0,89	2,33	830,00	355,51	11,15	448698,77	43921500	23,06
2000	3500	1298	176	12,7	0,00001	32	0,0089	830000	0,89	2,66	933,75	350,80	12,72	505871,34	43921500	23,37
2100	1000	1367	203	2	0,00001	57	0,0144	830000	0,89	0,48	574,62	1192,06	2,19	87248,08	43921500	6,88
2100	2000	1365	198	6	0,00001	42	0,0117	830000	0,89	1,41	711,43	503,65	4,43	235671,41	43921500	16,27
2100	2500	1363	195	7	0,00001	35	0,0097	830000	0,89	1,63	853,71	525,23	7,39	294194,92	43921500	15,61
2100	3000	1362	194	9	0,00001	33	0,0092	830000	0,89	2,08	905,45	435,19	9,47	376587,16	43921500	18,83
2100	3500	1361	190	11	0,00001	28	0,0078	830000	0,89	2,492	1067,14	428,17	11,34	451114,24	43921500	19,14

TIMING 18° BTDC

Putaran Engine RPM	Beban (watt)	Putaran Generator		Volume Bahan Bakar (m ³)	Waktu (detik)	waktu Denstias (gr/m ³)	Efisiens i Slip	Daya (kw)	FCR (mf)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m ²)	LHV (J/kg)	Ef. Thermal (%)		
		Alternator Tegangan (volt)	Arus (Ampere)													
1700	1000	1107	138	2,9	0,00001	65	0,018	830000	0,8921	0,4750	459,69	967,80	2,67	106200,81	43921500	8,47
1700	2000	1106	146	6,4	0,00001	57	0,016	830000	0,8913	1,1100	524,21	472,25	6,24	248185,31	43921500	17,36
1700	2500	1104	147	8,1	0,00001	40	0,011	830000	0,8897	1,4171	747,00	527,15	7,96	316833,91	43921500	15,55
1700	3000	1102	143	9,7	0,00001	37	0,010	830000	0,8881	1,6538	807,57	488,32	9,29	369763,94	43921500	16,79
1700	3500	1103	140	11,3	0,00001	33	0,009	830000	0,89	1,88	905,45	480,49	10,59	421336,75	43921500	17,06
1800	1000	1174	157	3,1	0,00001	50	0,014	830000	0,89	0,58	597,60	1036,20	3,06	121784,39	43921500	7,91
1800	2000	1171	154	6,6	0,00001	39	0,011	830000	0,89	1,21	766,15	634,50	6,41	254980,01	43921500	12,92
1800	2500	1169	160	8,5	0,00001	34	0,009	830000	0,89	1,62	878,82	543,00	8,59	341761,21	43921500	15,09
1800	3000	1168	154	10,2	0,00001	29	0,008	830000	0,89	1,87	1030,34	550,72	9,93	395072,16	43921500	14,88
1800	3500	1165	150	11,8	0,00001	25	0,007	830000	0,89	2,11	1195,20	565,48	11,22	446319,35	43921500	14,49
1900	1000	1237	171	3,3	0,00001	50	0,014	830000	0,89	0,67	597,60	892,10	3,37	134010,47	43921500	9,19
1900	2000	1235	168	7	0,00001	40	0,011	830000	0,89	1,40	747,00	534,22	7,03	279729,80	43921500	15,34
1900	2500	1234	168	8,8	0,00001	33	0,009	830000	0,89	1,76	905,45	514,68	8,85	351945,30	43921500	15,93
1900	3000	1232	165	10,6	0,00001	29	0,008	830000	0,89	2,08	1030,34	494,25	10,48	417039,77	43921500	16,58
1900	3500	1233	160	12,4	0,00001	24	0,007	830000	0,89	2,36	1245,00	526,91	11,88	472690,60	43921500	15,56
2000	1000	1298	183	2	0,00001	47	0,013	830000	0,89	0,44	635,74	1458,62	2,08	82833,26	43921500	5,62
2000	2000	1299	182	5,4	0,00001	37	0,010	830000	0,89	1,17	807,57	690,54	5,59	222256,45	43921500	11,87
2000	2500	1295	183	7,2	0,00001	33	0,009	830000	0,89	1,57	905,45	575,73	7,51	298890,56	43921500	14,24
2000	3000	1295	181	9,1	0,00001	23	0,006	830000	0,89	1,97	1299,13	660,80	9,39	373635,88	43921500	12,40
2000	3500	1297	175	11	0,00001	20	0,006	830000	0,89	2,29	1494,00	651,22	10,96	436002,65	43921500	12,59
2100	1000	1367	202	2	0,00001	45	0,013	830000	0,89	0,48	664,00	1384,31	2,18	86818,29	43921500	5,92
2100	2000	1365	196	6	0,00001	36	0,010	830000	0,89	1,40	830,00	593,58	6,36	253088,87	43921500	13,81
2100	2500	1364	195	7	0,00001	30	0,008	830000	0,89	1,62	996,00	613,22	7,39	293979,24	43921500	13,37
2100	3000	1362	194	9	0,00001	23,5	0,007	830000	0,89	2,08	1271,49	611,12	9,47	376587,16	43921500	13,41
2100	3500	1363	192	11	0,00001	18,6	0,005	830000	0,89	2,51	1606,45	638,77	11,44	455193,90	43921500	12,83

