



Tugas Akhir – ME141501

Analisa Performa Motor Diesel dengan Penggunaan *Air Humidifier* pada *Intake Port* untuk Mereduksi Emisi NO_x Berbasis Eksperimen

Oky Mahardika F
NRP 4213100068

Dosen Pembimbing
Beny Cahyono, ST, MT, Ph.D

Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



Tugas Akhir – ME141501

Analisa Performa Motor Diesel dengan Penggunaan *Air Humidifier* pada *Intake Port* untuk Mereduksi Emisi NO_x Berbasis Eksperimen

**Okky Mahardika F
4213100068**

**Dosen Pembimbing:
Beny Cahyono, ST, MT, Ph.D**

**Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



Final Project – ME141501

Performance Analysis of Diesel Engine with Air Humidifiers on Intake Port to Reduce NO_x Emissions by Experiment

**Okky Mahardika F
4213100068**

**Dosen Pembimbing:
Beny Cahyono, ST, MT, Ph.D**

**Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Performa Motor Diesel dengan Penggunaan Air Humidifier pada Intake Port untuk Mereduksi Emisi NOx Berbasis Eksperimen

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:

**Oky Mahardika F
NRP. 4213100068**

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi :

**Beny Cahyono, ST, MT, Ph.D
NIP: 1979 0319 2008 01 1008**



**Surabaya
Juli, 2017**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Performa Motor Diesel dengan Penggunaan Air Humidifier pada Intake Port untuk Mereduksi Emisi NOx Berbasis Eksperimen

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:

Oky Mahardika F

NRP. 4213100068

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT

NIP: 1977 0802 2008 01 1007

Surabaya

Juli, 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

Analisa Performa Motor Diesel dengan Penggunaan Air Humidifier pada Intake Port untuk Mereduksi Emisi NO_x Berbasis Eksperimen

Nama Mahasiswa : Oky Mahardika F
NRP : 4213100068
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Beny Cahyono, ST, MT, Ph.D

ABSTRAK

Polusi udara merupakan masalah yang masih belum dapat teratasi hingga saat ini. Penyumbang terbesar yaitu dari gas buang alat transportasi diantaranya kapal laut. Jenis emisi gas buang yang berbahaya salah satunya NO_x karena sangat berdampak pada kehidupan manusia. Beberapa teknologi yang ditawarkan untuk mereduksi NO_x adalah menurunkan atau meningkatkan kelembaban udara. *Air Humidifier* merupakan teknologi pereduksi NO_x pada motor diesel. Cara kerja *Air Humidifier* yaitu dengan menambahkan kadar air kedalam ruang bakar melalui *Intake Port*. Hal ini dapat menurunkan temperatur pembakaran adiabatik dan mengurangi reaksi oksigen pada nitrogen. Metode ini dapat menghambat pembentukan NO_x selama proses pembakaran karena reaksi pembentukan NO_x terjadi pada temperatur tinggi. Penggunaan *Air Humidifier* memiliki beberapa dampak lain seperti performa motor menurun, SFOC meningkat dan perubahan proses pembakaran. Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen. Eksperimen dilakukan menggunakan motor diesel satu silinder tipe SHANGHAI R180 dengan melakukan beberapa variasi terhadap beban. Hasil eksperimen performa menunjukkan bahwa penggunaan *Air Humidifier* pada 1800 RPM dengan beban maksimum mengalami kenaikan sebesar 31%. Power yang dihasilkan mengalami penurunan rata-rata pada semua RPM dengan beban maksimum turun 2.28%, sedangkan Torsi yang dihasilkan rata-rata mengalami penurunan 2% dan BMEP rata-rata mengalami penurunan sebesar 1%. Sedangkan hasil emisi NO_x mampu berkurang hingga 0.328 g/kWh, atau tereduksi sebesar 23%.

Kata kunci : Air Humidifier , Intake Port, Performa Motor, Emisi, NO_x

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

Performance Analysis of Diesel Engine with Air Humidifiers on Intake Port to Reduce NOx Emissions by Experiment

Student Name : Oky Mahardika F
NRP : 4213100068
Departement : Marine Engineering
Academic Supervisor : Beny Cahyono, ST, MT, Ph.D

ABSTRACT

Air pollution is a problem that still can not be solved until now. The biggest contributor is from the exhaust of transportation equipment such as ships. Types of harmful exhaust emissions one of them NO_x because it is very impact on human life. Some technologies offered to reduce NO_x are decreasing or increasing air humidity. Air Humidifier is a NO_x reducing technology in diesel engine. How to work Air Humidifier is by adding moisture content into the combustion chamber on Intake Port. This can lower the temperature of adiabatic combustion and reduce the oxygen reaction in nitrogen. This method can inhibit the formation of NO_x during the combustion process because the NO_x-forming reaction occurs at high temperatures. The use of Air Humidifier has several other impacts such as decreased engine performance, increased SFOC and burning process changes. The experiments were performed using a SHANGHAI R180 single-cylinder diesel motor by performing some variations on the load. The results of the performance experiments show that the use of Air Humidifier at 1800 RPM with maximum load increased by 31%. The resulting power decreased on average for all RPMs with the maximum load down 2.28%, while the average torque decreased 2% and the average BMEP decreased by 1%. While the results of NO_x emissions can be reduced to 0.328 g / kWh, or reduced by 23%.

Keywords : Air Humidifier , Intake Port, Engine Performance, Emission, NO_x

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil ‘aalamin, puji syukur kehadiran Allah SWT atas karunia hidayah, rahmat dan bimbingan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “ANALISA PERFORMA PENGGUNAAN AIR HUMIDIFIER PADA INTAKE PORT MOTOR DIESEL UNTUK MEREDUKSI EMISI NOX”

Tugas akhir ini membahas tentang analisa performa motor diesel dengan menambahkan kadar air menggunakan *air humidifier* pada bagian *intake port* sehingga berdampak pada kadar emisi NOx. Selanjutnya, hasil tugas akhir ini dapat digunakan untuk menambah wawasan maupun referensi tentang pengaruh penambahan kadar air pada ruang bakar untuk mengurangi emisi NOx.

Pada penulisan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan baik moril atau materil. Sehingga penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah, Ibu dan adik yang selalu memberikan doa, kasih sayang dan dukungan moral kepada penulis.
2. Bapak Beny Cahyono, ST, MT, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memberikan banyak ilmu, serta arahan selama penulisan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Eng., M. Badrus Zaman, ST, MT. selaku dosen wali yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan selama berkuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
4. Bapak Ir. Aguk Zuhdi M F, M.Eng, Ph.D selaku dosen bidang Marine Power Plant yang telah membimbing, memberikan banyak ilmu, serta arahan dalam mengerjakan tugas akhir ini.
5. Mas Nur selaku tenaga pendidik dan teknisi Laboratorium Marine Power Plant yang banyak membantu, memfasilitasi, memberikan banyak ilmu, dan memotivasi penulis dalam percobaan dan pengambilan data.
6. Mas Yasin, Naufal, Nova, Sigit, Heri dan semua member Laboratorium Marine Power Plant yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir.

7. Istiqomah yang telah memberikan banyak semangat, dukungan dan membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Arfan, Hamzah, dan Bowo selaku teman seperjuangan satu kontrakan yang banyak membantu materil, motivasi, keluh kesah dan berbagi ilmu selama penyelesaian tugas akhir.
9. Teman-teman BARAKUDA'13 yang telah berkenan untuk saling berbagi kisah, berbagi ilmu dan pengalaman selama berkuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.
10. Pihak lain yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis menyadari dalam penulisan tugas akhir ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis demi kemajuan tugas akhir ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Skripsi	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	2
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Pendahuluan	3
2.2 Teori Motor Diesel	3
2.3 Parameter Uji Performa	4
2.4 Parameter Emisi Gas Buang	6
2.5 Intake Port Motor Diesel	7
2.6 Air Humidifier	8
BAB III METODE PENELITIAN	
Metode Penelitian	11
BAB IV PEMBAHASAN	
4.1 Spesifikasi Motor Diesel	21
4.2 Uji Performa	22
4.3 Uji Emisi	31
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	37

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: Siklus Kerja Motor Diesel	3
Gambar 2.2	: MARPOL Annex VI NO _x Limits	7
Gambar 2.3	: Intake stroke motor diesel	7
Gambar 2.4	: Proses humidifikasi	9
Gambar 3.1	: Diagram Metode Penelitian	11
Gambar 3.2	: Pipa <i>stainless</i> custom	12
Gambar 3.3	: Rancangan <i>Air humidifier</i> pada air intake	13
Gambar 3.4	: Engine Set Up	13
Gambar 3.5	: Multimeter	14
Gambar 3.6	: Klem Meter	14
Gambar 3.7	: Stopwatch	15
Gambar 3.8	: Tachometer	15
Gambar 3.9	: Palu Karet	15
Gambar 3.10	: Beban Lampu	16
Gambar 3.11	: Motor Diesel	16
Gambar 3.12	: <i>Electric dynamometer</i>	17
Gambar 3.13	: <i>Generator</i>	17
Gambar 3.14	: <i>Exhaust gas analyzer</i>	18
Gambar 4.1	: Gambar Engine Set Up untuk percobaan	22
Gambar 4.2	: Grafik perbandingan Daya terhadap SFOC dengan dan tanpa penggunaan <i>Air Humidifier</i> pada 1800 RPM	23
Gambar 4.3	: Grafik perbandingan Daya terhadap SFOC dengan dan tanpa penggunaan <i>Air Humidifier</i> pada 1900 RPM	24
Gambar 4.4	: Grafik perbandingan Daya terhadap SFOC dengan dan tanpa penggunaan <i>Air Humidifier</i> pada 2000 RPM	25

Gambar 4.5	: Grafik perbandingan Daya terhadap SFOC dengan dan tanpa penggunaan <i>Air Humidifier</i> pada 2100 RPM	..... 26
Gambar 4.6	: Grafik perbandingan Daya terhadap SFOC dengan dan tanpa penggunaan <i>Air Humidifier</i> pada 2200 RPM	..... 27
Gambar 4.7	: Grafik perbandingan RPM terhadap Daya dengan dan tanpa penggunaan <i>Air Humidifier</i>	..... 28
Gambar 4.8	: Grafik perbandingan RPM terhadap BMEP dengan dan tanpa penggunaan <i>Air Humidifier</i>	..... 29
Gambar 4.9	: Grafik perbandingan RPM terhadap Torsi dengan dan tanpa penggunaan <i>Air Humidifier</i>	..... 30
Gambar 4.10	: Diagram Batang Kadar Emisi NO _x pada 100% RPM dengan Variasi Beban	..... 31

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	: MARPOL Annex VI, Batas Kandungan Nox (MARPOL,1998)	.....	6
Lampiran. 2	: Tabel Data Hasil Performa tanpa Modifikasi	.....
Lampiran. 2	: Tabel Data Hasil Performa dengan penambahan Air Humidifier	.....

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polusi udara merupakan suatu ancaman besar bagi lingkungan yang berakibat fatal bagi kesehatan manusia. Tidak dapat dipungkiri bahwa salah satu sumber terbesar polusi tersebut berasal dari sektor perkapalan. Sebagai contoh, emisi gas buang dari kapal-kapal yang terlibat dalam proses perdagangan internasional misalnya di perairan Eropa diperkirakan mencapai 2,3 juta ton sulfur dioksida (SO_2) and 3,3 juta ton nitrogen oksida (NO_x), dan sekitar 250 ribu ton partikel lainnya (*particulate matter*) dalam setahun pada tahun 2000.

