



SKRIPSI - 141501

**ANALISA PENGARUH VARIASI KOMPOSISI MATERIAL
KOMPOSIT TERHADAP REDUKSI EMISI GAS BUANG MOTOR
DIESEL**

**Arif Rahman Pambudi
0421134000061**

**Dosen Pembimbing:
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman sengaja dikosongkan”



BACHELOR THESIS - 141501

**IMPACT ANALYSIS OF COMPOSITE MATERIAL COMPOSITION
ON DIESEL ENGINE EXHAUST GAS EMISSION**

**Arif Rahman Pambudi
0421134000061**

**Supervisor :
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**MARINE ENGINEERING DEPARTEMENT
MARINE OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA PENGARUH VARIASI KOMPOSISI MATERIAL KOMPOSIT
TERHADAP REDUKSI EMISI GAS BUANG MOTOR DIESEL**

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP) Program Studi S-1 Departemen Teknik
Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

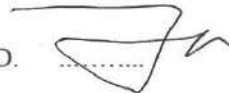
oleh:

Arif Rahman Pambudi
NRP. 0421134000061

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi:
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
NIP: 1971 0610 1995 12 1001



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



Surabaya
Juli 2018

“Halaman sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA PENGARUH VARIASI KOMPOSISI MATERIAL KOMPOSIT
TERHADAP REDUKSI EMISI GAS BUANG MOTOR DIESEL**

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

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

**Arif Rahman Pambudi
NRP. 0421134000061**

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 1977-0802-2008 01 1007

Surabaya
Juli 2018

“Halaman sengaja dikosongkan”

ANALISA PENGARUH VARIASI KOMPOSISI MATERIAL KOMPOSIT TERHADAP REDUKSI EMISI GAS BUANG MOTOR DIESEL

Nama Mahasiswa : Arif Rahman Pambudi
NRP : 0421134000061
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Polusi udara merupakan ancaman serius bagi lingkungan dan kesehatan, tidak terkecuali polusi udara yang ditimbulkan oleh gas buang alat transportasi. 25 juta metric ton NO_x dihasilkan melalui aktivitas di sektor perkapalan. Berbagai upaya mereduksi emisi dilakukan untuk menekan laju emisi NO_x, diantaranya adalah dengan menggunakan katalis dan injeksi larutan urea atau ammonia. Namun peranan katalis secara optimal dalam mereduksi NO_x terbatas pada rentang temperatur tertentu. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan penggabungan dua jenis katalis agar memperoleh rentang temperatur kerja optimal yang relatif luas. Pembuatan katalis memadukan material bentonit sebagai pengemban, sedangkan logam besi dan tembaga ditambahkan sebagai material pengisi. Dalam penelitian ini dilakukan percobaan menggunakan motor diesel satu silinder *Yanmar TF85 MH-di*. Percobaan dilakukan dengan membandingkan kadar emisi gas buang NO_x pada kondisi motor bakar diberikan katalis dan injeksi urea dengan tanpa menggunakan katalis dan injeksi urea. Adapun katalis yang digunakan adalah campuran bentonit, tembaga, dan besi. Hasil percobaan, penggunaan katalis bentonit besi dan tembaga adalah yang paling efektif dibanding jeni katalis yang lainnya dalam mereduksi emisi NO_x. Dalam percobaan pada kecepatan motor diesel 2200 RPM dan variasi beban 25%, 50%, 75%, 100%, prosentase reduksi NO_x berturut-turut sebesar 88.41%, 96.14%, 99.46%, dan 99.9%.

Kata kunci : Katalis, bentonit, tembaga, besi, reduksi NO_x.

