



KAJIAN EMISI GAS BUANG AKIBAT MODIFIKASI *PISTON CROWN*  
PADA MODIFIKASI MOTOR DIESEL *DUAL FUEL*

SINTA BELLA  
NRP. 04211740000024

PEMBIMBING:  
DR. I MADE ARIANA, S.T., M.T.  
PROF. IR. AGUK ZUHDI M. FATHALLAH, M.ENG., PH.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2021





THE STUDY OF EMISSIONS AS THE RESULT OF MODIFICATIONS  
PISTON CROWN ON DUAL FUEL DIESEL ENGINE MODIFIATIONS

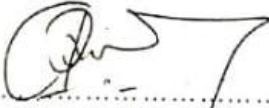
SINTA BELLA  
NRP. 0421174000024


SUPERVISORS:  
DR. I MADE ARIANA, S.T., M.T.  
PROF. IR. AGUK ZUHDI M. FATHALLAH, M.ENG., PH.D.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2021

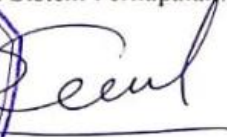


“Dengan ini kami menyatakan bahwa kami telah membaca Tugas Akhir ini dan dalam penilaian kami Tugas Akhir ini cukup memadai dari segi ruang lingkup dan kualitas untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik.”

Tanda Tangan :   
Pembimbing I : DR. I MADE ARIANA, S.T., M.T.  
NIP./NPP. : 197106101995121001  
Tanggal : 27 Agustus 2021

Tanda Tangan :   
Pembimbing II : PROF. IR. AGUK ZUHDI M. FATHALLAH,  
M.ENG., PH.D.  
NIP./NPP. : 195605191986101001  
Tanggal : 27 Agustus 2021

Disahkan oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:

Tanda Tangan :   
Nama : BENYU CAHYONO, S.T., M.T., PH.D.  
NIP./NPP. : 197903192008011008  
Tanggal :





KAJIAN EMISI GAS BUANG AKIBAT MODIFIKASI *PISTON*  
*CROWN* PADA MODIFIKASI MOTOR DIESEL *DUAL FUEL*

SINTA BELLA

Tugas Akhir diajukan untuk memenuhi  
salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Teknik  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
27 AGUSTUS 2021

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



“Saya menyatakan bahwa Tugas Akhir berjudul *Kajian Emisi Gas Buang Akibat Modifikasi Piston Crown pada Modifikasi Motor Diesel Dual Fuel* ini adalah hasil penelitian saya sendiri kecuali kutipan yang tercantum dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini belum diterima untuk gelar apapun dan tidak secara bersamaan diserahkan untuk pencalonan gelar lainnya.”



Tanda Tangan : .....  
Nama : SINTA BELLA  
NRP. : 0421174000024  
Tanggal : 27 Agustus 2021

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PENGHARGAAN

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penyusunan laporan tugas akhir yang berjudul **“Kajian Emisi Gas Buang Akibat Modifikasi Piston Crown Pada Modifikasi Motor Diesel Dual Fuel”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS untuk dapat dinyatakan lulus sehingga disusunlah tugas akhir ini.

Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, penulis telah mendapatkan banyak dukungan dari berbagai pihak Untuk itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Bambang dan Ibu Winarti yang telah memberikan dukungan penuh kepada penulis dalam bentuk semangat, moral, dan lainnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar
2. Bapak Dr. I Made Ariana, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membimbing penulis, mensupport pendanaan untuk penelitian ini, dan memotivasi untuk selesainya tugas akhir ini
3. Bapak Prof. Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah, M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing penulis dan memotivasi untuk selesainya tugas akhir ini
4. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T. selaku Dosen Wali penulis selama berkuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan
5. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan membagi pengalaman
6. Bapak Nurafandi selaku Teknisi Laboratorium MPP yang sangat membantu dalam eksperimen yang dilakukan penulis
7. Bu Betty Ariani yang telah membantu dan bersedia meluangkan waktunya untuk berdiskusi terkait topik tugas akhir ini
8. Queen Fitri M.S yang selalu mensupport penulis selama berkuliah dan telah meminjamkan laptop selama pengerjaan tugas akhir ini
9. Teman saya Nabil, Syuhri, Candi, Kito, Wulan, dan Mas Fafa yang telah membantu penulis dalam melakukan eksperimen
10. Teman satu angkatan Badrikara'17 yang telah memberikan dukungan dan semangat tiada hentinya, serta pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menambah ilmu pengetahuan penulis dan pembaca. Aamiin.

Surabaya, Agustus 2021

Sinta Bella

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRAK

Penggunaan natural gas pada motor diesel mengakibatkan tidak terjadi pembakaran sempurna karena jumlah udara pembakaran menjadi berkurang sehingga menyebabkan AFR (Air Fuel Ratio) menjadi lebih rendah. Langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut salah satunya dengan melakukan modifikasi pada piston crown. Akan tetapi, modifikasi yang dilakukan tentunya akan berpengaruh terhadap kadar emisi yang dihasilkan sehingga perlu dikaji lebih lanjut. Emisi yang akan dikaji pada penelitian ini antara lain  $\text{NO}_x$ , *Unburned Hydrocarbon* (UHC), dan *Methane Slip*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen. Eksperimen dilakukan pada 4 kondisi antara lain piston standar *single fuel*, piston standar *dual fuel*, piston modifikasi *single fuel*, dan piston modifikasi *dual fuel*. Hasil yang didapat dari eksperimen yang dilakukan adalah piston standar *dual fuel* mampu menghasilkan emisi  $\text{NO}_x$  dan UHC yang lebih rendah, sedangkan *methane slip* yang dihasilkan lebih tinggi.

**Kata kunci :** Dual fuel, Methane Slip,  $\text{NO}_x$ , Single fuel, UHC.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRACT

The utilization of natural gas on diesel engine generate the imperfection result of combustion, since amount of air in combustion chamber had reduced causing the number of air fuel ratio (AFR) getting lower. One of the solution can be taken to reduced the problem above is “Crown Piston Modification”. However, this modification will affect in the emission level generated by the diesel engine. So, it is required to do more observation. This observation will be focused on how much emission level such as NO<sub>x</sub>, Unburned Hydrocarbon (UHC), and Methane Slip gained in every piston modification. The experiment carried out in 4 type conditions, they are Standard Piston with Single Fuel, Standard Piston with Dual Fuel, Modificated Piston with Single Fuel, and Modificated Piston with Dual Fuel. Based on the experiment data, it can be concluded that the standard piston with dual fuel are able to gain lower level of NO<sub>x</sub> and UHC, but not in methane slip.

**Key word** : Dual Fuel, Methane Slip, NO<sub>x</sub>, Single Fuel, UHC.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....	iii
PENGHARGAAN .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR SINGKATAN.....	xvii
DAFTAR SIMBOL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian .....	1
1.2 Pernyataan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	3
2.1 Pendahuluan .....	3
2.2 Studi Terkait.....	3
2.3 Teori Dasar.....	5
2.3.1 Mesin Diesel <i>Dual Fuel</i> .....	5
2.3.2 Piston Crown.....	6
2.3.3 CNG (Compressed Natural Gas).....	6
2.3.4 Emisi Gas Buang.....	8
2.3.5 MARPOL ANNEX VI.....	10
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	12
3.1 Pendahuluan .....	12
3.2 Diagram Alir Penelitian .....	12
3.3 Identifikasi Masalah.....	13
3.4 Studi Literatur .....	13
3.5 Persiapan Alat dan Bahan .....	13
3.6 Eksperimen.....	15
3.7 Pencatatan dan Pengolahan Data.....	16
3.8 Analisa Data.....	16
3.9 Penarikan Kesimpulan.....	16
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Pendahuluan .....	17
4.2 Hasil Uji Emisi NO <sub>x</sub> .....	17
4.3 Hasil Uji Emisi <i>Unburned Hydrocarbon</i> (UHC) .....	19
4.4 Hasil Uji Emisi <i>Methane Slip</i> .....	21
4.5 Hasil Uji Performa Mesin .....	23

BAB 5 KESIMPULAN .....	26
5.1    Gambaran Umum Penelitian .....	26
5.2    Kesimpulan.....	26
5.3    Saran .....	26
DAFTAR PUSTAKA.....	28