Perlu diterangkan bahwa SO_2 merupakan senyawa kimia dalam bentuk gas yang beracun dan berbau tajam yang selain dihasilkan dari letusan gunung berapi (*volcano*), juga dihasilkan dari proses industry, termasuk industri perkapalan. Sama halnya dengan SO_2 , NO_x juga merupakan gas yang beracun yang dihasilkan dari gas nitrogen yang ikut terbakar bersama oksigen (O_2) dalam suatu pembakaran pada temperatur tinggi. Tentunya kedua gas beracun tersebut merupakan komponen dari gas buang yang dihasilkan dari sisa pembakaran pada mesin-mesin kapal.

Selain itu, karbon dioksida (CO_2) yang juga merupakan komponen gas buang dari kapal tidak kalah bahayanya dari SO_2 dan NO_x . Kontribusi CO_2 dari industri perkapalan juga terus meningkat bahkan mencapai 1.000 juta ton atau sekitar 3,3% dari total emisi global pada tahun 2007 lalu. Diperkirakan jika tidak ada kebijakan yang mengatur masalah polusi ini, emisi gas buang dari kapal bisa meningkat dua hingga tiga kali lipat pada tahun 2050.

Untuk permasalahan pencemaran udara akibat dari emisi gas buang sudah banyak solusi yang ditawarkan, misalnya penggunaan bahan bakar ganda, emulsi, dan salah satu contoh : *Ventury Scrubber* dan *Cyclonic Separator* untuk meningkatkan kinerja *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) dalam mesin diesel (Samsu,2012).

Selain penggunaan bahan bakar ganda dan emulsi, dapat juga menggunakan proses humidifikasi. Contoh aplikasi yang sudah banyak digunakan yaitu sebuah alat *air humidifier*. Banyak manfaat yang didapatkan setelah menggunakan *air humidifier* tersebut. Biasanya digunakan untuk melembabkan ruangan, dan mencegah asma. Penggunaan *Air Humidifire* sebagai proses humidifikasi dapat diterapkan pada mesin diesel karena udara

dalam bentuk uap panas yang masuk dalam ruang bakar dapat mempercepat proses pembakaran yang diharapkan akan mengurangi emisi gas buang.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan *Air Humidifier* terhadap performa *engine* ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *Air Humidifier* terhadap kadar NOx pada emisi gas buang *engine* ?
3. Bagaimana cara merancang *Air Humidifier* pada intake port mesin diesel untuk mereduksi Nox pada emisi gas buang ?

1.3 Tujuan Skripsi

Adapun tujuan dari penelitian pada skripsi ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh penambahan *Air Humidifier* terhadap performa *engine*.
2. Mengetahui pengaruh penambahan *Air Humidifier* terhadap kadar NOx pada emisi gas buang *engine*.
3. Mampu merancang *Air Humidifier* pada intake port mesin diesel untuk mereduksi Nox pada emisi gas buang.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari usulan skripsi ini adalah :

1. Menambah pengetahuan sekaligus mengaplikasikan secara langsung penggunaan *Air Humidifire* untuk mereduksi emisi gas buang.
2. Menambah pengetahuan mengenai pengaruh karakteristik proses pembakaran pada motor diesel serta perubahannya setelah ditambah *Air Humidifire* untuk pereduksi emisi NOx.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari usulan skripsi ini adalah :

1. Penelitian dilakukan menggunakan mesin Shanhai tipe R-180.
2. Penelitian hanya sebatas menganalisa performa mesin dan mengukur kadar NOx pada emisi gas buang.
3. Penelitian ini mengabaikan nilai kelembaban dan suhu udara yang masuk.

BAB II

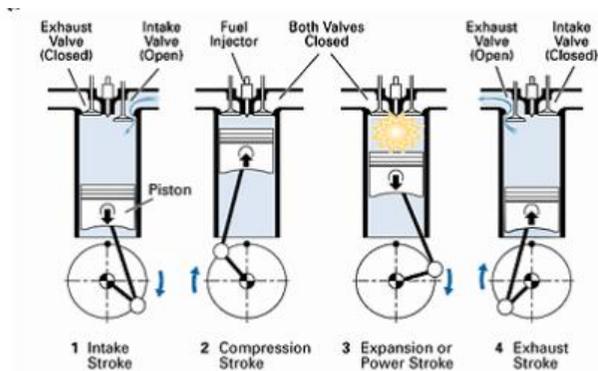
TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Pendahuluan

Sejak ditemukan pertama kali pada tahun 1892 oleh Rudolf Diesel di Jerman dan telah mendapatkan paten, motor diesel telah mengalami berbagai perkembangan. Pada saat ini motor diesel sudah dipakai dimana-mana terutama sektor industri sebagai penggerak mula dan disektor transportasi darat dan laut. Dalam penggunaannya di dunia *marine*, mayoritas motor penggerak kapal masih menggunakan motor diesel. Hal ini dikarenakan dibandingkan tipe motor pembakaran dalam lainnya seperti motor bensin, turbin uap, dan turbin gas, motor diesel mempunyai efisiensi thermal lebih tinggi dan daya yang dihasilkan lebih bervariasi. Selain itu, konsumsi bahan bakar motor diesel sekitar 25% lebih rendah dari motor bakar lainnya (*Hari Prastowo, 1995*).

3.2 Teori Motor Diesel

Siklus dari motor diesel yang digunakan dalam penelitian adalah siklus motor diesel 4 (empat) langkah, dengan penjelasan sebagai berikut :



Gambar 2.1 : Siklus Kerja Motor Diesel

Adapun penjelasan untuk tiap tahap siklusnya adalah sebagai berikut :

- Langkah Pemasukan (Intake Stroke)
Piston bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) dengan posisi intake valve terbuka dan exhaust valve tertutup. Gerakan piston menyebabkan tekanan di dalam piston menjadi rendah sehingga udara akan masuk ke dalam silinder.

- Langkah Kompresi (Compression Stroke)
Piston bergerak dari TMB menuju TMA dengan posisi intake dan exhaust valve tertutup. Udara di ruang bakar dikompresi, sehingga terjadi kenaikan temperatur dan tekanan. Pada saat piston mencapai TMA, bahan bakar akan diinjeksikan ke dalam ruang bakar sehingga terbentuk campuran bahan bakar dan udara.
- Langkah Kerja (Expansion or Power Stroke)
Piston bergerak dari TMA menuju TMB dengan posisi intake dan exhaust valve tertutup. Piston dapat bergerak akibat dari tekanan yang meningkat yang dihasilkan dari energi bahan bakar yang terbakar di ruang bakar.
- Langkah Pembuangan (Exhaust Stroke)
Piston bergerak dari TMB menuju TMA dengan posisi exhaust valve terbuka dan intake valve tertutup. Pada tahap ini gas hasil pembakaran akan terdorong keluar oleh piston melalui exhaust valve.

3.3 Parameter Uji Performa

Parameter Unjuk Kerja Motor Pembakaran Dalam Pada penelitian ini, ada beberapa parameter uji performa yang dapat digunakan sebagai pembandingan antara mesin diesel berbahan bakar pertamina DEX standart dengan menambahkan *air humidifier*. Beberapa parameter tersebut adalah :

a. Daya Motor (kW)

Daya engine (P) didefinisikan sebagai kemampuan engine menghasilkan kerja dan besarnya akan berbanding lurus dengan torsi. Untuk menghitung daya digunakan perumusan :

$$P = \frac{v \times i \times \cos \phi}{\text{eff gen} \times \text{eff slip}}$$

Dimana :

- P : daya (kW)
- V : tegangan listrik (Volt)
- I : arus listrik (Ampere)
- Cos ϕ : 0.9
- Eff Gen : efisiensi generator (0.85)
- Eff Slip : efisiensi slip (hitung)

b. Torsi (Nm)

Torsi (T) menunjukkan kemampuan sebuah gaya untuk membuat benda melakukan gerak rotasi. Sebuah benda akan berotasi bila dikenai torsi. Untuk menghitung torsi digunakan perumusan :

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

Dimana :

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

c. Tekanan Efektif Rata-rata (bar)

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

d. Konsumsi Bahan Bakar (g/kWh)

Konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya efektif dalam selang waktu tertentu. Untuk mengetahui konsumsi bahan bakar spesifik suatu mesin dapat dihitung dengan rumus :

$$FCR = \frac{v \times \rho}{t}$$

Dimana :

- FCR : laju aliran bahan bakar (gr/h)
 ρ : massa jenis bahan bakar (gr/m³)

- v : volume bahan bakar (m^3)
 t : waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10 ml (h)

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

Dimana :

- SFOC : konsumsi spesifik bahan bakar (gr/kWh)
 FCR : laju aliran bahan bakar (gr/h)
 P : daya (kW)

e. Efisiensi Thermal (η_{th})

Didefinisikan sebagai efisiensi pemanfaatan kalor dari bahan bakar untuk diubah menjadi kerjamekanis dan dinyatakan dengan :

$$\%_{TH} = \frac{Brake\ Power}{Q_{fuel}}$$

Dimana :

- BHP : Brake horse power (kW)
 Q fuel : Laju aliran bahan bakar (gr/h)

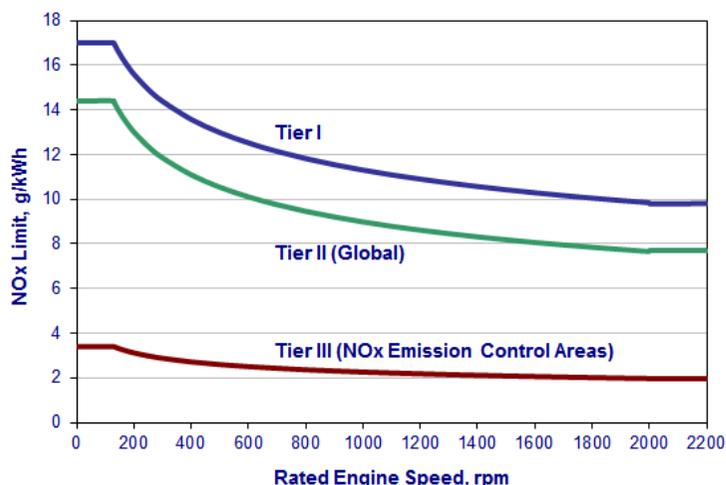
3.4 Parameter Emisi Gas Buang

Sebagai tolak ukur dalam proses penelitian, diperlukan nilai ambang batas terhadap emisi gas buang motor diesel. Pada peraturan Pelayaran Internasional, kandungan emisi gas buang pada motor penggerak utama harus berada dibawah ambang batas yang telah ditetapkan. Ambang batas gas buang mengacu pada regulasi yang dikeluarkan oleh IMO MARPOL Annex VI yaitu:

Tabel 2.1. : MARPOL Annex VI, Batas Kandungan NOx (MARPOL, 1998)

Tier	Date	NOx 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

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



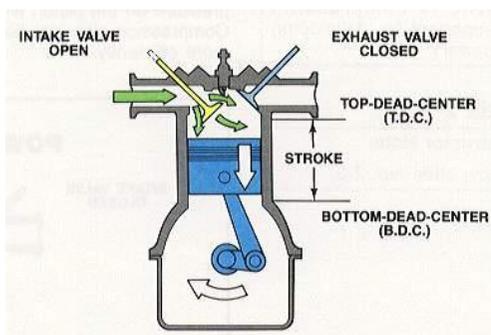
Gambar 2.2 : MARPOL Annex VI NOx Limits

Standar emisi *IMO* secara umum mengacu pada standar dari *Tier I* sampai *Tier III*. Amandemen pada *MARPOL Annex VI* pada bulan Oktober 2008 menyebutkan bahwa :

1. Ketentuan kualitas bahan bakar baru dimulai pada bulan Juli 2010.
2. Standar emisi *NOx* pada *Tier II* dan *Tier III* diberlakukan untuk mesin-mesin terbaru.
3. Ketentuan *NOx* untuk *Tier I* diberlakukan untuk mesin yang sudah ada sebelum tahun 2000

3.5 Intake Port Motor Diesel

Intake adalah lubang saluran untuk masuknya udara menuju ruang bakar. Percampuran antara bahan bakar dan udara bersih dengan sempurna dapat meningkatkan efisiensi dari pembakaran dan mengurangi emisi. Percampuran yang sempurna dipengaruhi oleh aliran udara masuk yang turbulensi.