Laporan Hasil Pengujian

Kode Sampel : 01 - 422	Tanggal Terima : 28 Juni 2016
Nama Sampel : Emisi Mesin Otomotif Honda 1L - 195	Tanggal Pengerjaan : 13 Juli 2016
Jenis Uji : Uji Emisi	Tanggal Selesai : 13 Juli 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Timing 14°

0.0m W80

```

*****
* ECOM - J2KN *
*****
Date      Time
18.14.00  12:27 AM
-----
Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural
-----
T.Air      83  °F
T.Gas      373  °F
T.Sensor   81  °F
O2         18.5  %
NO 0%O2    638  PPM
SO2 0%O2   0    PPM
H2 0%O2    0    PPM
CO2        1.4  %
Eff.       28.1  %
Losses     79.9  %
Exc. air   8.48
-----
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Sainesville
Georgia 30507
Tel: 770-532-3280
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
  
```

0.0m 1325°

```

*****
* ECOM - J2KN *
*****
Date      Time
18.14.00  12:29 AM
-----
Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural
-----
T.Air      84  °F
T.Gas      378  °F
T.Sensor   83  °F
O2         19.5  %
NO 0%O2    490  PPM
SO2 0%O2   0    PPM
H2 0%O2    0    PPM
CO2        0.8  %
Eff.       28.9  %
Losses     79.1  %
Exc. air   14.00
-----
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Sainesville
Georgia 30507
Tel: 770-532-3280
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
  
```

Laporan Hasil Pengujian

Kode Sampel : E1-422	Tanggal Terima : 26 Juni 2016
Nama Sampel: Emisi Mesin Diesel Standby (L-175)	Tanggal Pengerjaan: 13 Juli 2016
Jenis Uji : Uji Emisi	Tanggal Selesai : 13 Juli 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Workshop

10.14.00

12.34.00

 * E C O N - J 2 K N *

Date Time
 10.14.00 12:31 AM

Gas analysis

Fuel type
 Gas-Natural

T.Air	85	°F
T.Gas	595	°F
T.Sensor	84	°F
O2	19.3	%
NO 0%O2	667	PPM
SO2 0%O2	0	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	0.9	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	12.35	

ECON America Ltd.
 1628 Oakbrook Drive
 Gainesville
 Georgia 30507
 Tel. 770-532-3280
 Fax: 770-532-3620
 Toll-Free 877-326-6411
 www.econusa.com

 * E C O N - J 2 K N *

Date Time
 10.14.00 12:34 AM

Gas analysis

Fuel type
 Gas-Natural

T.Air	85	°F
T.Gas	643	°F
T.Sensor	86	°F
O2	19.1	%
NO 0%O2	787	PPM
SO2 0%O2	0	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	1.1	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	11.65	

ECON America Ltd.
 1628 Oakbrook Drive
 Gainesville
 Georgia 30507
 Tel. 770-532-3280
 Fax: 770-532-3620
 Toll-Free 877-326-6411
 www.econusa.com

Laporan Hasil Pengujian

Kode Sampel : E1-132	Tanggal Terima : 28 Juni 2014
Nama Sampel: Emisi Mesin Diesel Dorethoi Lt. ITS	Tanggal Pengerjaan: 14 Juli 2014
Jenis Uji : Uji Emisi	Tanggal Selesai : 14 Juli 2014
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Tuning 15"
04th 200

4th 13.3

```

*****
* E C O N - J 2 K H *
*****
Date      Time
18.14.00  10:09 PM
  