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Gas Penyusun Natural Gas.....	7
Tabel 2.2 Perbedaan Karakteristik CNG dan Dual Fuel.....	8
Tabel 2.3 Batas Emisi MARPPOL Annex IV.....	11
Tabel 4.1 Hasil Uji Emisi NO <sub>x</sub> Piston Standar Single Fuel.....	17
Tabel 4.2 Hasil Uji Emisi NO <sub>x</sub> Piston Standar Dual Fuel.....	17
Tabel 4.3 Hasil Uji Emisi NO <sub>x</sub> Piston Modifikasi Single Fuel.....	18
Tabel 4.4 Hasil Uji Emisi NO <sub>x</sub> Piston Modifikasi Dual Fuel.....	18
Tabel 4.5 Hasil Uji Emisi UHC Piston Standar Single Fuel.....	20
Tabel 4.6 Hasil Uji Emisi UHC Piston Standar Dual Fuel.....	20
Tabel 4.7 Hasil Uji Emisi UHC Piston Modifikasi Single Fuel.....	21
Tabel 4.8 Hasil Uji Emisi UHC Piston Modifikasi Dual Fuel.....	21
Tabel 4.9 Hasil Uji Emisi Methane Slip Piston Standar Single Fuel.....	22
Tabel 4.10 Hasil Uji Emisi Methane Slip Piston Standar Dual Fuel.....	22
Tabel 4.11 Hasil Uji Emisi Methane Slip Piston Modifikasi Single Fuel.....	23
Tabel 4.12 Hasil Uji Emisi Methane Slip Piston Modifikasi Dual Fuel.....	23

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Mesin Diesel <i>Dual Fuel</i> (researchget.net).....	5
Gambar 2.2 Piston (actiondreamer.com).....	6
Gambar 3.1 Flow Chart Metodologi Penelitian.....	12
Gambar 3.2 Desain Piston Modifikasi.....	14
Gambar 3.3 Desain Piston Standar.....	14
Gambar 3.4 Mesin Yanmar TF 85-MH.....	14
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Beban dengan Kadar Emisi NO <sub>x</sub> .....	19
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Beban dengan Kadar Emisi UHC.....	21
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Beban dengan Kadar Emisi Methane Slip.....	24
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Daya dengan SFC.....	25

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR SINGKATAN

NO <sub>x</sub>	: Nitrogen Oxide
CNG	: Compressed Natural Gas
AFR	: Air Fuel Ratio
UHC	: Unburned Hydro Carbon
HSV	: High Speed Vessel

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR SIMBOL

-

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penelitian

Bahan bakar yang digunakan pada mesin diesel umumnya menghasilkan emisi gas buang seperti *Nitrogen Oxides* ( $\text{NO}_x$ ), *Sulfur Oxides* ( $\text{SO}_x$ ), dan partikel lainnya. *Dual fuel* merupakan salah satu cara untuk mengurangi emisi gas buang, dimana bahan bakar yang digunakan adalah perpaduan dari gas dan bahan bakar minyak. *Dual fuel Diesel Engine* ialah mesin diesel yang dalam pengoperasiannya menggunakan dua jenis bahan bakar yaitu bahan bakar gas dan bahan bakar diesel sebagai pilot fuel.

Penggunaan *natural gas* pada mesin diesel mengakibatkan tidak terjadinya pembakaran sempurna sehingga tetap diperlukan bahan bakar konvensional yang akhirnya mengubah sistem bahan bakar mesin diesel tersebut menjadi *dual fuel*. Sistem *dual fuel* umumnya mengalami permasalahan pada berkurangnya rasio udara dan bahan bakar. Jumlah udara pembakaran menjadi berkurang disebabkan adanya pemasukan bahan bakar gas pada intake yang menyebabkan AFR menjadi lebih rendah. AFR yang rendah menyebabkan terjadinya campuran yang kaya bahan bakar, sehingga efisiensi thermal menjadi lebih rendah karena bahan bakar tidak terbakar secara menyeluruh.

Diperlukan suatu metode untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satunya dengan dilakukan modifikasi terhadap *piston crown* pada modifikasi motor diesel *dual fuel*. Modifikasi tersebut tentunya perlu dikaji mengenai dampaknya terhadap emisi yang dihasilkan sehingga dilakukan penelitian ini. Pada penelitian sebelumnya modifikasi *piston crown* dilakukan untuk mencari performa terbaik dari mesin diesel *dual fuel* tersebut sehingga penelitian ini juga dimaksudkan untuk melengkapi penelitian sebelumnya.

### 1.2 Pernyataan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini berdasarkan latar belakang tersebut ialah :

1. Bagaimana pengaruh modifikasi *piston crown* pada modifikasi motor diesel *dual fuel* terhadap kandungan  $\text{NO}_x$  yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh modifikasi *piston crown* pada modifikasi motor diesel *dual fuel* terhadap *Unburned Hydro Carbon* ?

3. Bagaimana pengaruh modifikasi *piston crown* pada modifikasi motor diesel *dual fuel* terhadap *Methane Slip* ?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini, maka tujuan dari penelitian ini ialah :

1. Mengetahui pengaruh modifikasi *piston crown* pada modifikasi motor diesel *dual fuel* terhadap kandungan  $\text{NO}_x$  yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh modifikasi *piston crown* pada modifikasi motor diesel *dual fuel* terhadap *Unburned Hydro Carbon*.
3. Mengetahui pengaruh modifikasi *piston crown* pada modifikasi motor diesel *dual fuel* terhadap *Methane Slip*.

### 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terfokuskan perlu ditetapkan batasan-batasan masalah, diantaranya :

1. Penelitian ini hanya sebatas uji laboratorium.
2. Emisi yang dikaji dalam penelitian ini berkaitan  $\text{NO}_x$ , *Unburned Hydro Carbon*, dan *Methane Slip*.
3. Penelitian ini tidak menghitung nilai dari segi ekonomi.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini ialah memberikan pengetahuan mengenai pengaruh modifikasi *piston crown* pada modifikasi motor diesel *dual fuel* terhadap emisi gas buang ( $\text{NO}_x$ , *Unburned Hydro Carbon*, dan *Methane Slip* ) yang dihasilkan.

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan mengenai peta jalan penelitian dan juga dijelaskan tentang dasar-dasar teori yang mendukung untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan dalam penelitian. Pada sub-bab Studi Terkait berisi tentang hasil penelitian-penelitian mesin diesel berbahan bakar ganda yang telah ada. Pada sub-bab Dasar Teori dikelompokkan menjadi beberapa bagian, diantaranya teori mengenai mesin diesel *dual fuel*, piston crown, CNG, dan emisi gas buang.

#### 2.2 Studi Terkait

Studi Terkait diperlukan untuk menunjukkan penelitian yang berkaitan dengan pengerjaan tugas akhir ini yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan referensi pengerjaan serta menambah wawasan pembahasan pada pengerjaan tugas akhir. Dimana pada penelitian sebelumnya modifikasi *piston crown* pada modifikasi motor diesel *dual fuel* dimaksudkan untuk mengoptimalkan pembakaran bahan bakar agar terjadi pembakaran yang sempurna, dan pada penelitian ini akan dikaji pengaruh modifikasi *piston crown* tersebut terhadap emisi yang dihasilkan. Berikut ini beberapa studi terkait emisi gas buang dan mesin diesel *dual fuel* diantaranya :

1. Penelitian berjudul “Pengaruh Pengaturan Waktu Injeksi dan Durasi Injeksi terhadap Brake Mean Effective Pressure dan Thermal Efficiency pada Mesin Diesel Dual Fuel” yang diteliti oleh Arif dkk (2017). Pada penelitian tersebut dilakukan pengujian pengaruh pengaturan waktu injeksi dan durasi injeksi CNG terhadap brake mean effective pressure dan thermal efficiency pada mesin diesel dual fuel berbahan bakar solar dan CNG.
2. Penelitian berjudul “Studi Kelayakan Konversi *Diesel Engine* Berbahan Bakar Minyak menjadi *Dual Fuel Diesel Engine* pada Kapal Container 368 TEU” yang diteliti oleh M. Rizqi Fitra H pada tahun 2015. Pada penelitian tersebut dilakukan konversi mesin single fuel menjadi dual fuel berdasarkan segi teknis dan ekonomis, yang mana hal ini merupakan salah satu cara untuk mengurangi emisi gas buang yang sangat cocok dalam memenuhi standar IMO Tier III untuk tahun 2016.
3. Penelitian berjudul “Effect of Natural Gas Injection Timing on Combustion Performance & Methane Slip Emission of Diesel – NG Dual

Fuel Engine : An Experimental Study” yang diteliti oleh Ariani dkk (2019). Pada penelitian tersebut digunakan teknologi dual fuel yang mana menggunakan natural gas sebagai bahan bakar penunjang yang merupakan solusi cerdas karena lebih bersih, murah, dan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dimana pada aplikasi mesin diesel dual fuel tantangan terbesarnya ialah Methane Slip yang disebabkan pembakaran metana yang tidak tuntas.