Gambar 2.3 : Intake stroke motor diesel

Modifikasi banyak dilakukan misalnya dengan penambahan benda berupa sirip pada *intake valve* di harap dapat meningkatkan *velocity* dan nilai dari *massflow* udara tersebut sehingga dapat dihasilkan aliran udara masuk pada ruang bakar menjadi lebih turbulensi konfigurasi dimensi dari sirip dapat juga menjadi faktor tingkatan dari turbulensi. (Daniel Fransiskus, 2012)

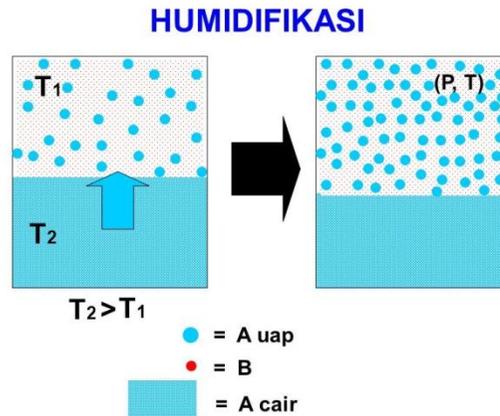
Selain itu modifikasi pada *intake manifold* ditemukan juga dengan penambahan *ventury intunner* pada pipa-nya. Dengan memodifikasi bentuk dan merubah diameter permukaan dalam *ventury* maka aliran udara yang masuk ke saluran *intake manifold* menjadi lebih banyak volume-nya dan lebih cepat suplai udara masuk ke dalam ruang pembakaran. Dengan penambahan volume udara ini maka kinerja pembakaran akan lebih optimal karena semakin banyaknya oksigen yang membantu pada proses pembakaran dan semakin cepat proses pembakaran terjadi. (Indra Petrus, 2010)

3.6 Air Humidifier

Humidifikasi adalah proses perpindahan air dari fase cair (A) ke dalam campuran gas yang terdiri dari udara (B) dan uap air (A), sedangkan dehumidifikasi adalah proses perpindahan uap air dari campuran uap air (A) dan udara (B) ke dalam air pada fase cair (A). (Bpramudono, 2009)

Dalam pengertian lain humidifikasi merupakan proses peningkatan jumlah kadar air dalam aliran gas dengan melewati aliran gas di atas cairan yang kemudian akan menguap ke dalam gas atau udara. Dengan bertambahnya jumlah aliran air yang dikontakkan dengan udara proses maka akan meningkatkan kandungan air dalam udara sampai mencapai kondisi jenuh. Pada proses humidifikasi dengan pemanasan jumlah kandungan air yang diserap oleh udara makin besar. Ini disebabkan karena dengan pemanasan maka temperratur udara akan naik sementara kelembaban relatifnya menjadi turun sehingga kemampuan udara di dalam menangkap air lebih besar bila dibandingkan dengan yang tanpa pemanasan. Sedangkan proses dehumidifikasi terjadi penurunan kandungan air di dalam udara proses. Penurunan kandungan air dalam dehumidifikasi menunjukkan penurunan yang cukup signifikan dimana penurunan dipengaruhi oleh kemampuan media menangkap air. Temperatuur udara yang keluar dari proses humidifikasi dan dehumidifikasi akan bergantung pada besarnya kalor yang yang diberikan serta jumlah kandungan air yang ditangkapatau dikeluarkan dari udara. (Akhmad Kautsar, 2011)

Dibawah ini adalah skema proses humidifikasi :



Gambar 2.4 : Proses humidifikasi

Dalam proses humidifikasi terdapat contoh aplikasi yang sudah banyak digunakan yaitu sebuah alat *air humidifier*. Banyak manfaat yang didapatkan setelah menggunakan *air humidifier* tersebut. Apabila tingkat kelembaban yang rendah dapat menyebabkan kulit kering dan gatal atau bibir pecah-pecah. Tingkat kelembaban yang lebih besar dari 50% dapat menyebabkan tumbuhnya spora jamur, bakteri dan tungau debu. (Qia Teky, 2013)

Terdapat beberapa jenis *humidifier*, diantaranya :

- Humidifier Berkabut hangat / *Warm Mist Humidifiers*
 - Uap humidifier : Air yang mendidih dilepaskan ke dalam ruangan dalam bentuk uap.
- Humidifier Berkabut Dingin / *Cool Mist Humidifiers*
 - Impeller humidifier : Sebuah disk yang berputar melemparkan air pada diffuser yang memecah air menjadi tetesan halus. Tetesan keluar sebagai kabut kabut dingin.
 - Ultrasonic humidifier : Sebuah diafragma ultrasonik bergetar pada frekuensi yang sangat tinggi memecah air menjadi tetesan halus yang keluar sebagai kabut dingin. Jenis humidifier adalah diam.
 - Wick / menguapkan humidifier : sumbu adalah filter yang menyerap air dari reservoir. Sumbu menyediakan luas permukaan yang lebih besar untuk air menguap. Sebuah kipas pukulan udara untuk membantu penguapan.

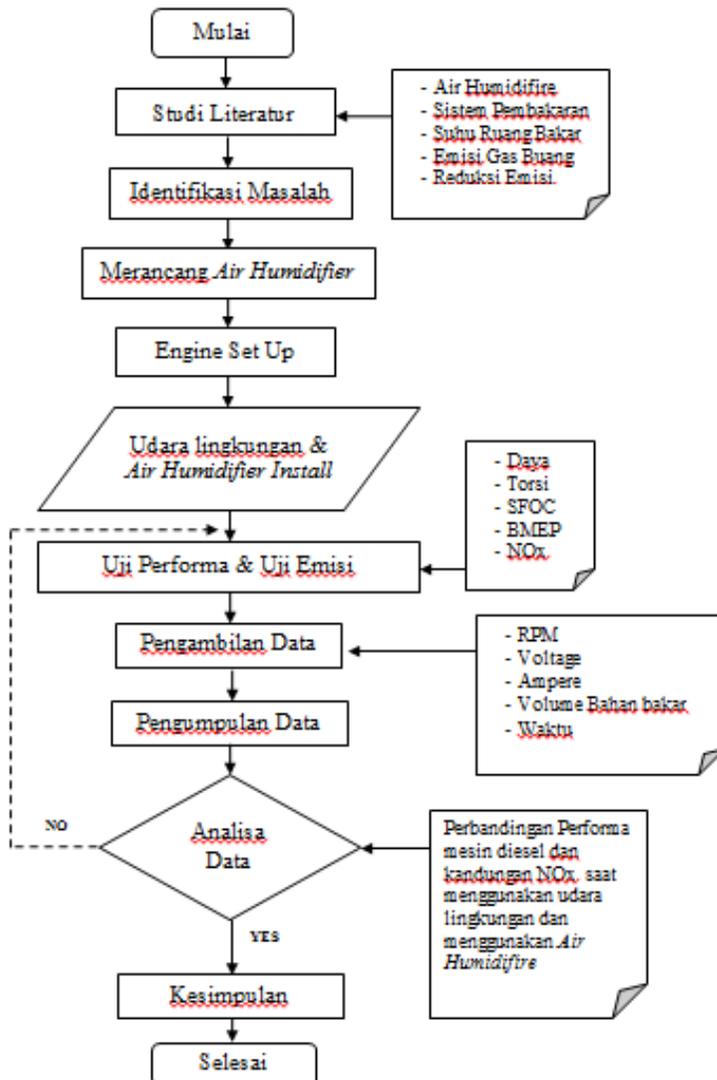
“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam mengerjakan skripsi ini adalah dengan metode percobaan. Percobaan akan dilakukan 2 (dua) sub bagian, yaitu uji performa dan kadar emisi gas buang. Namun lebih ditekankan pada pengukuran emisi NOx, karena pada uji performa hanya untuk perbandingan.

Berikut adalah langkah penelitian dapat dilihat pada *flowchart* berikut :



Gambar 3.1 : Diagram Metode Penelitian

Keterangan :**1. Studi Literatur**

Studi Literatur dilakukan untuk memperoleh hasil penelitian yang sesuai dengan permasalahan yang dibahas dengan cara mempelajari teori-teori yang relevan dengan topik kajian. Adapun teori yang mendukung dalam penelitian ini adalah teori tentang humidifier, dan teori tentang emisi gas buang pada mesin diesel. Membaca dan mempelajari penelitian yang pernah dilakukan. Membaca paper-paper yang berkaitan dengan emisi gas buang dan air humidifier.

2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Langkah ini merupakan awal dari penelitian, yaitu mencari masukan terhadap masalah yang diteliti melalui observasi. Rumusan masalah dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa engine terlebih dahulu. Kemudian untuk mengetahui jumlah NOx dengan merancang *Air Humidifire*.

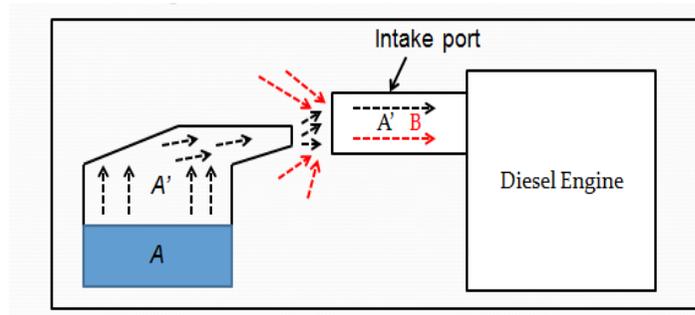
3. Merancang Sistem *Air Humidifier*

Sistem dalam mengaplikasikan *Air Humidifire* pada *intake port* mesin SHANHAI tipe R-180 yaitu dengan mengganti intake manifold mesin tersebut dengan pipa besi custom.



Gambar 3.2 : Pipa *stainless* custom

Kemudian pada udara masuk ditambahkan dengan uap air dari *Air Humidifire* yang diarahkan pada pipa tersebut. Sehingga udara yang masuk adalah campuran gas uap dan udara lingkungan yang dinamakan proses humidifikasi.



Gambar 3.3 : Rancangan Air humidifier pada air intake

Keterangan :

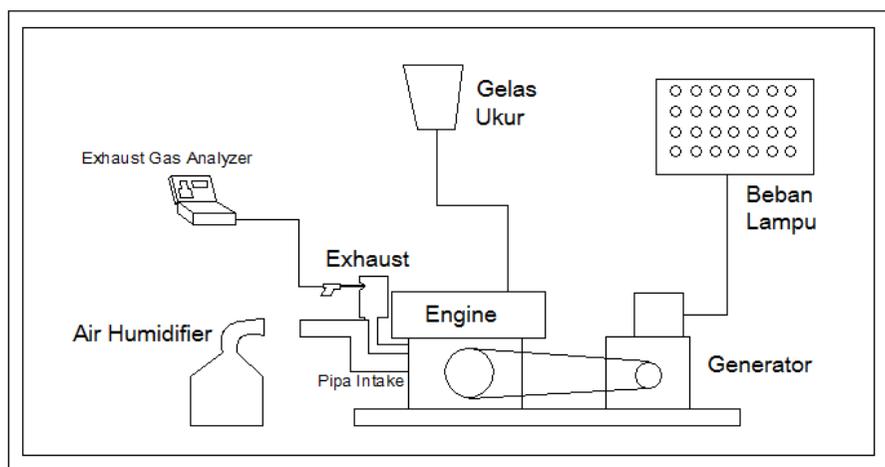
A : Air yang di panaskan pada alat *Humidifier*

A' : Uap Air

B : Udara lingkungan

4. Engine Set Up

Proses *engine set up* disini adalah menyiapkan motor diesel merk *SHANHAI tipe R-180* untuk mengaplikasikan *Air Humidifire* pada bagian *intake port*. Dalam tahap ini, diharapkan semua peralatan pada lahan kerja sudah siap sehingga dapat memudahkan dalam proses pengambilan data.