```

Gas analysis

Fuel type
Gas-Natural

T.Air	89	°F
T.Gas	746	°F
T.Sensor	99	°F
O2	18.4	%
NO 0%O2	1365	PPM
SO2 0%O2	8	PPM
H2 0%O2	8	PPM
CO2	1.4	%
Eff.	8.8	%
Losses	100.8	%
Exc. air	8.88	

EDDM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3280
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecoUSA.com

```

*****
* E C O N - J 2 K H *
*****
Date      Time
18.14.08  10:11 PM
  
```

Gas analysis

Fuel type
Gas-Natural

T.Air	89	°F
T.Gas	488	°F
T.Sensor	99	°F
O2	18.8	%
NO 0%O2	1241	PPM
SO2 0%O2	8	PPM
H2 0%O2	8	PPM
CO2	1.2	%
Eff.	25.6	%
Losses	74.4	%
Exc. air	9.55	

EDDM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3280
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecoUSA.com

Laporan Hasil Pengujian

Kode Sampel : E1-432	Tanggal Terima : 28 Juni 2016
Nama Sampel: Emisi Mesin Diesel Honda (1-175)	Tanggal Pengerjaan: 14 Juli 2016
Jenis Uji : Uji Emisi	Tanggal Selesai : 14 Juli 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Terima &

Uji

Uji

 * E C O M - J 2 K N *

 Date Time
 18.14.00 18:04 PM

Gas analysis

Fuel type
 Gas-Natural

T.Air 91 °F
 T.Gas 789 °F
 T.Sensor 99 °F
 O2 18.3 %
 NO %O2 972 ppm
 SO2 %O2 0 ppm
 H2 %O2 0 ppm
 CO2 1.5 %
 Eff. 80.0 %
 Losses 100.0 %
 Exc. air 7.78

ECOM America Ltd.
 1628 Oakbrook Drive
 Gainesville
 Georgia 30607
 Tel. 770-532-3288
 Fax: 770-532-3628
 Toll-Free 877-326-6411
 www.ecomusa.com

 * E C O M - J 2 K R *

 Date Time
 18.14.00 18:06 PM

Gas analysis

Fuel type
 Gas-Natural

T.Air 88 °F
 T.Gas 766 °F
 T.Sensor 188 °F
 O2 19.8 %
 NO %O2 1068 ppm
 SO2 %O2 0 ppm
 H2 %O2 0 ppm
 CO2 0.7 %
 Eff. 80.0 %
 Losses 100.0 %
 Exc. air 17.50

ECOM America Ltd.
 1628 Oakbrook Drive
 Gainesville
 Georgia 30607
 Tel. 770-532-3288
 Fax: 770-532-3628
 Toll-Free 877-326-6411
 www.ecomusa.com

Laporan Hasil Pengujian

Kode Sampel : 01- 021	Tanggal Terima : 28 Juni 2016
Nama Sampel : Emisi Mesin Diesel Jhonhwa D-175	Tanggal Pengerjaan : 14 Juli 2016
Jenis Uji : Uji Emisi	Tanggal Selesai : 14 Juli 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Timing 18"

Rev 200

Rev 023

* ECOM - J2KN *

Date Time
10.15.00 12:59 AM

Gas analysis

Fuel type
Gas-Natural

T.Air	88	°F
T.Bas	567	°F
T.Sensor	89	°F
O2	19.3	%
NO 0%O2	1136	PPM
SO2 0%O2	12	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	0.9	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	12.35	

ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3200
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com

* ECOM - J2KN *

Date Time
10.15.00 01:03 AM


Gas analysis

Fuel type
Gas-Natural

T.Air	90	°F
T.Bas	500	°F
T.Sensor	91	°F
O2	18.8	%
NO 0%O2	830	PPM
SO2 0%O2	29	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	1.2	%
Eff.	23.8	%
Losses	76.2	%
Exc. air	9.55	

ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3200
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com

Laporan Hasil Pengujian

Kode Sampel : E1-422	Tanggal Terima : 28 Juni 2016
Nama Sampel: Emisi Mesin Diesel (Dihonolol) R-175	Tanggal Pengerjaan: 14 Juli 2016
Jenis Uji : Uji Emisi	Tanggal Selesai : 14 Juli 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Timing 18°