“Halaman sengaja dikosongkan”

IMPACT ANALYSIS OF COMPOSITE MATERIAL COMPOSITION ON DIESEL ENGINE EXHAUST GAS EMISSION

Student Name : Arif Rahman Pambudi
NRP : 0421134000061
Department : Marine Engineering
Supervisor : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Ir. Agung Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

Air pollution becomes serious threat to the environment and health, includes the air pollution caused by exhaust gas from various transportation. 25 million metric tons of NO_x is generated through activity in the shipping sector. Various efforts to reduce emissions are made to reduce the rate of NO_x emissions, for example is by using a catalyst and injection of urea or ammonia solution. However, the optimal catalyst role in reducing NO_x is limited to a certain temperature range. Therefore, in this study conducted by combine two types of catalyst in order to obtain a relatively wide range of optimal working temperature. The preparation of the catalyst also combine clay material as a carrier, while ferrous and copper metals are added as filler material. This experiment use a single-cylinder diesel engine Yanmar TF85 MH-di. The experiments were conducted by comparing the exhaust emission level of NO_x on diesel motor conditions given catalyst and urea injection without using catalyst and urea injection. The catalyst to be used in this experiment is a mixture of clay, copper, and iron. Using of iron and copper clay catalysts is the most effective catalysts in reducing NO_x emissions. In the experiments at 2200 RPM diesel motor speed and 25% load variations, 50%, 75%, 100%, NO_x reduction percentages were 88.41%, 96.14%, 99.46%, and 100%, respectively.

Keywords: Catalyst, clay, copper, iron, NO_x reduction.

“Halaman sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

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

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

1. Ibu Dwi Sepyani Mahendraningsih selaku ibu penulis yang senantiasa memotivasi dan mendoakan kesuksesan penulis.
2. Bapak Dr. I Made Ariana, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memotivasi dan membagi ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Agung Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan semangat, masukan, dan ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan sekaligus dosen wali penulis yang senantiasa mengingatkan agar penulis segera menyelesaikan studi S1.
5. Bapak Nur selaku teknisi Laboratorium Marine Power Plant yang telah membantu penulis dalam persiapan pra eksperimen hingga eksperimen selesai.
6. Teman-teman Barakuda 13 dan Mercusuar 14 yang senantiasa saling mengingatkan dan memberikan semangat dalam mengerjakan skripsi ini.

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

Surabaya, 2018

Penulis

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	ix
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR ISTILAH PENTING	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Perumusan Masalah	2
Batasan Masalah	2
Tujuan Permasalahan	2
Manfaat Penulisan.....	2
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Bentonit (Clay).....	5
II.2 Katalis.....	7
II.3 Mekanisme reduksi NO _x	8
II.4 Injeksi Larutan Urea.....	8
II.5 Regulasi sebagai Kontrol Emisi	9
II.5.1 Regulasi Emisi NO _x	10
II.5.2 Regulasi Emisi <i>Particulate Matter</i> (PM)	11
BAB III	12

METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah	15
3.2 Studi Literatur	15
3.3 Pembuatan Catalytic Converter	15
3.4 Pembuatan Cetakan.....	17
3.5 Pembuatan Katalis	18
3.5.1 Katalis Bentonit dan Besi.....	19
3.6 Pembuatan dan Injeksi Larutan Urea	21
3.7 Engine Set Up	22
3.8 Eksperimen	24
3.9 Pengumpulan Data	25
3.10 Analisa Data dan Pembahasan	26
3.11 Simpulan dan Saran	26
BAB IV	27
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Analisa Emisi NO _x Motor Bakar Tanpa Menggunakan <i>Catalytic Converter</i>	27
4.2 Analisa Emisi NO _x Motor Bakar Menggunakan <i>Catalytic Converter</i>	28
4.3 Analisa Emisi NO _x Motor Bakar Secara Umum	31
4.4 Analisa Emisi <i>Particulate Matter</i> (PM) Motor Bakar Tanpa <i>Catalytic Converter</i>	31
4.5 Analisa Emisi <i>Particulate Matter</i> (PM) Motor Bakar Menggunakan <i>Catalytic Converter</i>	33
4.6 Analisa Emisi PM Motor Bakar Secara Umum	35
BAB V	36
KESIMPULAN DAN SARAN.....	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Silika Tetrahedral	3
Gambar 2.2	Aluminium Oktahedral	4
Gambar 2.3	Mekanisme reduksi NO _x	6
Gambar 2.4	Grafik standar ambang batas emisi NO _x yang diijinkan IMO	9
Gambar 3.1	Diagram alur penelitian	11
Gambar 3.2	Bentuk flens saluran gas buang	14
Gambar 3.3	Elbow saluran gas buang dan <i>catalytic converter</i>	14
Gambar 3.4	<i>Catalytic converter</i> dan dudukan	14
Gambar 3.5	<i>Clamped catalytic converter</i>	15
Gambar 3.6	Cetakan katalis sebelum dirangkai	15
Gambar 3.7	Cetakan katalis sesudah dirangkai	16
Gambar 3.8	Penampang katalis	17
Gambar 3.9	Pengukuran massa 100 ml serbuk besi	18
Gambar 3.10	Pengukuran massa 100 ml serbuk bentonit	18
Gambar 3.11	Campuran serbuk bentonit dan besi	19
Gambar 3.12	Hasil pencetakan katalis	19
Gambar 3.13	Pemanasan katalis dengan oven	20
Gambar 3.14	<i>Engine Set up</i>	20
Gambar 3.17	Multimeter digital	21
Gambar 3.18	<i>Gas Analyzer</i>	22
Gambar 4.1	Grafik kadar emisi NO _x pada kondisi tanpa katalis	26
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan NO _x kondisi standar dengan katalis	27
Gambar 4.3	Grafik kadar emisi PM pada kondisi tanpa katalis	31
Gambar 4.4	Grafik kadar emisi PM pada kondisi dengan katalis	32

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ambang batas kadar emisi NO _x yang diijinkan oleh IMO	9
Tabel 2.2	Ambang batas kadar SO _x dan PM yang diijinkan IMO	10
Tabel 3.1	MARPOL Annex VI <i>test cycle</i>	23
Tabel 4.1	Hasil uji emisi NO _x pada berbagai jenis katalis	25
Tabel 4.2	Perbandingan kadar emisi NO _x hasil eksperimen dan regulasi	29
Tabel 4.3	Hasil uji emisi PM pada berbagai jenis katalis	30
Tabel 4.4	Perbandingan kadar emisi PM hasil eksperimen dan regulasi	34

DAFTAR ISTILAH PENTING

Cu	: Copper, Tembaga
Clay	: Tanah liat Bentonit
ECA	: Emission Control Area
Fe	: Ferro, Ferrit, Besi
IMO	: International Maritime Organization
Load	: Beban
NO _x	: Semua jenis gas dengan unsur N dan O, meliputi NO dan NO ₂
PM	: Particulate Matter
PPM	: Part Per Million
RPM	: Revolution Per Minute
SCR	: Selective Catalytic Reduction

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang

Polusi udara merupakan ancaman bagi lingkungan dan kesehatan pernafasan manusia. Sumber-sumber polusi udara dapat berasal dari gas buang mesin-mesin pada pabrik maupun gas buang pada kendaraan bermotor, tidak terkecuali dari sektor perkapalan. Pada tahun 2007 sebanyak 25 juta metrik ton (MMt) NO_x dihasilkan oleh kapal-kapal yang berlayar. NO_x termasuk nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂) adalah penyumbang utama permasalahan kualitas udara lokal maupun regional seperti endapan *acidic nitrate* dan dampaknya terhadap kesehatan misalnya gangguan organ paru-paru (Azzara, 2014). Selain NO_x, polusi udara juga dapat berupa sulfur oksida (SO₂) dan karbon dioksida (CO₂). Adapun jumlahnya berturut-turut adalah 2,3 juta ton dan 100 juta ton dihasilkan dari aktivitas perdagangan internasional khususnya di perairan eropa dan diperkirakan emisi akan terus meningkat pada beberapa tahun kedepan.