Gambar 3.4 : Engine Set Up

Keterangan :

Motor Diesel dipastikan dalam keadaan normal, kemudian disiapkan *air humidifier* yang siap menghasilkan uap dan penggantian pipa intake yang telah dimodifikasi, kemudian memasang panel beban ke generator yang telah dikopel pada engine, dan memasang gelas ukur bahan bakar. Setelah semua siap, pengambilan data siap dilakukan.

Beberapa peralatan yang digunakan dalam pengambilan data, diantaranya :

1. Multimeter



Gambar 3.5 : Multimeter

Fungsi : pada gambar diatas multimeter digunakan untuk membaca tegangan pada saat uji performa yang dihasilkan ketika engine diberi beban lampu.

2. Klem Meter



Gambar 3.6 : Klem Meter

Fungsi : Klem meter digunakan untuk mengukur arus pada saat uji performa yang dihasilkan ketika engine diberi beban lampu.

3. Stopwatch



Gambar 3.7 : Stopwatch

Fungsi : pada gambar diatas stopwatch digunakan untuk menghitung SFOC pada saat melakukan uji performa engine.

4. Tachometer



Gambar 3.8 : Tachometer

Fungsi : pada gambar diatas tachometer digital digunakan untuk mengatur RPM engine pada saat uji performa.

5. Palu karet



Gambar 3.9: Palu Karet

Fungsi : pada gambar diatas palu karet digunakan untuk menaikkan atau menurunkan RPM pada engine saat uji performa.

6. Beban



Gambar 3.10 : Beban Lampu

Fungsi : pada gambar diatas beban lampu digunakan untuk pembebanan pada motor diesel saat melakukan uji performa atau pengambilan data.

Pembebanan yang digunakan adalah 5 variasi pada tiap-tiap RPM, yaitu :

- Variasi 1 : 1000 watt
- Variasi 2 : 2000 watt
- Variasi 3 : 3000 watt
- Variasi 4 : 4000 watt
- Variasi 5 : 5000 watt

7. Motor diesel *SHANHAI tipe R-180*



Gambar 3.11 : Motor Diesel

Fungsi : motor diesel digunakan untuk pengambilan data performa dan emisi berdasarkan RPM dan pembebanan yang ditentukan.

Spesifikasi *engine* :

- Merk : Sanhai
- Model : Md 180
- Type : In line, single cylinder,
4 stroke, air cooled,
direct injection
- Bore x Stroke : 80 x 80
- Piston Disp. (L) : 0,402
- Rated Speed : 2200 rpm (kW/r/min)

8. *Electric dynamometer*



Gambar 3.12 : *Electric dynamometer*

Fungsi : *Electric dynamometer* digunakan untuk pengujian performa pada motor diesel.

9. Generator



Gambar 3.13: *Generator*

Fungsi : generator pada percobaan ini dikopel dengan engine untuk dihubungkan dengan beban lampu. Dan digunakan pengambilan data RPM generator.

10. *Exhaust gas analyzer*



Gambar 3.14 : *Exhaust gas analyzer*

Fungsi : *Exhaust gas analyzer* digunakan untuk pengambilan data uji emisi terutama kadar NOx.

5. Eksperimen dan Pengambilan Data

Langkah – langkah melakukan percobaan :

- a. Nyalakan engine
- b. Mengatur putaran yang telah dilakukan (1800 rpm, 1900 rpm, 2000 rpm,);
- c. Mengatur pembebanan yang diberikan pada engine. Pada praktikum ini dilakukan 5 pembebanan yaitu:
 - 1 = 1000 watt
 - 2 = 2000 watt
 - 3 = 3000 watt
 - 4 = 4000 watt
 - 5 = 5000 watt
- d. Menentukan jumlah bahan bakar (20 ml). Dalam praktikum ini hanya menggunakan solar DEX sebagai bahan bakar ;
- e. Mengukur kecepatan generator;
- f. Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 20 ml konsumsi bahan bakar
- g. Mengukur tegangan dan arus beban ke alternator;
- h. Mengubah beban dan (c),
- i. Mengulangi langkah b sampai h dengan kecepatan berikutnya sesuai yang dibutuhkan.
- j. Setelah didapat parameter-parameter dari performa engine, maka langkah selanjutnya adalah dengan pemasangan hasil modifikasi air intake dengan menggunakan pendinginan termoelektrik (gambar)
- k. Kemudian mengulangi langkah b sampai h dengan variasi 3 suhu.

Penelitian ini tidak menggunakan simulasi software, namun hanya dengan percobaan, sehingga beberapa variabel yang harus disiapkan antara lain :

1. Uji Performa :

- Variabel Tetap : bahan bakar (PertaDex)
- Variabel Control :
 - Putaran Mesin (RPM)
 - Volume Air Humidifier
 - Beban
- Variabel Hasil :
 - Power
 - Torsi
 - SFOC
 - BMEP

2. Uji Emisi:

- Variabel Tetap : bahan bakar (PertaDex)
- Variabel Control :
 - Putaran Mesin (RPM)
 - Volume Air Humidifier
 - Beban
- Variabel Hasil :
 - Nilai Nox

6. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yaitu kegiatan untuk menggabungkan data hasil uji performa (berupa nilai Power, SFOC, BMEP dan Torsi) dan uji emisi berupa NOx dari kedua percobaan dengan menggunakan dan tanpa menggunakan *Air Humidifire*.

7. Analisa Data dan Pembahasan

Dalam penelitian ini menggunakan analisa data kuantitatif. Menganalisa dan membandingkan antara data emisi sebelum dan sesudah diberikan *Air Humidifire* pada kandungan NOx.

8. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengumpulan dan analisa data serta hasilnya dihubungkan dengan teori-teori yang telah ada, maka dapat ditarik kesimpulan dari kegiatan penelitian ini. Kesimpulan yang didapat sesuai atau berbeda dengan hipotesa awal.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi

Percobaan ini dilakukan pengambilan data uji performa dan uji emisi NO_x dengan dan tanpa menggunakan *air humidifier* pada motor diesel SHANHAI tipe R-180, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Type : Mendatar, 4 Langkah
- Model : R180
- Cooling System : Hopper
- Displacement : 402
- Diameter Langkah : 80x80 mm
- Starting system : Dengan Engkol
- Dimension : 658x341x463 mm
- Weight : 70 Kg
- Silinder : 1 Silinder
- Sistem Pembakaran : Indirect
- Max. Torque : 8 / 2600
- Continue Torque : 7 / 2200
- Compression Ratio : 21 : 1
- Sistem Governor : Mekanik
- Sistem Pendingin : Pendingin Air
- Arah Putaran : Berlawanan arah jarum jam
dilihat dari sisi roda penerus
(fly wheel)

Motor diesel yang digunakan tersebut dikopel dengan alternator (generator) untuk disambungkan ke beban. Pembebanan yang digunakan yaitu lampu dengan beberapa variasi, yaitu :

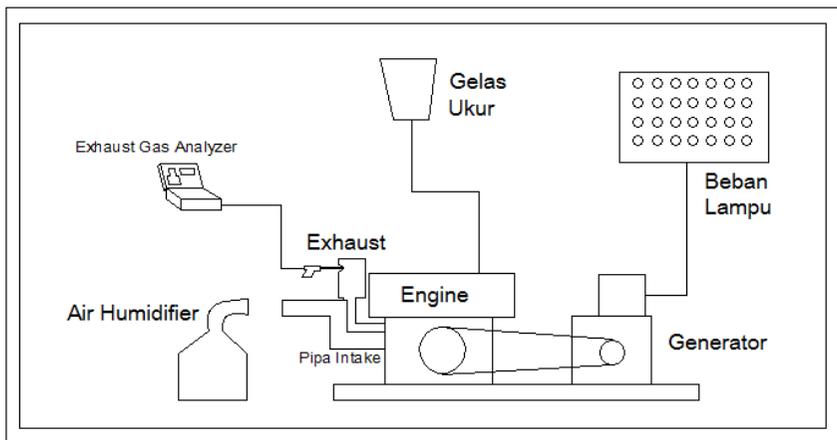
- Beban 25 % : 2000 watt
- Beban 50 % : 3000 watt
- Beban 75 % : 4000 watt
- Beban 100 % : 5000 watt

4.2 Uji Performa Motor Diesel

Pengambilan data awal adalah hasil uji performa engine dalam kondisi standart pabrikan tanpa adanya modifikasi. Variable yang digunakan dalam uji performa adalah :

- Variabel Tetap : bahan bakar (PertaDex)
10 ml / pembebanan
- Variabel Control :
 - Putaran Mesin (RPM)
 - Volume Air Humidifier
 - Beban
- Variabel Hasil :
 - Power
 - Torsi
 - SFOC
 - BMEP

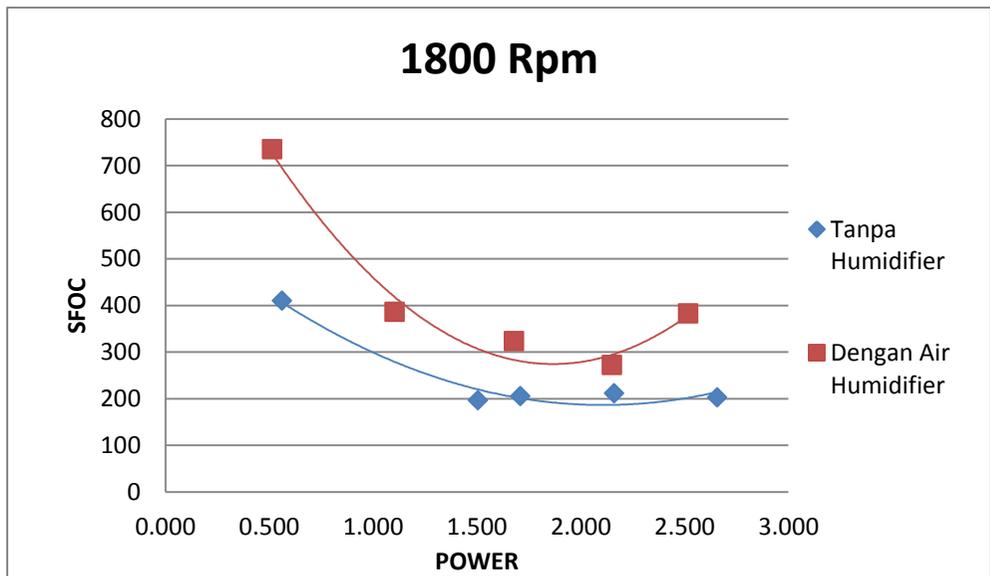
Pada saat uji performa perlengkapan yang dibutuhkan yang utama adalah Air Humidifier. Sistem yang digunakan yaitu memanaskan air pada suhu 100^0 C agar uap yang dihasilkan lebih banyak. Setelah itu mengarahkan laju uap tersebut pada pipa intake engine agar udara yang masuk menjadi lebih lembab akibat adanya penambahan kadar air pada udara yang masuk ke dalam ruang bakar. Setelah Air Humidifier siap, percobaan dapat dilakukan setelah engine diset up seperti berikut ini :



Gambar 4.1: Gambar Engine Set Up untuk percobaan

Setelah dilakukan pengamatan pada uji performa kondisi engine standart pabrik, dan dilakukan perhitungan. Maka didapatkan grafik perbandingan, yaitu :