Rpm 180

Rpm 180

 * E C O M - J 2 K N *

 Date Time
 10.15.00 12:51 AM

Gas analysis

Fuel type
 Gas-Natural

T.Air	84	°F
T.Gas	504	°F
T.Sensor	84	°F
O2	19.8	%
NO 0%O2	830	PPM
SO2 0%O2	32	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	1.1	%
Eff.	15.5	%
Losses	84.5	%
Exc. air	10.50	

ECON America Ltd.
 1628 Oakbrook Drive
 Gainesville
 Georgia 30507
 Tel. 770-532-3280
 Fax: 770-532-3620
 Toll-Free 877-326-6411
 www.econusa.com

 * E C O M - J 2 K N *

 Date Time
 10.15.00 12:53 AM

Gas analysis

Fuel type
 Gas-Natural

T.Air	86	°F
T.Gas	563	°F
T.Sensor	85	°F
O2	19.4	%
NO 0%O2	950	PPM
SO2 0%O2	13	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	0.9	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	13.13	

ECON America Ltd.
 1628 Oakbrook Drive
 Gainesville
 Georgia 30507
 Tel. 770-532-3280
 Fax: 770-532-3620
 Toll-Free 877-326-6411
 www.econusa.com

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan proses pembuatan spi untuk merubah sudut timing injeksi dan pengujian performa serta emisi gas buang dalam unjuk kerja mesin diesel, maka dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam memvariasikan timing injeksi dapat dilakukan dengan metode pembuatan ukuran baru dengan mengacu pada ukuran standar menjadi ukuran variasi, yaitu diperlambat maupun dipercepat dengan beberapa tahapan pengerjaan pada metodologi penelitian tugas akhir ini.
2. Dalam pengujian performa, mesin diesel mengalami peningkatan prestasi kerja yang signifikan ketika menggunakan timing injeksi pada sudut 16° CA BTDC pada putaran yang sama. Hasil nilai daya maksimum, torsi maksimum, dan BMEP maksimum mesin diesel mengalami peningkatan sebesar 12,59 %.
3. Dalam pengujian emisi NOx pada variasi rpm dengan variasi beban dan variasi rpm yang mengacu standart pengujian IMO yaitu, injeksi Timing 16° CA BTDC (*standard*) menghasilkan kandungan Nox yang lebih tinggi. Sedangkan injeksi Timing 14° CA BTDC (*Retarded*) menghasilkan kandungan Nox yang lebih rendah sebesar 7 g/kWh.

5.2. Saran

1. Dari segi ekonomi, proses pengujian emisi gas buang memerlukan biaya yang banyak. Sebab alat uji emisi yang digunakan masih menyewa dari luar yaitu laboratorium Energi – ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Heywood, J.R. 1998. Internal Combustion Engine Fundamentals. Newyork
- [2] IMO.1998. Annex VI MARPOL 77/78 Regulation for the Prevention of Air Polution from Ship and NO_x Technical Code. International Maritime Organization, London.
- [3] Isnaini, Y. 2013. *Analisa PerfomaMesin Diesel Berbahan Bakar Komposisi Campuran Antara Minyak Tuak*. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS-FTK. Surabaya.
- [4] Kates, E.J. dan William, E. L. 1954. Diesel And High Compression Gas Engine. Newyork
- [5] Prabowo, N.R. 2014. *Studi Eksperimental Pengaruh Timing Injection Terhadap Unjuk Kerja Mesin Diesel 1 Silinder Putaran Konstan Dengan Bahan Bakar Bio Solar*. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS-FTK. Surabaya.
- [6] Surya, R. 2014. *Analisa Pengaruh Variasi Timing Fuel Injection Pump Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Emisi Gas Buang Pada Mesin Mitsubhisi Ps 120*. Jurusan Mesin Kapal PPNS. Surabaya.
- [7] Zuhdi, M.F.A, Buwono,T., Gerianto, I. 2003. *Biodiesel sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil pada Mesin Diesel*. Laporan Riset – Riset Unggulan Terpadu VIII Bidang Teknologi Energi.

BIODATA PENULIS



Penulis, Surya Rachmat lahir di Sidoarjo pada tanggal 16 Mei 1993. Penulis menghabiskan waktunya bertempat tinggal di Sidoarjo. Setelah lulus dari jurusan Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Penulis melanjutkan pendidikannya di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS pada tahun 2014 dan terdaftar sebagai mahasiswa aktif dengan NRP 4214105016.

Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, penulis mengambil bidang studi Marine Power Plan (MPP). Selain mengikuti perkuliahan, penulis juga tercatat sebagai member di Laboratorium Marine Power Plan (MPP).