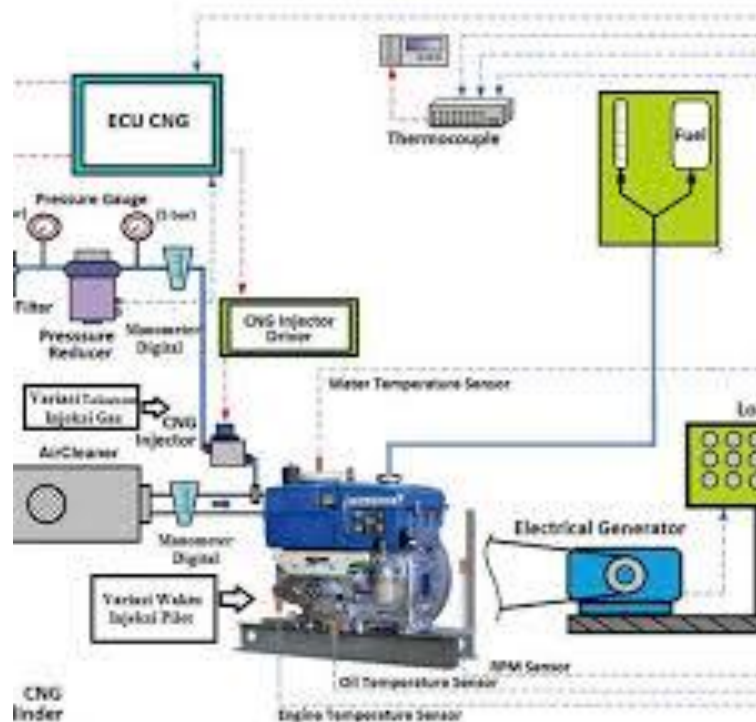
4. Penelitian berjudul, “*Numerical Modelling of Unburned Hydrocarbon Emissions in Gas Engines with Varied Fuels*” yang diteliti oleh K. Kuppa dkk pada tahun 2019. Pada penelitian tersebut dilakukan pengembangan *numerical model* untuk memprediksi *Unburned Hydrocarbon (UHC) emissions* pada gas engine.
5. Studi mengenai penggunaan bahan bakar ganda yang pernah dilakukan Talal dkk (2009) dengan menggunakan metode pengkajian penggunaan permodelan artificial neural network (ANN) atau yang disebut permodelan jaringan syaraf tiruan untuk memprediksi brake power, torsi, brake specific fuel consumption (BSFC). Di samping itu mempelajari emisi gas buang dari mesin diesel yang telah dimodifikasi. Sebuah mesin diesel 4-tak 1 silinder telah dimodifikasi untuk pekerjaan ini dan dioperasikan pada beban dan kecepatan mesin yang berbeda. Hasil percobaan menunjukkan bahwa campuran CNG dan solar menghasilkan performa mesin yang lebih baik dan meningkatkan karakteristik emisi dibandingkan dengan bahan bakar solar murni.
6. Studi yang dilakukan Fuyuan dkk (2012) mengenai pengaturan kuantitas bahan bakar untuk mesin diesel berbahan bakar ganda CNG-Solar, efek pengaturan jumlah bahan bakar dan waktu penyemprotan sangat terlihat dan signifikan. Pada penelitian ini, karakteristik emisi dari mesin diesel berbahan bakar ganda CNG-Solar dengan perbedaan pengaturan jumlah bahan bakar dan waktu penyemprotan yang dioptimalkan telah diselidiki. Tingkat emisi CO pada mode operasi bahan bakar ganda jauh lebih tinggi dibanding pada saat mode bahan bakar solar murni bahkan pada beban kerja tinggi yang menunjukkan bahwa terdapat beberapa area menguapnya api. Mode bahan bakar ganda mengurangi emisi NO<sub>x</sub> sebesar 30% jika dibandingkan dengan mode bahan bakar solar. Hal tersebut disebabkan sebagian besar bahan bakar terbakar di bawah kondisi pra-campuran yang menghasilkan rendahnya temperature sekitar.
7. Penelitian berjudul “Kajian Eksperimental Unjuk Kerja *Dual Fuel Engine* Hasil Modifikasi dari *Diesel Engine*” yang dilakukan Hidayat (2014) membahas mengenai performa mesin diesel dual fuel yang telah dirancang.

## 2.3 Teori Dasar

Teori dasar yang berkaitan dengan penelitian ini ialah sebagai berikut :

### 2.3.1 Mesin Diesel *Dual Fuel*

Mesin *dual fuel* merupakan mesin yang memiliki dua sistem penyuplai bahan bakar yang berbeda dan beroperasi dengan dua jenis bahan bakar secara bersamaan. Mesin dual fuel yang diaplikasikan pada mesin diesel telah banyak beredar di pasaran. Mesin diesel dual fuel adalah mesin diesel yang ditambahkan bahan bakar gas pada intake manifold atau langsung ke ruang bakar dan penyalaan pembakaran dilakukan oleh semprotan solar. Dalam sistem ini bahan bakar gas disebut sebagai bahan bakar primer dan bahan bakar solar disebut sebagai bahan bakar sekunder yang bertindak sebagai pilot fuel.



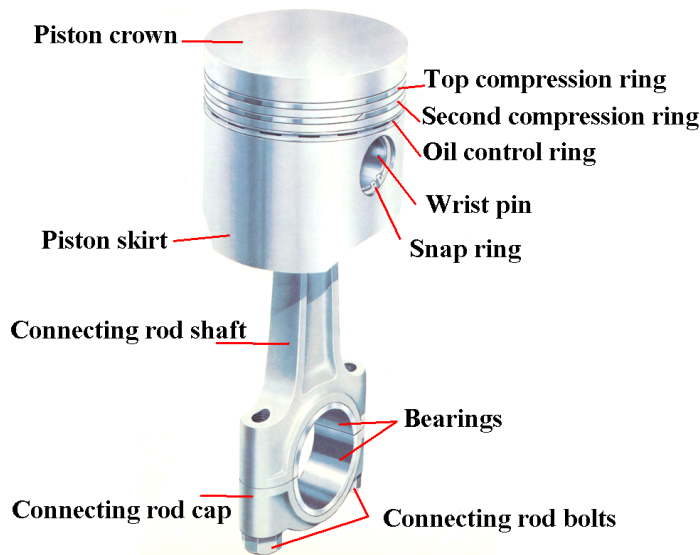
Gambar 2.1 Skema Mesin Diesel Dual Fuel (researchgate.net)

Terdapat tiga tipe sistem dual fuel yang digunakan pada mesin diesel, yaitu Low Pressure Injected Gas (LPIG), High Pressure Injected Gas (HPIG) dan Combustion Air Gas Integration (CAGI). Secara teoritis, tipe sistem dual fuel yang lebih efisien digunakan adalah Low Pressure Injected Gas (LPIG), karena tipe ini dapat mengurangi potensi gas terbuang karena gas hanya disuplai setelah katup isap terbuka dan katup buang tertutup sehingga penyuplaian bahan bakar gas lebih

efisien. Selain itu, tipe ini juga membutuhkan biaya yang lebih murah dibanding tipe yang lainnya.

### 2.3.2 Piston Crown

*Piston Crown* terletak di bagian paling atas dari piston, gunanya untuk menahan tekanan akibat terjadinya pembakaran di ruang bakar. *Piston Crown* didesain dengan material yang tebal karena tekanan yang terjadi di bagian ruang bakar ini sangat besar sehingga ketebalan tersebut mampu mencegah kerusakan yang terjadi ketika piston bekerja.



Gambar 2.2 Piston (actiondreamer.com)

### 2.3.3 CNG (Compressed Natural Gas)

Gas alam terkompresi (Compressed Natural Gas) adalah alternatif bahan bakar selain bensin atau solar. Di Indonesia, CNG dikenal sebagai bahan bakar gas (BBG). Bahan bakar ini dianggap lebih bersih bila dibandingkan dengan dua bahan bakar minyak karena emisi gas buangnya yang ramah lingkungan. (Cornell, 2008)

CNG dibuat dengan melakukan kompresi metana ( $\text{CH}_4$ ) yang diekstrak dari gas alam, CNG disimpan dan didistribusikan dalam bejana tekan, biasanya berbentuk silinder. CNG dapat digunakan untuk mesin otto (berbahan bakar bensin) dan motor disel (berbahan bakar solar). Pengisian CNG dapat dilakukan dari sistem bertekanan rendah maupun bertekanan tinggi. Perbedaannya terletak dari biaya pembangunan stasiun vs lamanya pengisian bahan bakar. Idealnya, tekanan pada jaringan pipa gas adalah 11 bar, dan agar pengisian CNG bisa berlangsung dengan cepat, diperlukan tekanan sebesar 200



bar, atau 197 atm, 197 kali tekanan udara biasa. Dengan tekanan sebesar 200 bar, pengisian CNG setara 130 liter premium dapat dilakukan dalam waktu 3-4 menit. (anonim, 2009)

Komposisi utama dari hidrokarbon penyusun CNG adalah metana ( $\text{CH}_4$ ), sedangkan hidrokarbon lain yang terkandung dalam CNG adalah etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), dan butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Berdasarkan data dari Alternative Fuel Data Centre 2004 didapatkan bahwa terdapat beberapa gas penyusun CNG antara lain karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), hydrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), Nitrogen ( $\text{N}_2$ ), Helium ( $\text{He}$ ), dan uap air. Kandungan yang terdapat dalam CNG adalah berasal dari bangkai hewan dan tumbuhan yang terpendam bertahun-tahun dan telah terurai. CNG berada pada lapisan dalam bumi dan berada di atas permukaan minyak bumi disebabkan massa jenis CNG yang lebih ringan dari minyak bumi maupun air. Pada umumnya komposisi maksimum dan minimum dari natural gas dapat dilihat pada tabel di bawah ini dalam persentase.