Berbagai upaya untuk mengurangi kadar emisi gas buang telah dilakukan seperti EGR (*Exhaust Gas Recirculation*), *Fuel Water Emulsion*, *SCR (Selective Catalytic Reduction)*. Adapun teknologi pereduksi emisi gas buang menggunakan katalis. Prinsip kerja katalis adalah membantu mempercepat terjadinya reaksi kimia dalam hal ini reaksi reduksi emisi gas buang berupa NO_x. Sehingga setelah dilakukan *treatment* gas buang dengan menggunakan katalis, kadar emisi NO_x menjadi berkurang.

Hingga saat ini teknologi reduksi gas buang semakin berkembang. Berawal dari penggunaan injeksi ammonia, kemudian diganti menggunakan injeksi larutan urea. Demikian pula dengan katalis yang digunakan untuk mempercepat reaksi reduksi NO_x. Mulai dari katalis berupa bahan logam murni yang ketersediaanya rendah dan harga yang relatif mahal, misalnya Platinum (Pt), Palladium (Pd) dan Rhodium (Rh). Oleh karena itu, dalam perkembangannya penelitian pereduksi gas buang dengan katalis berorientasi pada penggunaan bahan alternatif yang ketersediaanya lebih melimpah dan lebih murah. Misalnya katalis mulai diganti dengan bahan Titanium (Ti), Besi (Fe), Tembaga (Cu), ataupun dengan oksida logam tersebut TiO₂, CuO.

Pemanfaatan katalis logam terbukti efektif dalam membantu mempercepat reaksi reduksi NO_x, sehingga kadar emisi NO_x yang ditimbulkan oleh gas buang pada motor diesel dapat dikurangi. Namun teknologi ini bukan tanpa kekurangan, mengingat jenis katalis juga memiliki tingkat efektivitas yang berbeda-beda dalam membantu mereduksi emisi NO_x. Misalnya saja reduksi emisi NO_x yang dilakukan dengan injeksi urea dan bantuan katalis logam besi. Reduksi emisi NO_x akan berjalan optimal pada temperatur berkisar 500 derajat celcius. Sehingga pada saat kondisi gas buang tidak berkisar 500 C, maka reduksi emisi NO_x kurang optimal. Oleh karena itu diperlukan kombinasi jenis katalis yang dapat bekerja secara optimal pada temperatur gas buang yang relatif tinggi maupun rendah. Artinya katalis memiliki rentang temperatur kerja optimal yang relatif luas.

Sementara itu, dalam menyaring gas buang CO pada kendaraan bermotor digunakan teknologi berbasis keramik dengan bahan utama berupa bentonit (*clay*) yang memiliki struktur berpori, ketahanan yang baik terhadap temperatur tinggi, dan ikatan antar molekul yang kuat (kohesivitas tinggi). Namun sejauh ini penggunaan teknologi pereduksi kadar emisi gas buang berbasis keramik dilakukan sebatas penyaring gas buang karbon monoksida (CO). Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian penggabungan teknologi pereduksi emisi gas buang NOx pada motor diesel menggunakan material komposit berbasis keramik dengan menggunakan bahan utama (pengemban) berupa bentonit dan logam sebagai material pengisi (*filler*).

Perumusan Masalah

Dari uraian di atas maka rumusan masalah yang akan dibahas pada usulan skripsi ini adalah:

- a. Bagaimana proses pembuatan pereduksi gas buang motor diesel dari gabungan bahan keramik dan logam?
- b. Bagaimana pengaruh komposisi material komposit terhadap kemampuan mereduksi emisi gas buang NOx pada motor diesel?
- c. Bagaimana pengaruh komposisi material komposit terhadap emisi gas buang *Particulate Matter* (PM)?

Batasan Masalah

Untuk melaksanakan penelitian ini maka dibutuhkan batasan masalah sebagai berikut:

- a. Motor bakar yang digunakan adalah diesel Yanmar TF85MH-di
- b. Pembuatan komposit dengan proses pencetakan dan pemanasan
- c. Menggunakan material *clay* atau bentonit sebagai matriks dengan kadar yang tetap, sedangkan variasi pada *filler* (berupa kadar Cu dan Fe)

Tujuan Permasalahan

Adapun tujuan dari usulan skripsi adalah:

- a. Untuk mengetahui proses pembuatan pereduksi gas buang motor diesel dari material komposit.
- b. Untuk menganalisa pengaruh komposisi material komposit terhadap kemampuan mereduksi emisi gas buang NOx pada motor diesel.
- c. Untuk menganalisa pengaruh komposisi material komposit terhadap emisi gas buang berupa *Particulate Matter* (PM) pada motor diesel.