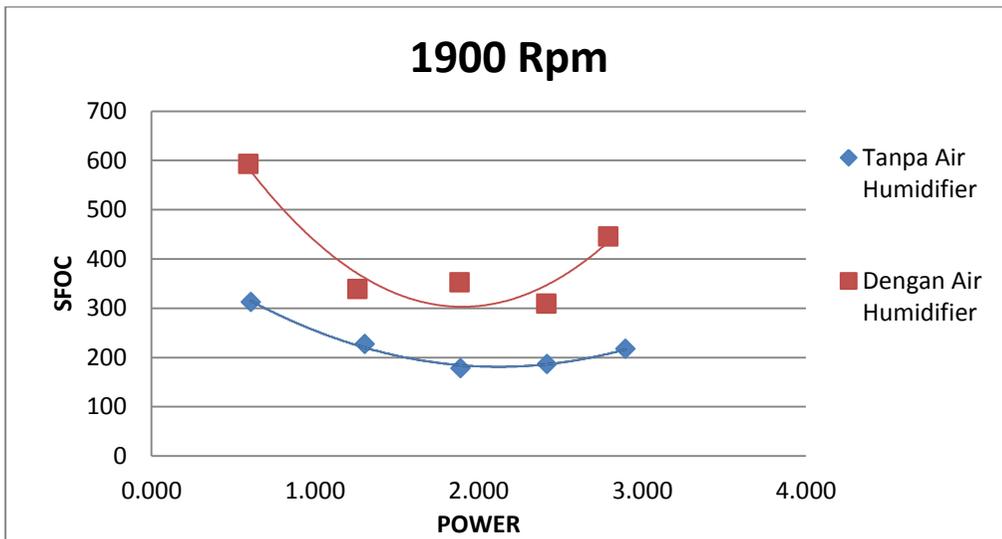
a. **Perbandingan Daya terhadap SFOC dengan penggunaan *air humidifier* pada 1800 RPM**



Gambar 4.2: Grafik perbandingan Power terhadap SFOC dengan dan tanpa penggunaan *Air Humidifier* pada 1800 RPM

Pada grafik 4.2 dapat kita lihat bahwa penambahan kadar air di dalam ruang bakar dengan menggunakan *Air Humidifier* dapat mempengaruhi nilai SFOC. Didapatkan nilai SFOC terhadap power pada beban 1000watt yaitu mengalami kenaikan dari 410.6 gr/kWh menjadi 734.9 gr/kWh atau naik 28%, pada beban 2000watt mengalami kenaikan dari 196.9 gr/kWh menjadi 386.6 gr/kWh atau naik 32%, pada beban 3000watt mengalami kenaikan dari 205.6 gr/kWh menjadi 323.5 gr/kWh atau naik 22%, pada beban 4000watt mengalami kenaikan dari 212 gr/kWh menjadi 272 gr/kWh atau naik 12%, pada beban 5000watt mengalami kenaikan dari 203.1 gr/kWh menjadi 382.8 gr/kWh atau naik 31%. Sehingga semakin besar power pada putaran yang sama, nilai SFOC semakin besar.

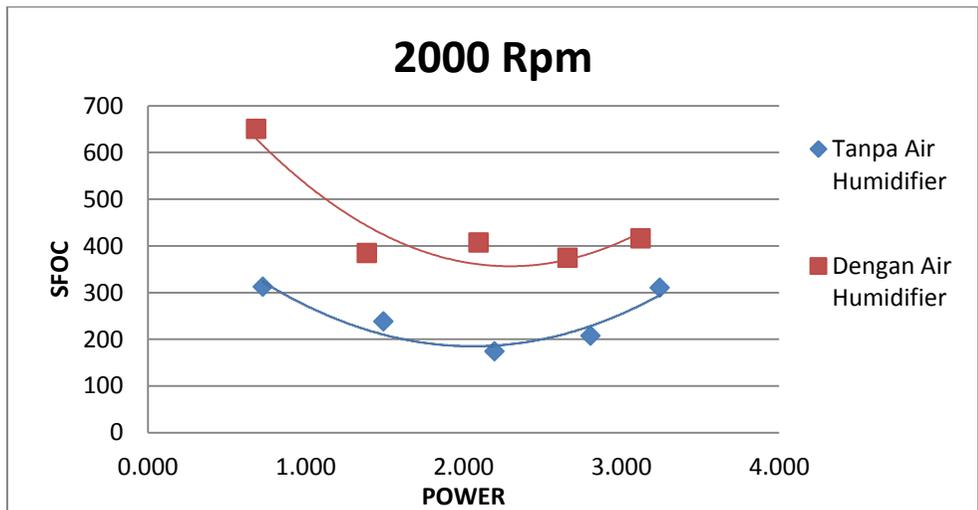
b. Perbandingan Daya terhadap SFOC dengan penggunaan *air humidifier* pada 1900 RPM



Gambar 4.3 : Grafik perbandingan Daya terhadap SFOC dengan dan tanpa penggunaan *Air Humidifier* pada 1900 RPM

Pada grafik 4.3 dapat kita lihat bahwa penambahan kadar air di dalam ruang bakar dengan menggunakan *Air Humidifier* dapat mempengaruhi nilai SFOC. Didapatkan nilai SFOC terhadap power pada beban 1000watt yaitu mengalami kenaikan dari 312.6 gr/kWh menjadi 593 gr/kWh atau naik 31%, pada beban 2000watt mengalami kenaikan dari 227.2 gr/kWh menjadi 339 gr/kWh atau naik 20%, pada beban 3000watt mengalami kenaikan dari 177.9 gr/kWh menjadi 352 gr/kWh atau naik 33%, pada beban 4000watt mengalami kenaikan dari 186.7 gr/kWh menjadi 309.5 gr/kWh atau naik 25%, pada beban 5000watt mengalami kenaikan dari 217.4 gr/kWh menjadi 445.7 gr/kWh atau naik 34%. Sehingga semakin besar power pada putaran yang sama, nilai SFOC semakin besar.

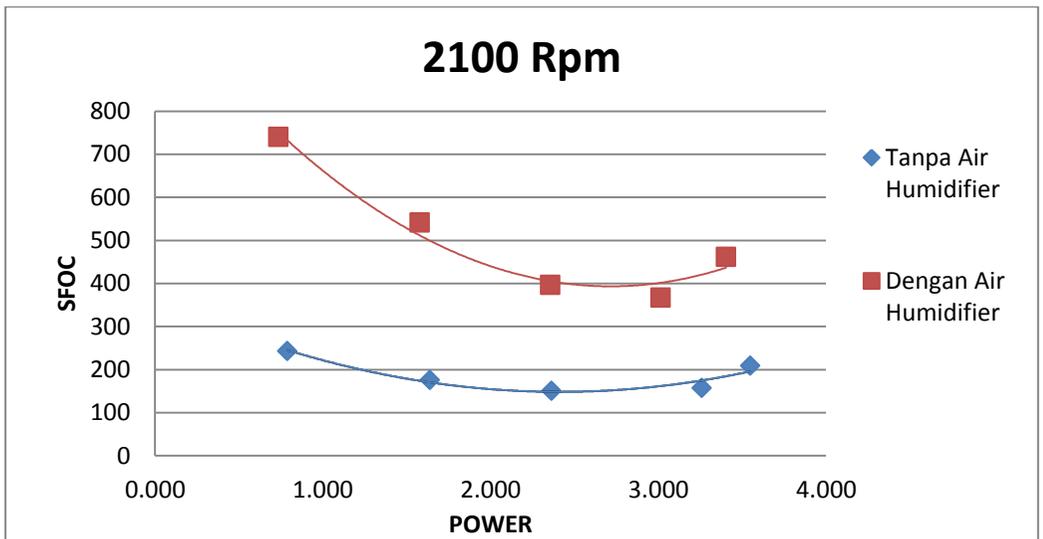
c. Perbandingan Daya terhadap SFOC dengan penggunaan *air humidifier* pada 2000 RPM



Gambar 4.4 : Grafik perbandingan Daya terhadap SFOC dengan dan tanpa penggunaan *Air Humidifier* pada 2000 RPM

Pada grafik 4.4 bahwa penambahan kadar air di dalam ruang bakar mempengaruhi nilai SFOC dengan menggunakan *Air Humidifier*. Semakin besar daya yang dihasilkan, semakin kecil nilai SFOC. Sehingga dengan penambahan kadar air dapat meningkatkan nilai SFOC. Didapatkan nilai SFOC terhadap power pada beban 1000watt yaitu mengalami kenaikan dari 312 gr/kWh menjadi 650 gr/kWh atau naik 35%, pada beban 2000watt mengalami kenaikan dari 238.3 gr/kWh menjadi 384 gr/kWh atau naik 23%, pada beban 3000watt mengalami kenaikan dari 174.3 gr/kWh menjadi 407 gr/kWh atau naik 40%, pada beban 4000watt mengalami kenaikan dari 207.3 gr/kWh menjadi 373.3 gr/kWh atau naik 29%, pada beban 5000watt mengalami kenaikan dari 310.6 gr/kWh menjadi 416 gr/kWh atau naik 15%. Kemudian pada grafik diatas dapat disimpulkan bahwa pada konsumsi bahan bakar lebih banyak pada saat ditambahkan *Air Humidifier*.

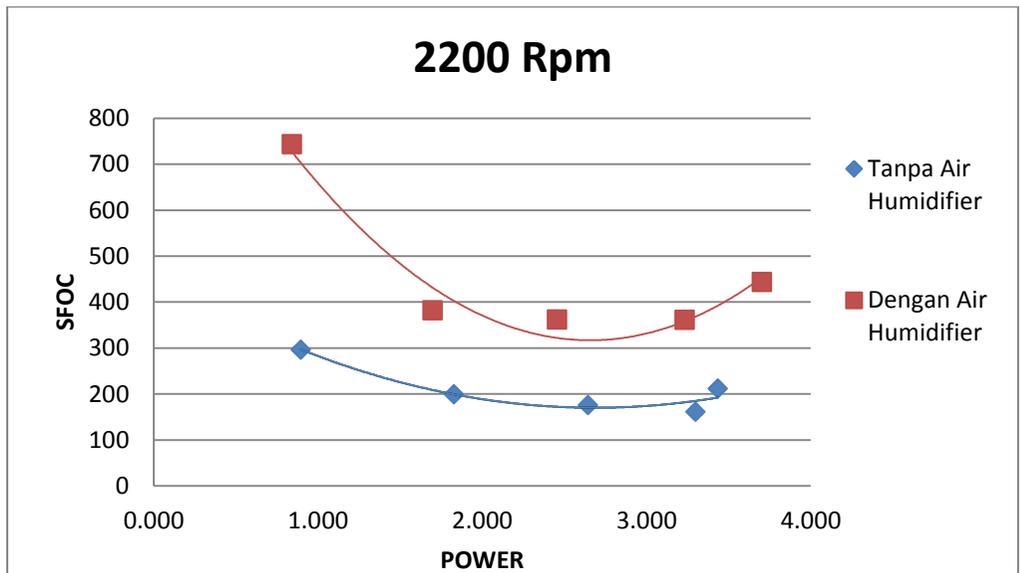
d. Perbandingan Daya terhadap SFOC dengan penggunaan *air humidifier* pada 2100 RPM



Gambar 4.5 : Grafik perbandingan Daya terhadap SFOC dengan dan tanpa penggunaan *Air Humidifier* pada 2100 RPM

Pada gambar di atas dapat kita lihat bahwa penambahan kadar air di dalam ruang bakar dengan menggunakan *Air Humidifier* dapat mempengaruhi nilai SFOC. Sehingga dengan penambahan kadar air dapat meningkatkan nilai SFOC. Pada 2100 RPM didapatkan nilai SFOC terhadap power pada beban 1000watt yaitu mengalami kenaikan dari 242.6 gr/kWh menjadi 740 gr/kWh atau naik 51%, pada beban 2000watt mengalami kenaikan dari 175.8 gr/kWh menjadi 541 gr/kWh atau naik 51%, pada beban 3000watt mengalami kenaikan dari 150.5 gr/kWh menjadi 396.5 gr/kWh atau naik 45%, pada beban 4000watt mengalami kenaikan dari 157 gr/kWh menjadi 367.1 gr/kWh atau naik 40%, pada beban 5000watt mengalami kenaikan dari 208.8 gr/kWh menjadi 462 gr/kWh atau naik 38%. Kemudian pada grafik diatas dapat disimpulkan bahwa pada motor diesel dengan tambahan *Air Humidifier* membuat konsumsi bahan bakar terlalu boros dengan kenaikan rata-rata 45%.