Tabel 2.1 Komposisi Gas Penyusun Natural Gas

Compound	Typical	Maximum	Minimum
Methane	87,3 %	92,8 %	79,0 %
Ethane	7,1 %	10,3 %	3,8 %
Propane	1,8 %	3,3 %	0,4 %
Butane	0,7 %	1,2 %	0,1 %
Nitrogen	2,2 %	8,7 %	0,5 %
Carbon Dioxide	0,9 %	2,5 %	0,2 %

Priyanto, 2012

Sangat penting mengetahui komposisi dari gas alam yang akan digunakan dalam percobaan dan analisa, hal ini disebabkan perbedaan komposisi penyusun akan berbeda juga pada hasil proses pembakaran dalam motor diesel. Hal ini merupakan masalah bagi *engineer* dalam mendesain sistem bahan bakar untuk CNG-*diesel engine*. Selain itu, variasi dalam komposisi *natural gas* akan menimbulkan kesulitan dalam peningkatan unjuk kerja dan meminimalisasi emisi gas buang dari mesin.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan, menyimpulkan bahwa CNG dalam penggunaannya sebagai bahan bakar pada mesin, menghasilkan tingkat emisi yang rendah. CNG merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan sehingga banyak negara yang mengembangkan CNG sebagai bahan bakar untuk konsumsi kendaraan transportasi. (Gwilliam, 2000)

Sala satu karakteristik dari gas alam adalah non-korosif, sehingga baik untuk mencegah terjadinya oksidasi pada tangka penyimpanan dan menyebabkan pengurangan kontaminasi terhadap gas tersebut. Gas alam memiliki karakteristik yang berbeda dengan bahan bakar konvensional diesel. Perbedaan karakteristik tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Perbedaan Karakteristik CNG dan *Diesel Fuel*

Property	Compressed Natural Gas (CNG)	Conventional Diesel
Chemical Formula	CH <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> to C <sub>25</sub>
Molecular Weight	16,04	≈200
Composition by Weight, %		
Carbon	75	84-87
Hydrogen	25	13-16
Specific Gravity	0,424	0,81-0,89
Density, kg/m <sup>3</sup>	128	802-886
Boiling Temperature, °C	-31,7	188-343
Freezing Point, °C	-182	-40-34,4
Flash Point, °C	-184	73
Autoignition Temperature, °C	540	316
Flammability Limits, % volume		
Lower	5,3	1
Higher	15	6
Specific Heat, J/kg K	-	1800

(Priyanto, 2012)

Sifat CNG yang lebih ringan dari udara mengakibatkan jika terjadi kebocoran, gas akan segera terlepas ke udara sehingga tidak terjadi konsentrasi gas yang dapat menimbulkan nyala api. Keunggulan yang lain dari penggunaan CNG sebagai bahan bakar adalah cadangan *natural gas* dunia yang melimpah, mencapai 6112 triliun *cu ft* dan cadangan di Indonesia mencapai 98 triliun *cu ft*. (Anonim, 2006)

### 2.3.4 Emisi Gas Buang

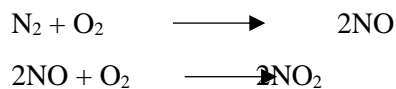
Istilah emisi gas buang berarti bahan bakar yang diupkan dari tangki bahan bakar dan gas blow-by, yang melewati antara piston dan dinding cylinder termasuk gas buang. Emisi gas buang merupakan polutan yang mengotori udara yang dihasilkan oleh gas buang kendaraan. Gas buang kendaraan yang dimaksud disini adalah gas sisa proses pembakaran yang dibuang ke udara bebas melalui saluran buang kendaraan. Gas yang menjadi polusi tersebut kebanyakan merupakan hasil dari reaksi sampingan yang tidak dapat dihindarkan. Sebagaimana diketahui bahwa udara disekitar kita mengandung kurang lebih 21% Oksigen dan 79% terdiri dari sebagian besar Nitrogen dan sisanya gas-gas lain dalam jumlah yang sangat kecil, sedangkan bahan bakar pada umumnya berbentuk ikatan karbon (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) yang juga mengandung unsur lain yang terikat kedalamnya.

Terdapat banyak jenis emisi gas buang, akan tetapi yang akan dibahas pada penelitian ini antara lain :

- a. NO<sub>x</sub> (Nitrogen Oxide)

Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Walaupun ada bentuk nitrogen oksida lainnya, tetapi kedua gas tersebut yang paling banyak diketahui sebagai bahan pencemar udara. Nitrogen monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sebaliknya nitrogen dioksida berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Selain itu, kadar NO<sub>x</sub> di udara dalam suatu kota bervariasi sepanjang hari tergantung dari intensitas sinar matahari dan aktivitas kendaraan bermotor.

Persamaan reaksi dari pembentukan senyawa Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) adalah sebagai berikut :



Pembentukan NO<sub>2</sub> sangat dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi NO, sedangkan pembentukan NO dirangsang hanya pada suhu tinggi. Dalam proses pembakaran, suhu yang digunakan biasanya mencapai 1210<sup>0</sup>C - 1765<sup>0</sup>C, oleh karena itu reaksi ini merupakan sumber NO yang penting. Jadi reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dari proses pembakaran

#### b. Unburned Hydrocarbon

Hidrokarbon (HC) merupakan gas buang yang diakibatkan karena bahan bakar yang tidak terbakar. Hidrokarbon tersebut adalah bagian dari bensin yang dilepaskan baik dalam bentuk tidak terbakar atau terpecah dengan tidak sempurna. Ada beberapa faktor yang menyebabkan adanya HC, sebagai contoh ialah pembakaran yang tidak sempurna oleh oksigen yang tidak mencukupi, nyala yang tertekan di dekat dinding mesin interior, turunnya suhu yang disebabkan oleh rendahnya kandungan bensin, dan lain-lain.

#### c. Methane Slip

Komposisi utama dari natural gas sebagai bahan bakar gas adalah metana (CH<sub>4</sub>), pada kondisi dimana mesin diesel *dual fuel* menginjeksikan bahan bakar gas melalui *air intake manifold* juga dapat langsung ke ruang bakar mesin. Pada saat proses pembakaran, beberapa bahan bakar *natural gas* yang masuk ke dalam ruang bakar tidak ikut terbakar dan dapat keluar melalui *exhaust* mesin dan metana yang tidak terbakar inilah yang menjadi salah satu zat polusi emisi yang menyebabkan efek rumah kaca. Emisi inilah yang biasa disebut dengan istilah *methane slip*. (Stenersen dkk, 2017)

Gas metana yang tercemar pada atmosfer menjadi lebih berbahaya dan lebih kuat dalam hal ketahanan sifat partikel menahan panas yang diserap 21 kali lebih kuat dibandingkan dengan emisi partikel CO<sub>2</sub> yang mengakibatkan peningkatan kondisi panas permukaan bumi karena terselimuti oleh kondisi atmosfer yang mudah menyerap panas dan mempertahankannya. (Mohajan, 2011)

*Methane Slip* merupakan tantangan terbesar pada aplikasi mesin diesel dual fuel. Gas buang berupa gas metana  $\text{CH}_4$  yang tidak terbakar atau disebut dengan *methane slip* dapat terjadi karena beberapa sebab. Natural gas sebagai bahan bakar gas diinjeksikan ke dalam ruang bakar mesin melalui intake manifold yang kemudian bercampur dengan udara kompresi yang nantinya akan diinjeksikan bahan bakar solar sehingga terjadi proses pembakaran mesin. Terdapat dua faktor penyebab terjadinya *methane slip*, antara lain :

- Volume mati dalam ruang bakar dalam bentuk celah-celah yang terbentuk antar komponen pada ruang bakar, seperti celah volume antar gasket cylinder head dan cylinder liner, antara piston top land dan cylinder liner. Pada proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin, udara akan terkompresi. Kemudian bahan bakar gas berupa *natural gas* akan ikut terkompresi dan beberapa akan masuk ke dalam celah-celah diantara tiap komponen di dalam ruang bakar yang mengakibatkan tidak seluruhnya terbakar sehingga keluar melalui exhaust mesin. (Stenersen dkk, 2017)
- Pembakaran yang tidak sempurna disebabkan beberapa bagian di dalam ruang bakar yang lebih dingin merupakan salah satu alasan terjadinya *methane slip*. (Stenersen dkk, 2017)

### 2.3.5 MARPOL ANNEX VI

MARPOL Annex VI regulasi 13 membahas mengenai peraturan kadar  $\text{NO}_x$  baik yang dikeluarkan oleh mesin maupun akibat dari karakteristik bahan bakar. Dalam regulasi ini dibagi menjadi 3 tingkatan untuk mengatur emisi dari  $\text{NO}_x$  diantaranya :

#### 1. Tier I

Tingkatan ini untuk mesin diesel yang dipasang di kapal dengan tahun pembangunan 1 Januari 2000 sampai 1 Januari 2011. Adapun Batasan berat  $\text{NO}_x$  yang dikeluarkan mesin dalam tingkatan ini, sebagai berikut :

- Berat  $\text{NO}_x$  17.0 g/kWh untuk putaran mesin kurang dari 130 rpm
- Berat  $\text{NO}_x$   $45.0 \times n^{(-0.2)}$  g/kWh untuk putaran mesin lebih dari sama dengan 130 rpm tetapi kurang dari 2000 rpm
- Berat  $\text{NO}_x$  9.8 g/kWh untuk putaran mesin lebih dari sama dengan 2000 rpm.