Manfaat Penulisan

Manfaat yang akan diperoleh dari skripsi ini adalah:

- a. Memahami proses pembuatan pereduksi gas buang dari material komposit.

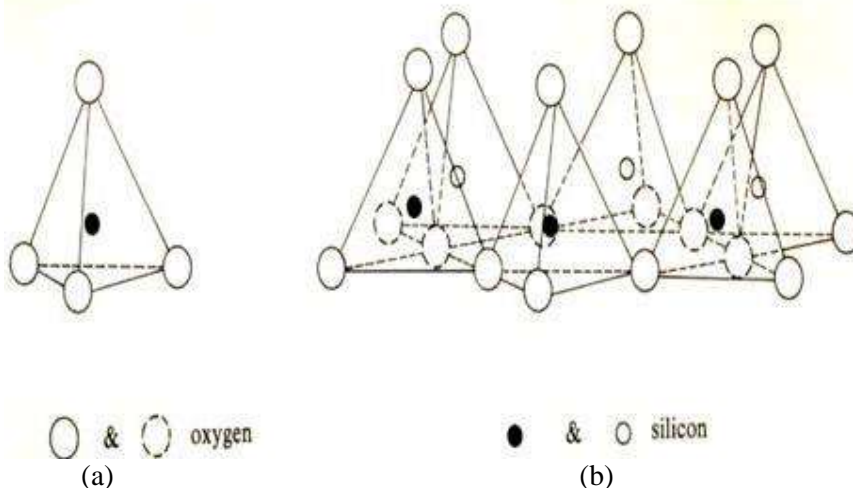
- b. Memahami pengaruh komposisi material komposit terhadap kemampuan mereduksi emisi gas buang NO_x pada motor diesel.
- c. Memahami pengaruh komposisi material komposit terhadap emisi gas buang berupa *Particulate Matter* (PM).

“Halaman sengaja dikosongkan”

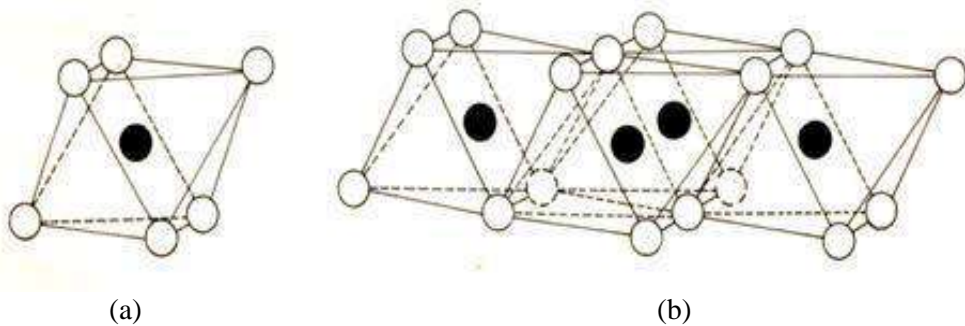
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Bentonit (Clay)