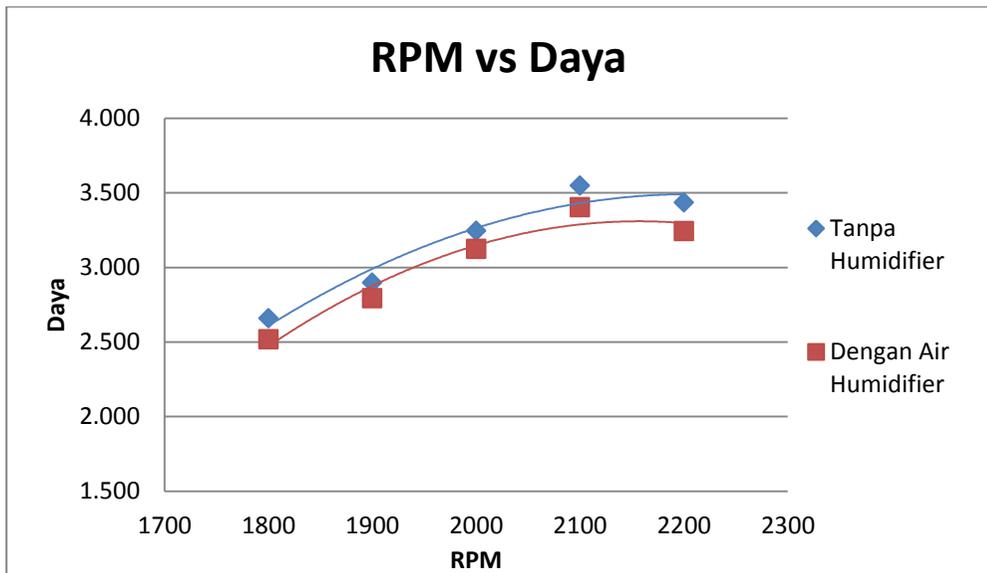
e. Perbandingan Daya terhadap SFOC dengan penggunaan *air humidifier* pada 2200 RPM



Gambar 4.6 : Grafik perbandingan Daya terhadap SFOC dengan dan tanpa penggunaan *Air Humidifier* pada 2200 RPM

Pada grafik tersebut dapat kita lihat bahwa penambahan kadar air di dalam ruang bakar dengan menggunakan *Air Humidifier* dapat mempengaruhi nilai SFOC. Semakin besar daya yang dihasilkan *engine*, semakin kecil nilai SFOC. Pada 2200 RPM dengan didapatkan nilai SFOC terhadap power pada beban 1000watt yaitu mengalami kenaikan dari 296.3 gr/kWh menjadi 743.5 gr/kWh atau naik 43%, pada beban 2000watt mengalami kenaikan dari 199.2 gr/kWh menjadi 382.2 gr/kWh atau naik 31%, pada beban 3000watt mengalami kenaikan dari 175.9 gr/kWh menjadi 362 gr/kWh atau naik 35%, pada beban 4000watt mengalami kenaikan dari 160.8 gr/kWh menjadi 361 gr/kWh atau naik 38%, pada beban 5000watt mengalami kenaikan dari 211.2 gr/kWh menjadi 443 gr/kWh atau naik 35%. Kemudian pada grafik diatas dapat disimpulkan bahwa pada motor diesel tanpa penggunaan *Air Humidifier* rata-rata kenaikan 37% pada 2200 RPM.

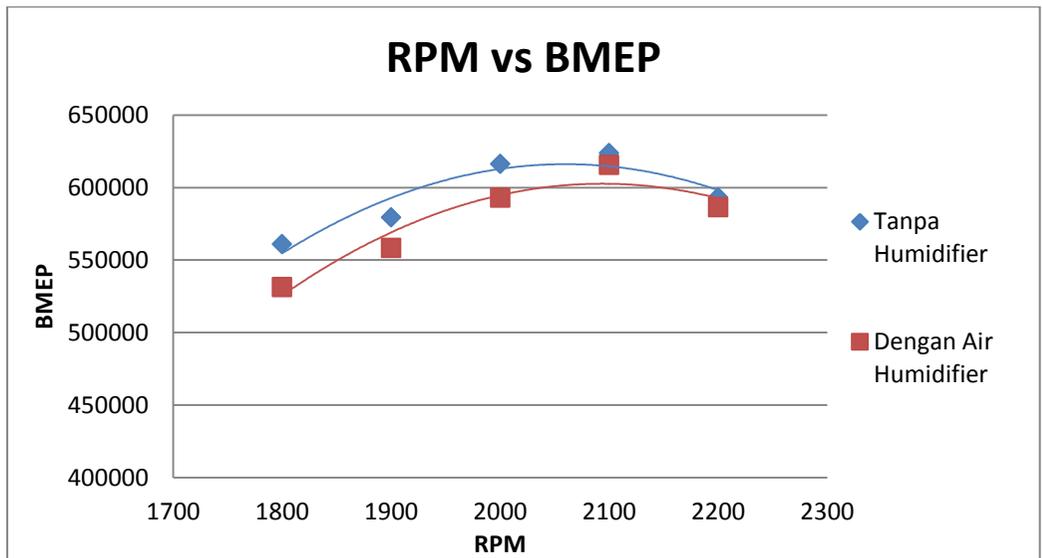
f. Perbandingan antara RPM terhadap Daya dengan dan tanpa menggunakan *Air Humidifier*



Gambar 4.7 : Grafik perbandingan RPM terhadap Daya dengan dan tanpa penggunaan *Air Humidifier*

Pada gambar diatas dapat kita lihat yaitu grafik perbandingan antara Putaran mesin dengan Power. Didapatkan pada putaran 1800 dengan beban maksimum 5000watt yaitu 2.6 kW turun menjadi 2.5 kW setelah ditambahkan *Air Humidifier* atau turun 2.71%, pada 1900 RPM dari 2.9 kW turun menjadi 2.7 kW atau turun 1.84%, pada 2000 RPM daya yang didapatkan 3.2 kW turun menjadi 3.1 kW atau turun 1.92%, pada 2100 RPM dari 3.5 kW turun menjadi 3.4 kW atau turun 2.08 %, sedangkan pada 2200 RPM dari 3.4 kW turun menjadi 3.2 kW atau turun 2.87%. Sehingga dari grafik di atas dapat kita lihat bahwa adanya penambahan kandungan air yang bercampur dengan udara dan bahan bakar maka power yang dihasilkan menurun. Namun karena rata-rata penurunan 2.28% sehingga pengaruh pada motor diesel tidak terlalu signifikan.

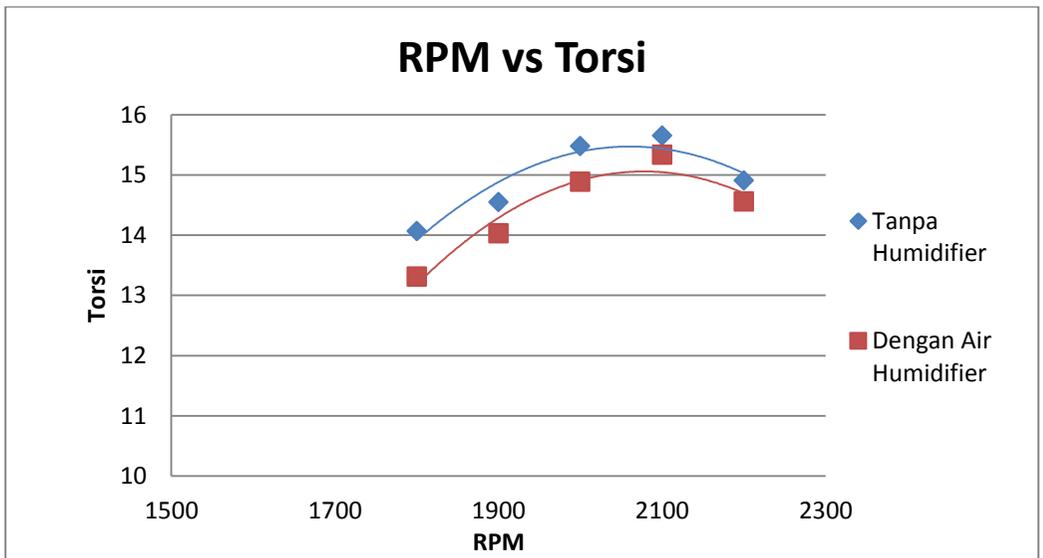
g. Perbandingan antara RPM terhadap BMEP dengan dan tanpa menggunakan *Air Humidifier*



Gambar 4.8 : Grafik perbandingan RPM terhadap BMEP dengan dan tanpa penggunaan *Air Humidifier*

Pada gambar 4.8 diatas dapat kita lihat yaitu grafik perbandingan antara Putaran mesin terhadap BMEP pada beban maksimum. Motor diesel dengan menggunakan bahan bakar Pertamina dex tanpa *Air Humidifier* menghasilkan BMEP sebesar 560893 N/m² pada 1800 RPM, sedangkan dengan penambahan kadar air nilai BMEP sebesar 531279 N/m², pada 1900 RPM didapatkan nilai BMEP 579298 N/m² mengalami penurunan menjadi 558371 N/m² atau turun 2%, pada 2000 RPM didapatkan nilai BMEP 616264 N/m² mengalami penurunan menjadi 593086 N/m² atau turun 2%, pada 2100 RPM didapatkan nilai BMEP 623703 N/m² mengalami penurunan menjadi 615649 N/m² atau turun 1%, pada 2200 RPM didapatkan nilai BMEP 593120.6 N/m² mengalami penurunan menjadi 586366 N/m² atau turun 1%. Dari grafik di atas dapat kita lihat bahwa adanya penambahan kandungan air yang bercampur dengan udara dan bahan bakar maka BMEP yang dihasilkan menurun. Penurunan yang dihasilkan rata-rata 2%, sehingga tidak terlalu signifikan pada kinerja *engine*.

h. Perbandingan antara RPM terhadap Torsi dengan dan tanpa menggunakan *Air Humidifier*