#### 2. Tier II

Tingkatan ini untuk mesin diesel yang dipasang di kapal dengan tahun pembangunan setelah 1 Januari 2011. Adapun batasan berat NO<sub>x</sub> yang dikeluarkan mesin dalam tingkatan ini sebagai berikut :

- Berat NO<sub>x</sub> 14.4 g/kWh untuk putaran mesin kurang dari 130 rpm
- Berat NO<sub>x</sub>  $44.0 \times n^{(-0.23)}$  g/kWh untuk putaran mesin lebih dari sama dengan 130 rpm tetapi kurang dari 2000 rpm
- Berat NO<sub>x</sub> 7.7 g/kWh untuk putaran mesin lebih dari sama dengan 2000 rpm

### 3. Tier III

Tingkatan ini untuk mesin diesel yang dipasang di kapal dengan tahun pembangunan setelah 1 Januari 2016. Adapun batasan berat NO<sub>x</sub> yang dikeluarkan mesin dalam tingkatan ini sebagai berikut :

- Berat NO<sub>x</sub> 3.4 g/kWh untuk putaran mesin kurang dari 130 rpm
- Berat NO<sub>x</sub>  $9.0 \times n^{(-0.2)}$  g/kWh untuk putaran mesin lebih dari sama dengan 130 rpm tetapi kurang dari 2000 rpm
- Berat NO<sub>x</sub> 2.0 g/kWh untuk putaran mesin lebih dari sama dengan 2000 rpm

Tabel 2.3 Batas Emisi MARPOL Annex VI

Tier	Date	NOx Limit, g/kWh		
		$n < 130$	$130 \leq n < 2000$	$n \geq 2000$
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016†	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96

† In NOx Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).

(MARPOL Annex VI, 2005)

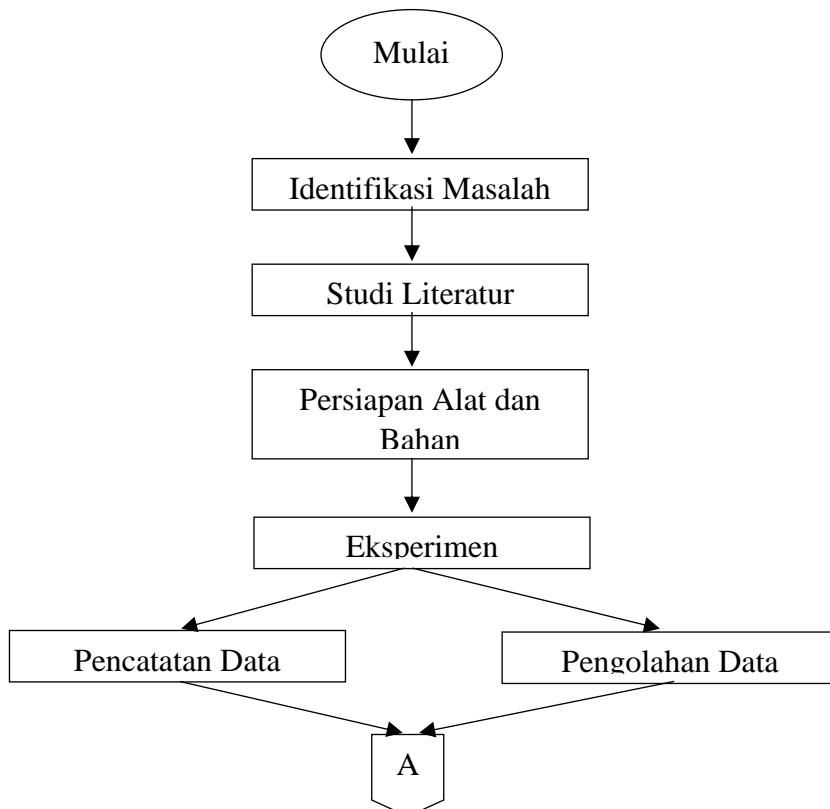
## BAB 3

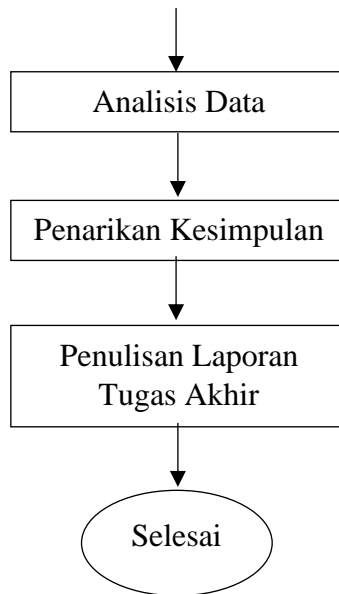
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Pendahuluan

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini berupa eksperimen. Langkah awal yang dilakukan adalah studi literatur untuk mendapatkan referensi pengerjaan penelitian. Selanjutnya ialah eksperimen menggunakan mesin diesel *dual fuel*, yang mana eksperimen tersebut dilakukan dua kali yaitu dengan menggunakan piston standar dan piston modifikasi. Modifikasi yang dilakukan pada piston berupa ketinggian piston dipotong 0.65 mm sehingga rasio kompresinya turun. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini ialah CNG (*Compressed Natural Gas*) karena lebih ramah lingkungan dan solar dex. Dalam eksperimen tersebut dilakukan pengkajian emisi gas buang yang diakibatkan modifikasi *piston crown* pada modifikasi motor diesel *dual fuel*.

#### 3.2 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Flow Chart Metodologi Penelitian

### 3.3 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh modifikasi piston crown pada modifikasi motor diesel dual fuel terhadap emisi gas buang ( $\text{NO}_x$ , *Unburned Hydrocarbon*, dan *Methane Slip*).

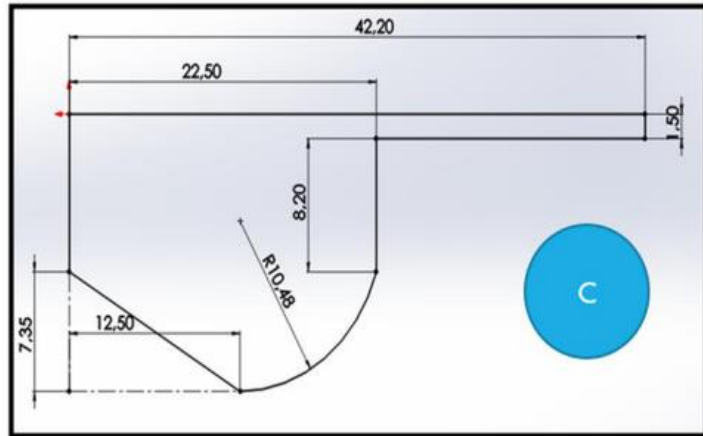
### 3.4 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori yang dapat menunjang penyelesaian masalah pada penelitian ini yang mana berhubungan dengan modifikasi piston dan emisi. Studi literatur pada penelitian ini menggunakan referensi dari buku, jurnal, maupun penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan dan berkaitan dengan penelitian ini.