Bentonit atau lempung (*Clay*) merupakan campuran partikel-partikel pasir dan debu dengan bagian-bagian bentonit yang mempunyai sifat-sifat karakteristik yang berlainan dalam ukuran yang kira-kira sama. Salah satu ciri partikel-partikel bentonit yaitu mempunyai muatan ion positif yang dapat dipertukarkan. Material bentonit mempunyai daya serap yang baik terhadap perubahan kadar kelembapan karena bentonit mempunyai luas permukaan yang sangat besar (Mahida, 1984). Sedangkan (Bowles, 1991) mendefinisikan tanah lempung sebagai deposit yang mempunyai partikel berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari 50%. Sementara itu, (Terzaghi, 1987) menyatakan bahwa tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, dan tidak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah, bersifat plastis pada kadar air sedang. Lempung atau bentonit merupakan silika hidraaluminium kompleks dengan rumus molekul $Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot kH_2O$ di mana n dan k merupakan nilai numerik molekul yang terikat dan bervariasi untuk masa yang sama. Mineral lempung mempunyai daya tarik menarik individual yang mampu menyerap 100 kali volume partikelnya, ada atau tidaknya air (selama pengeringan) dapat menghasilkan perubahan volume dan kekuatan yang besar. Partikel-partikel lempung juga mempunyai tenaga tarik antar partikel yang sangat kuat yang untuk sebagian menyebabkan kekuatan yang sangat tinggi pada suatu bongkahan kering (batu lempung).



Gambar 2.1 (a) Tetrahedron (b) Silica Sheet
Sumber: Setyobudi, 2010 (www.ptbudie.com)



Gambar 2.2: (a) Octahedron (b) Alumina Sheet
 Sumber: Setyobudi, 2010 (www.ptbudie.com)

Bentonit terdiri dari butiran-butiran yang sangat kecil (<0.002 mm) dan menunjukkan sifat-sifat plastisitas dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lain, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan dapat diubah-ubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah (Wesley, 1977). Clay (bentonit) memiliki karakteristik berupa kemudahan dalam dibentuk, tahan terhadap temperatur tinggi, ketahanan yang baik terhadap asam, $\text{pH} < 3$ dan basa $\text{pH} > 12$, sehingga tidak mudah bereaksi dengan zat lain, serta kuat dan keras setelah dipanaskan. Sehingga bentonit sangat cocok dijadikan bahan baku untuk pembuatan keramik berpori. Di samping itu, ketersediaan bentonit sangat melimpah di alam sehingga mudah diperoleh dan bernilai ekonomis rendah.

Adapun jenis bentonit berdasarkan proses terbentuknya dibagi atas bentonit primer dan bentonit sekunder (Wahyu Gatot Budiyo, 2008). bentonit primer (residu) merupakan jenis bentonit yang dihasilkan dari pelapukan batuan feldspatik oleh tenaga endogen yang tidak berpindah dari batuan induk (batuan asalnya), karena bentonit tidak berpindah tempat sehingga sifatnya lebih murni dibandingkan dengan bentonit sekunder. Suhu matang berkisar antara 1300C - 1400C , bahkan bisa mencapai 1750C . Adapun yang termasuk bentonit primer adalah kaolin, bentonit, dan feldspatik. Bentonit primer memiliki ciri-ciri:

- Warna putih sampai putih kusam
- Cenderung berbutir kasar
- Tidak plastis
- Daya lebur tinggi
- Daya susut kecil
- Bersifat tahan api

Dalam kondisi kering, jenis bentonit primer sangat mudah ditumbuk sehingga menjadi seperti tepung. Hal ini disebabkan partikelnya yang terbentuk tidak simetris dan bersudut-sudut tidak seperti partikel bentonit sekunder yang berupa lempengan sejajar.

Sedangkan bentonit sekunder atau sedimen (endapan) merupakan jenis bentonit hasil pelapukan batuan yang berpindah dari batuan asalnya karena tenaga eksogen yang menyebabkan butiran-butiran bentonit lepas dan mengendap pada

lokasi lain yang memiliki ketinggian lebih rendah seperti dasar sungai. Adapun selama proses perpindahan butiran-butiran tanah tersebut mengalami interaksi dengan berbagai macam mineral organik dan anorganik sehingga dapat merubah karakteristik dari partikel-partikel bentonit. Karena dalam proses pembentukannya, bentonit sekunder memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- Kurang murni
- Memiliki butiran yang relative lebih halus
- Plastis
- Warna abu-abu, coklat, kemerahan, kehitaman
- Daya susut tinggi
- Suhu matang 1200C-1300C, bahkan ada yang mencapai 1400C (*fireclay, ballclay*)
- Suhu bakar rendah 900C-1180C, ada yang sampai 1200C (*earthenware*).