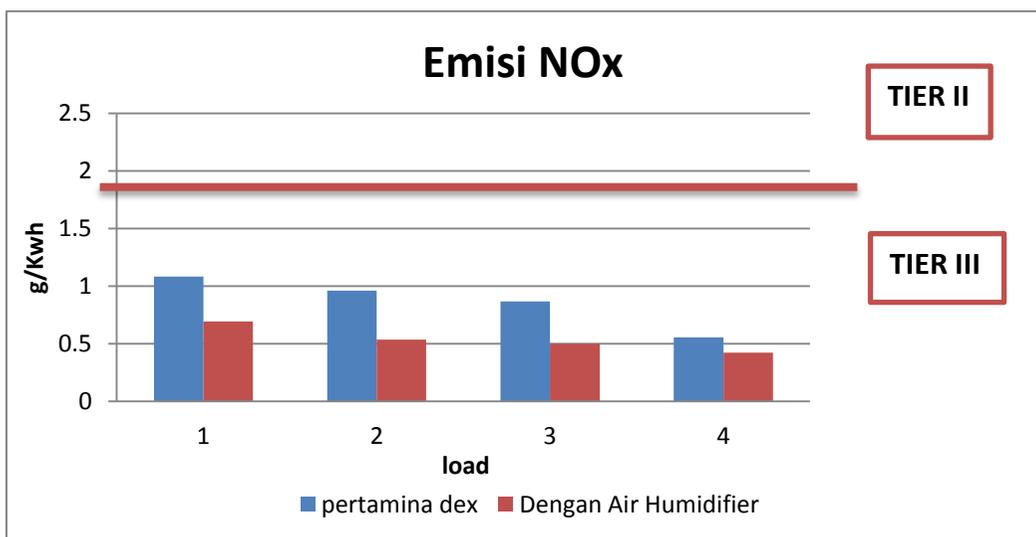


Gambar 4.9 : Grafik perbandingan RPM terhadap Torsi dengan dan tanpa penggunaan *Air Humidifier*

Pada gambar diatas dapat kita lihat yaitu grafik perbandingan antara torsi dan putaran mesin pada beban maksimum. Motor diesel dengan menggunakan bahan bakar Pertamina dex tanpa *Air Humidifier* menghasilkan Torsi sebesar 14 Nm pada 1800 RPM, sedangkan dengan penambahan kadar air nilai Torsi sebesar 13.3 Nm, pada 1900 RPM didapatkan nilai Torsi 14.5 Nm mengalami penurunan menjadi 14.02 Nm atau turun 2%, pada 2000 RPM didapatkan nilai Torsi 15.4 Nm mengalami penurunan menjadi 14.8 Nm atau turun 2%, pada 2100 RPM didapatkan nilai Torsi 15.65 Nm mengalami penurunan menjadi 15.3 Nm atau turun 1%, pada 2200 RPM didapatkan nilai Torsi 14.9 Nm mengalami penurunan menjadi 14.55 Nm atau turun 1%. Dari grafik di atas dapat kita lihat bahwa adanya penambahan kandungan air yang bercampur dengan udara dan bahan bakar maka Torsi yang dihasilkan menurun. Penurunan yang dihasilkan tidak terlalu signifikan pada *engine* karena rata-rata penurunan hanya 2%.

4.3 Uji Emisi

Hasil proses pembakaran motor diesel yang tidak sempurna mengakibatkan munculnya emisi yang berbahaya mengandung racun. Salah satu jenis emisi tersebut adalah NO_x. Emisi NO_x akan terbentuk selama proses pembakaran berlangsung. Nitrogen Oksida dapat terbentuk karena oksigen dan nitrogen bebas bertemu pada kondisi temperatur ruang bakar yang sangat tinggi. *International Maritime Organisation* (IMO) telah mengeluarkan mengenai standar ambang batas emisi NO_x yang diperbolehkan dari emisi gas buang motor diesel. Secara lengkap aturan ini telah dibahas pada MARPOL Annex VI.



Gambar 4.10 : Diagram Batang Kadar Emisi NO_x pada 100% RPM dengan Variasi Beban

Air Humidifier merupakan salah satu teknologi atau suatu cara yang digunakan untuk mereduksi emisi NO_x. Karena Nitrogen Oksida (NO_x) terbentuk pada saat proses pembakaran yang mengakibatkanbertemuanya oksigen dan nitrogen bebas pada kondisi temperatur ruang bakar yang sangat tinggi. Oleh karena itu, dengan menggunakan metode memasukkan air ke dalam ruang bakar dapat menurunkan temperatur saat proses pembakaran itu terjadi. Pada penelitian ini perlu dilakukan pengujian terhadap kadar NO_x setelah motor diesel dimodifikasi dengan menambahkan *Air Humidifier* pada bagian *intake manifold*. Hasil emisi NO_x yang diperoleh dari proses eksperimen terhadap motor diesel adalah seperti grafik 4.3.1

Kadar emisi NO_x yang dihasilkan pada engine tanpa modifikasi mulai dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 1,802 g/kWh, 0,961 g/kWh, 0,868 g/kWh, dan 0,555 g/kWh. Dari keempat nilai yang didapatkan, tidak masuk dalam standar TIER 1 dan TIER 2. Dari penjelasan sebelumnya pada BAB II, bahwa NO_x yang masuk dalam kualifikasi standar TIER 1 yaitu antara 7,7 sampai 9,8 g/kWh pada putaran lebih dari 2000 RPM dianggap sangat berbahaya. Sedangkan untuk TIER 2 adalah emisi NO_x motor diesel antara 1,96 sampai 7,7 g/kWh pada putaran 2000 RPM. Sedangkan untuk TIER 3 adalah emisi NO_x motor diesel yang kurang dari 1,96 g/kWh pada putaran lebih 2000 RPM.

Kadar emisi NO_x yang dihasilkan pada engine dengan menggunakan *Air Humidifier* mulai dari beban 25% hingga 100% berturut-turut adalah 0,639 g/kWh, 0,535 g/kWh, 0,501 g/kWh, 0,422 g/kWh. Mengacu pada MARPOL Annex VI jika dilihat dari hasil tersebut, semua beban masuk dalam kualifikasi standar TIER 3. Jika dilihat pada grafik di atas pada beban 25% mengalami penurunan 22%, pada beban 50% mengalami penurunan 28%, pada beban 75% mengalami penurunan 27%, pada beban 100% mengalami penurunan 14%.

Dari grafik 4.10 menunjukkan bahwa penggunaan *Air Humidifier* mampu mereduksi emisi NO_x dengan rata-rata sebesar 23%. Dengan demikian, penggunaan *Air Humidifier* dapat dijadikan metode maupun referensi alat untuk mereduksi emisi NO_x pada motor diesel.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu penambahan *Air Humidifier* pada *Intake Port* motor diesel untuk mereduksi emisi NOx. Dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini pengaruh penambahan *Air Humidifier* mengakibatkan penurunan performa *engine*. Hasil SFOC pada 1800 RPM dengan beban maksimum 5000watt mengalami kenaikan dari 203.1 gr/kWh menjadi 382.8 gr/kWh atau naik 31%. Sehingga semakin besar power pada putaran yang sama, nilai SFOC semakin besar. Kemudian Daya yang dihasilkan pada 2200RPM dari 3.4 kW turun menjadi 3.2 kW atau turun 2.87%, namun untuk penurunan rata-rata pada semua RPM dengan beban maksimum turun 2.28%, untuk nilai Torsi mengalami penurunan pada 2200 RPM didapatkan nilai 14.9 Nm mengalami penurunan menjadi 14.55 Nm atau turun 1%, namun rata-rata penurunan setiap RPM pada beban maksimum yaitu turun 2%, sedangkan BMEP pada 2200 RPM didapatkan nilai BMEP 593120.6 N/m² mengalami penurunan menjadi 586366 N/m² atau turun 1%, penurunan rata-rata yang dihasilkan pada setiap RPM pada beban maksimum yaitu 2%.Trend yang dihasilkan banyak mengalami penurunan meskipun tidak terlalu signifikan pada kinerja *engine*.
2. Dengan menambahkan *Air Humidifier* pada *Intake Port* motor diesel, kadar emisi NOx yang dihasilkan pada beban 25% mengalami penurunan 0.389 g/kWh atau 22%, pada beban 50% mengalami penurunan 0.426 g/kWh atau turun 28%, pada beban 75% mengalami penurunan 0.367 g/kWh atau turun 27%, pada beban 100% mengalami penurunan 0.133 g/kWh atau turun 14%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata nilai emisi NOx mampu berkurang hingga 0.328 g/kWh, atau tereduksi sebesar 23%. Secara garis besar kadar emisi motor diesel yang ditambahkan dengan *Air Humidifier* mampu mempertahankan tetap berada pada TIER 3 dengan nilai NOx yang jauh lebih kecil.
3. Penggunaan *Air Humidifier* dapat mempengaruhi performa motor diesel dan kadar NOx pada emisi gas buangnya. Penambahan kadar air yang bercampur udara mengakibatkan turunnya temperatur pada ruang bakar sehingga performa sedikit menurun, namun dapat mereduksi emisi NOx lebih besar.

5.2. Saran

Dengan dilakukann penelitian ini mengenai penambahan *Air Humidifier* pada *Intake Port* motor diesel untuk mereduksi emisi NOx, saran yang bisa diberikan adalah sebagai berikut :

- a) Peneliti selanjutnya dapat meneliti sistem *Air Humidifier* dipadukan dengan *valve timing* agar masuknya udara lembab lebih efisien sehingga dapat meningkatkan nilai performa dan reduksi NOx motor diesel yang lebih akurat serta continyu.
- b) Peneliti selanjutnya dapat meneliti sistem *Air Humidifier* dipadukan dengan teknologi pereduksi emisi lain seperti *amonia scrubber*, *EGR valve*, *PDF*, dll agar didapatkan kadar emisi yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariga Julia, (2012). Pengaruh penggunaan bahan bakar emulsi dari metanol dengan diesel oil terhadap performa, NO_x dan combustion process pada diesel engine (institut teknologi sepuluh nopember)
- Bappenas, ADB, Swiss Contact, 2006. *Atlas Kualitas Udara*. Hal 18. Diakses pada hari Jumat 2 Desember 2016.
- Catur, Septifan. (2010). Kajian Eksperimen Pengaruh Uap Air dan Gas Hasil Elektrolisis pada Udara Bilas terhadap kandungan NO_x dalam Gas Buang Motor Diesel. Institut Teknologi Sepuluh Nomerber. Surabaya.
- Hendrajat, Muhammad. (2011). Studi Eksperimen Penggunaan Water Scrubber untuk Meningkatkan Kinerja dari Sistem Exhaust Gas Recirculation (EGR) dalam Mereduksi NO_x pada Motor Diesel. Institut Teknologi Sepuluh Nomerber. Surabaya.
- MARPOL, 1998 “*Annex VI MARPOL 73/78 Regulation for the Prevention of Air Pollution from Ships and NO_x Technical Code*” International Maritime Organization, London
- Nariati, Susi. (2016). Influence Analysis Of The Iodine Number On Motor Performance with B20 and B30 Biodiesel Fuel from *Waste cooking oil*. Institut Teknologi Sepuluh Nomerber. Surabaya.
- PM No 29 pasal 30, 2014 “*Pencegahan Pencemaran Lingkungan Maritim*” Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia, Indonesia.
- Priambodo dan Maleev, V.L (1991), “*Oprasi dan Pemeliharaan Mesin Diesel*” Penerbit Erlangga.
- Setyadi, F V. “*Pengaruh Temperatur Dan Tekanan Udara Masuk Pada Motor Diesel Tipe 4 JA 1 Terhadap Unjuk Kerja*”, Surabaya: Fakultas Teknik Universitas Kristen Petra, 2000.
- Siagian, Arifin. (2016). Performa dan Karakteristik Emisi Gas Buang Mesin Diesel Berbahan Bakar Ganda. Balai Besar Teknologi Energi (B2TE) BPPT. Tangerang Selatan, Banten.
- Wakhid, Muhammad Arif. (2013). Analisis Perbandingan Peforma dan EmisiNO_x Motor diesel Menggunakan Bahan Bakar Biodiesel minyak Jelantah (*Waste cooking oil*) dengan Bio Solar. Institut Teknologi Sepuluh Nomerber. Surabaya.
- Yasin, Achmad Maulana. (2017). Studi Analisis Performa, Proses Pembakaran Dan Nox Motor Diesel Dengan Sistem Egr Menggunakan *Angle Globe Egr Valve* Berbasis Eksperimen. Institut Teknologi Sepuluh Nomerber. Surabaya.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Rumus Perhitungan

- Daya Motor

Daya motor adalah parameter dalam menentukan performa motor. Pengertian dari daya itu adalah besarnya kerja motor dalam kurun waktu tertentu.

$$P = \frac{v \times i \times \cos \phi}{\text{eff gen} \times \text{eff slip}}$$

Dimana :

P	: daya (kW)
V	: tegangan listrik (Volt)
I	: arus listrik (Ampere)
Cos ϕ	: 0.9
Eff Gen	: efisiensi generator (0.85)
Eff Slip	: efisiensi slip (hitung)

- Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)

Konsumsi bahan bakar spesifik atau Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) adalah parameter unjuk kerja motor yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah motor, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

$$FCR = \frac{v \times \rho}{t}$$

Dimana :

FCR	: laju aliran bahan bakar (gr/h)
ρ	: massa jenis bahan bakar (gr/m ³)
v	: volume bahan bakar (m ³)
t	: waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10 ml

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

Dimana :

SFOC	: konsumsi spesifik bahan bakar (gr/kWh)
FCR	: laju aliran bahan bakar (gr/h)
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)
 Rpm : putaran motor diesel (rpm)

- BMEP

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan efektif dari fluida kerja terhadap piston sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja per-siklus.