### 3.5 Persiapan Alat dan Bahan

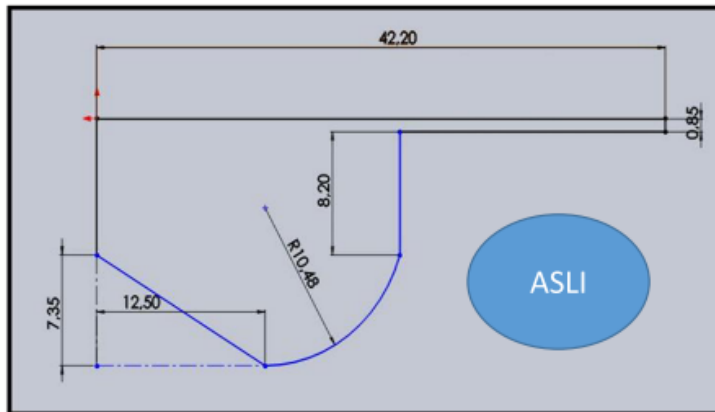
Persiapan alat dan bahan diperlukan untuk menunjang kelancaran kegiatan eksperimen sehingga ketika melakukan eksperimen alat dan bahan yang diperlukan sudah tersedia. Alat dan bahan yang digunakan dalam eksperimen ini adalah :

1. Methane Analyzer
2. Gas Analyzer
3. Piston Modifikasi



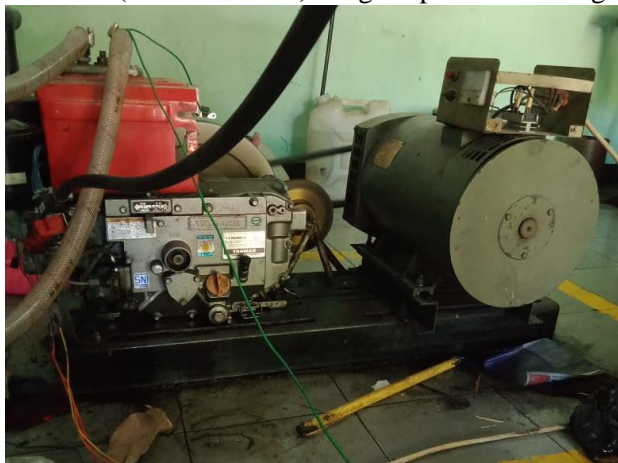
Gambar 3.2 Desain Piston Modifikasi

## 4. Piston Standar



Gambar 3.3 Desain Piston Standar

## 5. Mesin Diesel Merk (Yanmar TF 85) dengan spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.4 Mesin Yanmar TF 85



- a. Jenis Mesin : Motor Diesel 4 langkah
  - b. Sistem Pembakaran : Direct Injection
  - c. Jumlah Silinder : 1 (satu) silinder
  - d. Bore : 85 mm
  - e. Stroke : 87 mm
  - f. Compression Ratio : 18
  - g. Volume Silinder : 493 cc
6. Bahan Bakar CNG
  7. Bahan Bakar Solar Dex
  8. Tachometer
  9. Tang Ampere
  10. Electric Control Unit (ECU)

### 3.6 Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan empat kondisi, antara lain :

1. Piston standar single fuel
2. Piston standar dual fuel
3. Piston modifikasi single fuel
4. Piston modifikasi dual fuel

Kemudian tahapan eksperimen yang dilakukan antara lain sebagai berikut :

1. Memastikan mesin uji dan peralatan yang akan digunakan dalam eksperimen dalam kondisi baik
2. Menyalakan mesin uji
3. Setelah mesin uji dalam keadaan menyala, jika mengambil data *single fuel* terlebih dahulu maka langsung dilakukan pembebanan 1000 watt, akan tetapi jika mengambil data *dual fuel* terlebih dahulu maka perlu dilakukan pembukaan valve CNG serta pengaturan tekanan gas sebesar 3 bar, pengaturan ECU berupa sudut injeksi sebesar 260 dengan durasi 8 ms melalui aplikasi vemstune. Dalam eksperimen tersebut beban yang digunakan adalah heater
4. Mengukur RPM mesin menggunakan Tachometer hingga mendekati RPM kontrol, yang mana RPM kontrol yang digunakan adalah 2000
5. Mengukur RPM generator
6. Mengukur voltase dan ampere alternator menggunakan Tang Ampere untuk mengetahui nilai beban yang sebenarnya
7. Mengukur kadar emisi NO<sub>x</sub> dan UHC menggunakan Gas Analyzer
8. Mengukur kadar emisi *Methane Slip*.
9. Menghitung durasi konsumsi Solar Dex sebesar 25 ml
10. Setelah semua selesai, langkah tersebut dapat diulangi untuk pengambilan data pada beban 2000, 3000, dan 4000

### **3.7 Pencatatan dan Pengolahan Data**

Data yang dicatat dari eksperimen tersebut ialah kandungan emisi gas buang ( $\text{NO}_x$ , *Unburned Hydrocarbon*, dan *Methane Slip*) yang dihasilkan pada kondisi piston standar *single fuel* dan *dual fuel*, juga pada kondisi piston modifikasi *single fuel* dan *dual fuel*. Dari data yang telah dicatat tersebut kemudian data tersebut diolah menjadi bentuk grafik untuk mempermudah dalam menganalisisnya.

### **3.8 Analisa Data**

Dari data yang telah diolah kemudian dianalisis apakah terjadi perubahan kandungan emisi akibat dari modifikasi *piston crown* pada modifikasi motor diesel *dual fuel*.

### **3.9 Penarikan Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisis data, diperlukan penarikan kesimpulan untuk mengetahui hasil akhir dari segala rangkaian penelitian yang telah dilakukan.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan hasil dan pembahasan dari uji emisi gas buang motor diesel *dual fuel*. Bahan bakar yang digunakan adalah Solar Dex dan CNG. Adapun data yang akan dianalisis yaitu kadar  $\text{NO}_x$ , *Unburned Hydrocarbon*, dan *Methane Slip* pada kondisi piston standar *single fuel* dan *dual fuel*, serta pada kondisi piston modifikasi *single fuel* dan *dual fuel*. Selain itu juga akan membahas mengenai hasil uji performa motor diesel *dual fuel* pada tiap kondisi uji.

#### 4.2 Hasil Uji Emisi $\text{NO}_x$

Dalam melakukan pengujian emisi  $\text{NO}_x$ , nilai RPM pada tiap penambahan beban perlu diukur terlebih dahulu, yang mana nilai RPM yang diambil mendekati nilai RPM kontrol yaitu senilai 2000 RPM. Setelah itu kadar emisi  $\text{NO}_x$  yang dihasilkan dapat diukur menggunakan *Gas Analyzer*. Berikut ini merupakan tabel hasil pengujian emisi  $\text{NO}_x$  pada tiap kondisi :

Tabel 4.1 Hasil Uji Emisi  $\text{NO}_x$  Piston Standar Single Fuel

Putaran Engine		Beban (watt)	Alternator		Watt	$\text{NO}_x$ (ppm)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan (Volt)	Arus (A)		
2000	2002	1000	227	4.69	1064.63	332
2000	2000	2000	221	9.22	2037.62	374
2000	2003	3000	218	13.61	2966.98	423
2000	2003	4000	212	17.71	3754.52	404

Tabel 4.2 Hasil Uji Emisi  $\text{NO}_x$  Piston Standar Dual Fuel

Putaran Engine		Beban (watt)	Alternator		Watt	$\text{NO}_x$ (ppm)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan (Volt)	Arus (A)		
2000	2002	1000	221	4.5	994.5	148

2000	2002	2000	219	8.94	1957.86	270
2000	2002	3000	216	13.51	2918.16	329
2000	2001	4000	211	17.66	3726.26	317

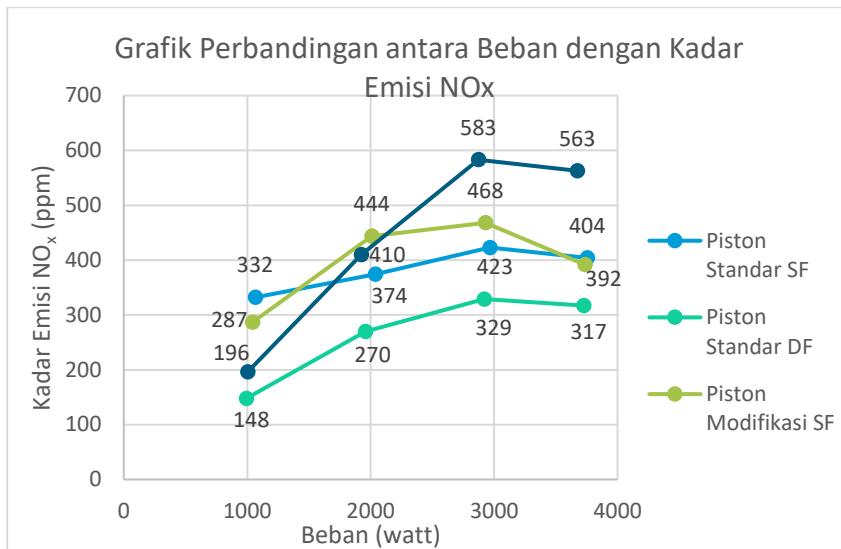
Tabel 4.3 Hasil Uji Emisi NO<sub>x</sub> Piston Modifikasi Single Fuel

Putaran Engine		Beban (watt)	Alternator		Watt	NO <sub>x</sub> (ppm)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan (Volt)	Arus (A)		
2000	2000	1000	224	4.66	1043.84	287
2000	2002	2000	219	9.18	2010.42	444
2000	2002	3000	216	13.56	2928.96	468
2000	2001	4000	211	17.7	3734.7	392

Tabel 4.4 Hasil Uji Emisi NO<sub>x</sub> Piston Modifikasi Dual Fuel

Putaran Engine		Beban (watt)	Alternator		Watt	NO <sub>x</sub> (ppm)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan (Volt)	Arus (A)		
2000	2004	1000	219	4.58	1003.02	196
2000	2000	2000	215	8.95	1924.25	410
2000	2003	3000	213	13.49	2873.37	583
2000	2000	4000	209	17.58	3674.22	563

Dari tabel tersebut dibuat grafik sebagai berikut untuk memudahkan dalam membandingkan kadar emisi NO<sub>x</sub> dari tiap kondisi uji sehingga dapat diketahui kondisi yang mana yang menghasilkan emisi terendah.



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan antara Beban dengan Kadar Emisi NO<sub>x</sub>

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa sistem *dual fuel* mampu menghasilkan kadar emisi NO<sub>x</sub> lebih rendah dibanding sistem *single fuel*. Akan tetapi pada piston modifikasi emisi NO<sub>x</sub> hanya dapat diturunkan pada pembebanan 1000 watt. Kadar emisi NO<sub>x</sub> terendah dari beban 1000 – 4000 watt diantara keempat kondisi dihasilkan pada kondisi piston standar *dual fuel*. Hal ini dapat membuktikan bahwa sistem *dual fuel* dapat mengurangi emisi NO<sub>x</sub>.

Talal dkk (2009) mengatakan bahwa ketersediaan oksigen dan temperatur yang tinggi adalah 2 faktor utama dalam terbentuknya NO<sub>x</sub>. NO<sub>x</sub> akan bertambah ketika tersedia jumlah Oksigen yang cukup dan temperatur rata-rata ruang bakar yang tinggi. Sehingga pada saat kondisi piston modifikasi memungkinkan temperatur ruang bakar cepat meningkat sehingga berdampak pada bertambahnya kandungan NO<sub>x</sub>.

### 4.3 Hasil Uji Emisi *Unburned Hydrocarbon* (UHC)

Dalam pengujian emisi UHC digunakan alat berupa *Gas Analyzer* yang dilengkapi dengan selang. Kemudian selang tersebut akan diarahkan ke exhaust sehingga kadar emisi UHC dapat terbaca pada monitor *Gas Analyzer*. Berikut ini merupakan data dari hasil uji emisi UHC yang telah dilakukan

Tabel 4.5 Hasil Uji Emisi *Unburned Hydrocarbon* (UHC) Piston Standar *Single Fuel*

Putaran Engine	Beban (watt)	Alternator		Watt	UHC

(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan (Volt)	Arus (A)		
2000	2002	1000	227	4.69	1064.63	0.02%
2000	2000	2000	221	9.22	2037.62	0.00%
2000	2003	3000	218	13.61	2966.98	0.00%
2000	2003	4000	212	17.71	3754.52	0.00%

Tabel 4.6 Hasil Uji Emisi *Unburned Hydrocarbon* (UHC) Piston Standar *Dual Fuel*

Putaran Engine		Beban (watt)	Alternator		Watt	UHC
(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan (Volt)	Arus (A)		
2000	2002	1000	221	4.5	994.5	0.38%
2000	2002	2000	219	8.94	1957.86	0.00%
2000	2002	3000	216	13.51	2918.16	0.00%
2000	2001	4000	211	17.66	3726.26	0.00%

Tabel 4.7 Hasil Uji Emisi *Unburned Hydrocarbon* (UHC) Piston Modifikasi *Single Fuel*

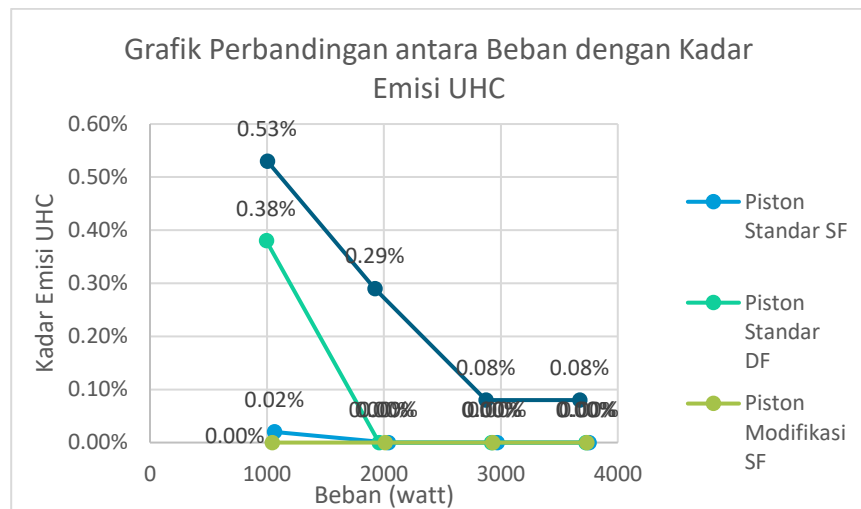
Putaran Engine		Beban (watt)	Alternator		Watt	UHC
(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan (Volt)	Arus (A)		
2000	2000	1000	224	4.66	1043.84	0.00%
2000	2002	2000	219	9.18	2010.42	0.00%
2000	2002	3000	216	13.56	2928.96	0.00%
2000	2001	4000	211	17.7	3734.7	0.00%

Tabel 4.8 Hasil Uji Emisi *Unburned Hydrocarbon* (UHC) Piston Modifikasi *Dual Fuel*

Putaran Engine		Beban (watt)	Alternator		Watt	UHC
(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan (Volt)	Arus (A)		

2000	2004	1000	219	4.58	1003.02	0.53%
2000	2000	2000	215	8.95	1924.25	0.29%
2000	2003	3000	213	13.49	2873.37	0.08%
2000	2000	4000	209	17.58	3674.22	0.08%

Berdasarkan data pada tabel di atas dibuat grafik sebagai berikut untuk memudahkan dalam membandingkan kadar emisi UHC yang dihasilkan pada tiap kondisi.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan antara Beban dengan Kadar Emisi UHC

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa kadar emisi UHC menurun seiring bertambahnya beban dan kadar emisi UHC terendah dihasilkan pada kondisi piston modifikasi *single fuel*. Sumber emisi HC dapat berasal dari bahan bakar yang tidak terbakar sehingga keluar menjadi gas mentah ataupun berasal dari bahan bakar terpecah karena reaksi panas berubah menjadi gugusan HC lain yang keluar bersama gas buang.

Pada grafik terdapat beberapa titik bernilai 0.00% hal ini diakibatkan oleh keterbatasan alat uji yang digunakan dalam mengukur kadar emisi UHC, yang mana alat uji tersebut hanya mampu membaca kadar emisi minimal 100 ppm sehingga apabila hasil uji yang didapatkan bernilai 0.00% kemungkinan nilainya di bawah 100 ppm sehingga tidak terbaca oleh alat uji yang digunakan.

#### 4.4 Hasil Uji Emisi *Methane Slip*

Komposisi utama dari natural gas sebagai bahan bakar gas adalah metana ( $\text{CH}_4$ ), sehingga pada saat proses pembakaran beberapa bahan bakar natural gas yang masuk ke dalam ruang bakar tidak ikut terbakar dan dapat keluar melalui

exhaust mesin dan metana yang tidak terbakar inilah yang disebut dengan *methane slip*. Berikut ini merupakan tabel dari hasil uji emisi yang telah dilakukan

Tabel 4.9 Hasil Uji Emisi *Methane Slip* Piston Standar *Single Fuel*

Putaran Engine		Beban (watt)	Alternator		Watt	Methane Slip (ppm)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan (Volt)	Arus (A)		
2000	2002	1000	227	4.69	1064.63	23.79
2000	2000	2000	221	9.22	2037.62	21
2000	2003	3000	218	13.61	2966.98	48.7
2000	2003	4000	212	17.71	3754.52	106.56

Tabel 4.10 Hasil Uji Emisi *Methane Slip* Piston Standar *Dual Fuel*

Putaran Engine		Beban (watt)	Alternator		Watt	Methane Slip (ppm)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan (Volt)	Arus (A)		
2000	2002	1000	221	4.5	994.5	143.56
2000	2002	2000	219	8.94	1957.86	32.34
2000	2002	3000	216	13.51	2918.16	76.08
2000	2001	4000	211	17.66	3726.26	196