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

Dimana :

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

Lampiran 2. Tabel Data hasil performa tanpa Modifikasi

Putaran Engine (rpm) kontrol	Putaran Engine (rpm) aktual	Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m ³)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m ³)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (N/m ²)	BMEP (N/m ²)	LHV (J/kg)	Eff. Thermal (%)
				Tegangan (volt)	Arus (ampere)													
1800	1800	1000	1209	167	3.3	0.00002	131	2.183	0.0364	830000	1.038	0.562	458.2	811.5	2.984	118623.90	42537888	2.8969
1800	1800	2000	1196	164	8.9	0.00002	102	1.700	0.0283	830000	1.027	1.505	585.9	388.3	7.988	317592.90	42537888	6.0389
1800	1800	3000	1182	162	10.2	0.00002	86	1.433	0.0239	830000	1.023	1.710	694.9	408.5	9.074	360750.58	42537888	5.7835
1800	1800	4000	1184	156	13.3	0.00002	66	1.100	0.0183	830000	1.017	2.161	905.5	419.0	11.471	456029.19	42537888	5.6108
1800	1800	5000	1184	151	16.5	0.00002	56	0.933	0.0156	830000	1.017	2.595	1067.1	411.2	13.774	547617.47	42537888	5.7168
1900	1900	1000	1257	178	3.3	0.00002	159	2.650	0.0442	830000	1.022	0.608	375.8	617.9	3.059	121609.29	42537888	3.8048
1900	1900	2000	1254	177	7.1	0.00002	102	1.700	0.0283	830000	1.020	1.305	585.9	449.1	6.560	260796.76	42537888	5.2344
1900	1900	3000	1252	173	10.5	0.00002	90	1.500	0.0250	830000	1.018	1.889	664.0	351.6	9.497	377571.48	42537888	6.6866
1900	1900	4000	1250	167	13.9	0.00002	67	1.117	0.0186	830000	1.017	2.417	891.9	369.0	12.156	483269.48	42537888	6.3713
1900	1900	5000	1244	161	17.2	0.00002	48	0.800	0.0133	830000	1.012	2.888	1245.0	429.6	14.571	579298.03	42537888	5.4715
2000	2000	1000	1327	196	3.6	0.00002	133	2.217	0.0369	830000	1.025	0.729	449.3	616.7	3.481	138374.40	42537888	3.8120
2000	2000	2000	1322	192	7.5	0.00002	85	1.417	0.0236	830000	1.022	1.493	703.1	471.0	7.130	283464.80	42537888	4.9907
2000	2000	3000	1321	189	11.2	0.00002	79	1.317	0.0219	830000	1.021	2.196	756.5	344.5	10.489	417008.70	42537888	6.8236
2000	2000	4000	1316	182	14.8	0.00002	52	0.867	0.0144	830000	1.017	2.805	1149.2	409.8	13.398	532854.16	42537888	5.7371
2000	2000	5000	1307	171	18.1	0.00002	30	0.500	0.0083	830000	1.010	3.245	1992.0	613.9	15.501	616264.58	42537888	3.8294
2100	2100	1000	1397	207	3.7	0.00002	158	2.633	0.0439	830000	1.028	0.789	378.2	479.5	3.589	142673.65	42537888	4.9027
2100	2100	2000	1391	203	7.8	0.00002	96	1.600	0.0267	830000	1.024	1.638	622.5	380.1	7.451	296231.76	42537888	6.1849
2100	2100	3000	1386	198	11.5	0.00002	75	1.250	0.0208	830000	1.020	2.364	796.8	337.1	10.754	427531.29	42537888	6.9737
2100	2100	4000	1475	190	15.2	0.00002	55	0.917	0.0153	830000	1.085	2.817	1086.5	385.7	12.816	509534.12	42537888	6.0949
2100	2100	5000	0	0	0	0.00002	0	0.000	0.0000	830000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2200	2200	1000	1458	222	3.9	0.00002	114	1.900	0.0317	830000	1.024	0.895	524.2	585.7	3.887	154535.47	42537888	4.0139
2200	2200	2000	1449	217	8.1	0.00002	71	1.183	0.0197	830000	1.018	1.828	841.7	460.3	7.940	315678.11	42537888	5.1067
2200	2200	3000	1443	211	12	0.00002	65	1.083	0.0181	830000	1.014	2.645	919.4	347.6	11.486	456631.09	42537888	6.7626
2200	2200	4000	1435	200	15.7	0.00002	57	0.950	0.0158	830000	1.008	3.298	1048.4	317.9	14.323	569437.22	42537888	7.3953
2200	2200	5000	0	0	0	0.00002	0	0.000	0.0000	830000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Lampiran 3. Tabel Data hasil performa Dengan Humidifier

Putaran Engine (rpm) kontrol	Beban (watt)	Putaran (rpm)	Alternator		Volume Bahan (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisien si Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/wh)	SFDC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)	LHV (JKg)	Eff. Thermo (%)
			tegangan	Arus ampere													
1800	1805	1000	186	3.1	0.00001	79	1.317	0.0219	840000	1.027	0.515	382.8	743.8	2.724	108598.67	42537888	3.1606
1800	1802	2000	187	6.6	0.00001	70	1.167	0.0194	840000	1.019	1.104	432.0	391.3	5.853	232963.13	42537888	6.0076
1800	1803	3000	181	10.2	0.00001	55	0.917	0.0153	840000	1.023	1.679	549.8	327.4	8.899	364367.30	42537888	7.1801
1800	1804	4000	183	13.5	0.00001	51	0.850	0.0142	840000	1.017	2.151	592.9	275.6	11.394	453995.10	42537888	8.5295
1800	1807	5000	180	14.6	0.00001	31	0.517	0.0086	840000	1.013	2.518	975.5	387.5	13.312	531279.30	42537888	6.0673
1900	1903	1000	174	3.3	0.00001	85	1.417	0.0236	840000	1.026	0.593	355.8	600.2	2.976	18499.42	42537888	3.9168
1900	1903	2000	174	7	0.00001	70	1.167	0.0194	840000	1.024	1.259	432.0	343.0	6.323	251761.70	42537888	6.8530
1900	1903	3000	170	10.6	0.00001	45	0.750	0.0125	840000	1.013	1.884	672.0	356.7	9.459	376663.50	42537888	6.5911
1900	1902	4000	146	16.5	0.00001	40	0.667	0.0111	840000	1.013	2.413	756.0	313.3	12.123	482460.81	42537888	7.5044
1900	1902	5000	126	17	0.00001	24	0.400	0.0067	840000	1.005	2.793	1260.0	451.1	14.030	558371.39	42537888	5.2111
2000	2001	1000	180	3.5	0.00001	67	1.117	0.0186	840000	1.027	0.686	451.3	658.3	3.274	130216.13	42537888	3.5712
2000	2001	2000	185	7.2	0.00001	56	0.933	0.0156	840000	1.016	1.388	540.0	389.1	6.627	263600.71	42537888	6.0424
2000	2005	3000	182	11	0.00001	35	0.583	0.0037	840000	1.012	2.096	864.0	412.3	9.986	398008.67	42537888	5.7021
2000	2004	4000	175	14.5	0.00001	30	0.500	0.0083	840000	1.010	2.680	1008.0	378.9	12.683	505240.98	42537888	6.2043
2000	2004	5000	167	17.7	0.00001	23	0.383	0.0064	840000	1.002	3.123	1314.8	421.0	14.888	593086.27	42537888	5.5836
2100	2089	1000	183	3.6	0.00001	55	0.917	0.0153	840000	1.018	0.734	549.8	749.0	3.341	132771.39	42537888	3.1385
2100	2109	2000	188	7.6	0.00001	35	0.583	0.0037	840000	1.016	1.577	864.0	547.9	7.143	285204.05	42537888	4.2903
2100	2102	3000	177	11.5	0.00001	32	0.533	0.0089	840000	1.013	2.355	945.0	401.3	10.704	425978.89	42537888	5.8587
2100	2102	4000	184	16.2	0.00001	27	0.450	0.0075	840000	1.004	3.014	1120.0	371.6	13.700	545199.15	42537888	6.3287
2100	2107	5000	184	17.6	0.00001	19	0.317	0.0053	840000	0.996	3.404	1591.6	467.6	15.434	615649.45	42537888	5.0275
2200	2201	1000	148	21.4	0.00001	55	0.917	0.0153	840000	1.024	0.841	549.8	654.0	3.649	145146.36	42537888	3.5945
2200	2201	2000	143	21.0	0.00001	46	0.767	0.0128	840000	1.021	1.699	857.4	386.9	7.376	293370.47	42537888	6.0763
2200	2203	3000	142	20.9	0.00001	30	0.500	0.0083	840000	1.027	2.458	1008.0	410.4	10.653	424103.51	42537888	5.7287
2200	2205	4000	143	19.7	0.00001	22	0.367	0.0061	840000	1.007	3.232	1374.5	425.2	14.006	58100.92	42537888	5.5284
2200	2204	5000	142	18.8	0.00001	11	0.183	0.0031	840000	1.000	3.704	2749.1	742.2	16.056	639490.36	42537888	3.1673

Lampiran 4. Hasil Pengujian Emisi



PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS TENAGA KERJA DAN TRANSMIGRASI
UNIT PELAKSANA TEKNIS KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
(UPT K3)

Jl. Dukuh Menanggal 122 Telepon 8280440, 8294490, Fax. 8294277 Surabaya 60234
 Email : uptk3sby@gmail.com ; hpkkjtm@yahoo.com



LHU ini merupakan hasil pada lokasi dan saat pengukuran
LAPORAN HASIL PENGUJIAN
 No. PT.07 / VII /2017

I Nama Pengguna Jasa : MAHASISWA ITS (OKY MAHARDIKA)
 II Alamat : Kampus ITS, Sukolilo - Surabaya
 III Jenis Pengukuran : Kualitas Udara Emisi
 IV Tanggal Pengukuran : 05 Juli 2017
 V Lokasi Pengukuran : Mesin Diesel Shanhai R 180
 VI Alat Yang Digunakan : Exhaust Gas Analysis, ECOM J2KN
 VII Hasil Pengukuran :

NO	Bahan Bakar	Beban (%)	Hasil Pengukuran (NO _x , mg/kwh)
1	Pertamina Dex (Tanpa Modifikasi)	25	1082
		50	961
		75	868
		100	555
2	Pertamina Dex (Dengan Air Humidifier)	25	639
		50	535
		75	501
		100	422

Surabaya, 10 Juli 2017
 MANAJER TEKNIK



[Signature]
S L Y M E T, SKM.
 NIP. 19630111 198803 1 012

“Halaman Sengaja Dikosongkan”