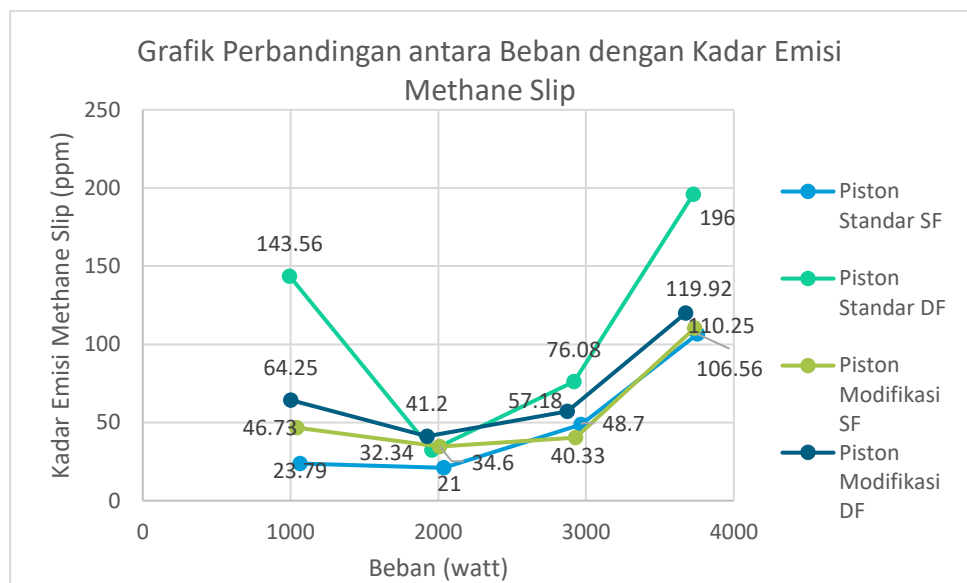
Tabel 4.11 Hasil Uji Emisi *Methane Slip* Piston Modifikasi *Single Fuel*

Putaran Engine		Beban (watt)	Alternator		Watt	Methane Slip (ppm)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan (Volt)	Arus (A)		
2000	2000	1000	224	4.66	1043.84	46.73
2000	2002	2000	219	9.18	2010.42	34.6
2000	2002	3000	216	13.56	2928.96	40.33
2000	2001	4000	211	17.7	3734.7	110.25

Tabel 4.12 Hasil Uji Emisi *Methane Slip* Piston Modifikasi *Dual Fuel*



Putaran Engine		Beban (watt)	Alternator		Watt	Methane Slip (ppm)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan (Volt)	Arus (A)		
2000	2004	1000	219	4.58	1003.02	64.25
2000	2000	2000	215	8.95	1924.25	41.2
2000	2003	3000	213	13.49	2873.37	57.18
2000	2000	4000	209	17.58	3674.22	119.92



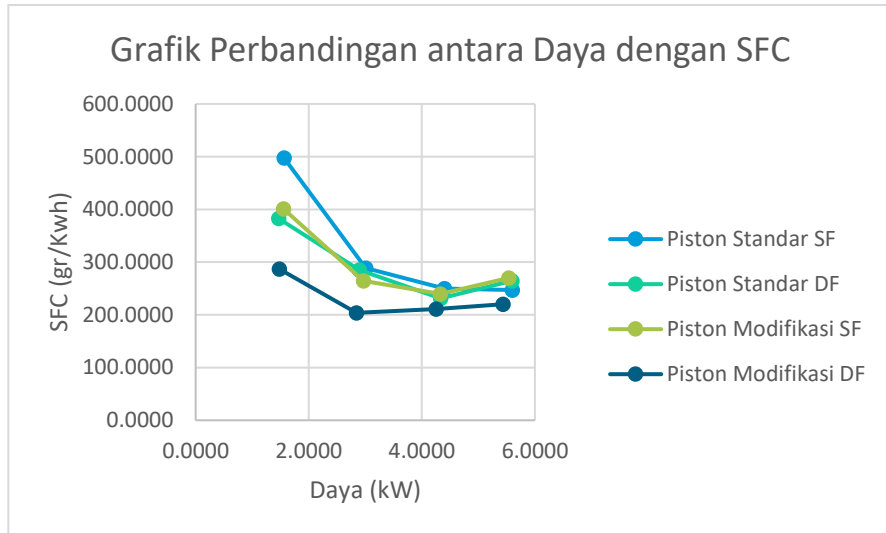
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan antara Beban dengan Kadar Emisi Methane Slip

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa kadar *methane slip* yang dihasilkan pada kondisi piston *single fuel* lebih rendah dibanding *dual fuel*, hal ini disebabkan karena metana banyak terkandung pada natural gas yang merupakan bahan bakar *dual fuel*. Hasil eksperimen juga menunjukkan modifikasi terhadap piston yang digunakan pada mode *dual fuel* cenderung dapat menurunkan kadar emisi *methane slip*.

#### 4.5 Hasil Uji Performa Mesin

Pengujian performa pada motor diesel ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari mesin diesel dengan melihat daya dan SFC (*Specific Fuel Consumption*) melalui eksperimen. Piston standar digunakan sebagai acuan untuk

pembandingan dalam mengukur unjuk kerja mesin diesel. Berikut ini merupakan grafik perbandingan daya dengan SFC



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Daya (kW) dengan SFC (gr/Kwh)

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa untuk menghasilkan daya yang hampir sama, piston modifikasi *dual fuel* membutuhkan bahan bakar spesifik yang lebih hemat dibandingkan piston standar.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 5

### KESIMPULAN

#### 5.1 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari modifikasi piston crown terhadap emisi yang dihasilkan pada motor diesel *dual fuel*. Adapun jenis emisi yang akan dianalisis antara lain NO<sub>x</sub>, UHC, dan *Methane Slip*. Eksperimen dilakukan pada kondisi piston standar *single fuel*, piston standar *dual fuel*, piston modifikasi *single fuel*, dan piston modifikasi *dual fuel*, yang mana eksperimen tersebut menggunakan variasi beban dari 1000 – 4000 watt.

#### 5.2 Kesimpulan

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Penggunaan piston standar *dual fuel* mampu menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> yang lebih rendah dibandingkan piston modifikasi *dual fuel*.
2. Kadar emisi UHC yang dihasilkan piston standar *dual fuel* lebih rendah dibandingkan piston modifikasi *dual fuel*.
3. Kadar emisi *methane slip* yang dihasilkan piston standar *dual fuel* lebih tinggi dibandingkan piston modifikasi *dual fuel*.

#### 5.3 Saran

Pada penelitian ini menggunakan alat uji *methane slip* hasil rancangan dari mahasiswa yang mana kondisinya sudah pernah rusak. Proses kalibrasi alat tersebut setelah diperbaiki menggunakan gas kalibrator yang dibuat dengan perhitungan secara manual, sehingga kemungkinan *human error* sangat besar. Oleh karena itu, akan lebih baik kedepannya jika menggunakan gas kalibrator yang dibuat dengan kondisi yang memadai atau bisa menggunakan alat uji *methane slip* yang standar sehingga hasil pengujian yang didapatkan lebih akurat.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Arif, Nuzul Hidayat, M.Yasep Setiawan (2017). *Pengaruh Pengaturan Waktu Injeksi dan Durasi Injeksi terhadap Brake Mean Effective Pressure dan Thermal Efficiency pada Mesin Diesel Dual Fuel*. Google Scholar
- M. Rizqi Fitra H (2015). *Studi Kelayakan Konversi Diesel Engine Berbahan Bakar Minyak menjadi Dual Fuel Diesel Engine pada Kapal Container 368 TEU*. Google Shoolar
- Betty Ariani, I Made Ariana, M. Aguk Fathallah (2019). *Effect of Natural Gas Injection Timing on Combustion Performance & Methane Slip Emission of Diesel – NG Dual Fuel Engine*. Google Scholar
- K.Kuppa Dkk (2019). *Numerical Modelling of Unburned Hydrocarbon Emission in Gas Engines with Varied Fuels*. Science Direct
- Fakhrizal Muchtar (2018). *Analisis Emisi Kendaraan Berbasis Model Caline4 di Jalan Nasional pada Kawasan Mamminasata*. Google Scholar
- Ardi Lesmawanto, Meddy S, Moh. Jufri, Sudarman (2018). *Analisis Perbandingan Kompresi untuk Meningkatkan Efisiensi pada Mesin 4 Langkah Bahan Bakar Etanol E-100*. Google Scholar
- Ananta Pudi Oktavianto (2016). *Pengaruh Penggunaan Dual Fuel Terhadap Kinerja Mesin dan Emisi Gas Buang pada Motor Diesel*. Google Scholar
- Talal, D.R., Khalid, B.F. 2009. *CNG-Diesel Engine Performance and Exhaust Emission Analysis with the Aid of Artificial Neural Network*. University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying, Mechanical Engineering, Toowoomba, 4350 Queensland, Australia.
- Muhammad Afiffudin Zuhri. 2019. *Rancang Bangun Sistem Monitor Methane Gas sebagai Deteksi dari Methane Slip pada Diesel-Natural Gas Dual Fuel Engine Berbasis Mikrokontroller*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Kelautan, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Surabaya.
- Fandi Ahmad Ekabimaranto. 2017. *Karakteristik Unjuk Kerja Mesin Diesel Sistem Dual Fuel Biodiesel-Syngas Hasil Gasifikasi Pellet Municipal Solid Waste (MSW) dengan Variasi Mass Flow Rate Udara Menggunakan Blower*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Industri, Departemen Teknik Mesin, Surabaya.