II.2 Katalis

(Amin, 2016) dalam penelitiannya “Karakterisasi Bahan Absorben Dan Katalis Dalam Pembuatan Material CMC”. Dalam penelitian tersebut, digunakan bahan baku berupa bentonit dan ditambahkan karbon aktif. Namun penggunaan keramik berpori sendiri tidak mampu mereduksi gas buang, oleh karenanya peneliti tersebut memadukan *clay* tersebut dengan *titanium dioksida* TiO₂ sebagai katalis dan karbon aktif sebagai absorben. Adapun penelitian “Pengujian Filter Gas Emisi Berbasis Keramik Porous dengan Aditif TiO₂ dan Karbon Aktif” oleh Muh Amin dan M. Subhri memberikan hasil reduksi gas buang CO sebesar 90, 267% yang diperoleh pada komposisi 50% *clay* + 20% TiO₂ + 30% karbon aktif

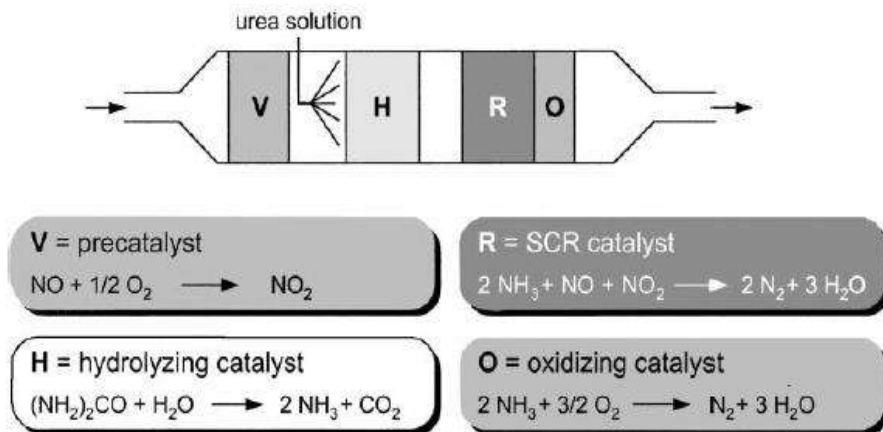
Sedangkan (Ravi, 2014) dalam penelitiannya yang berupaya mereduksi emisi gas buang NO_x pada motor diesel telah membandingkan penggunaan logam Cu sebagai campuran dalam katalis Cu-ZSM (Cu-Zeolit). Hal ini memiliki keuntungan dapat mereduksi NO_x dengan katalis ataupun tanpa penambahan katalis Cu-ZSM dalam sistem *Selective Catalytic Reduction* (SCR). Adapun kemampuan mereduksi emisi NO_x nya sebesar 7,8% (650ppm – 599ppm) pada pemakaian SCR saja dan reduksi NO_x sebesar 26,76% (650ppm-476ppm) pada pemakaian SCR dengan penambahan Cu-ZSM. Dari situ dapat diperoleh informasi bahwa penambahan Cu-ZSM dapat meningkatkan kemampuan reduksi emisi NO_x sebesar 123 ppm atau sebesar 20,5%.

Adapun paduan logam dan pengemban yang digunakan sebagai katalis memiliki keunggulan dan kekurangan masing-masing. Misalnya saja katalis paduan logam-pengemban Cu-ZSM (Cu-Zeolit). Katalis tersebut akan maksimal performanya dalam mereduksi NO_x pada temperatur yang rendah, namun rawan terkontaminasi sulfur sehingga sewaktu-waktu membutuhkan tindakan pembersihan katalis dengan temperatur tinggi (500C). Lain halnya dengan katalis paduan logam-pengemban Fe-Zeolit yang memiliki performa terbaik dalam mereduksi NO_x pada

temperatur yang tinggi. Katalis ini tidak rentan terkontaminasi sulfur, sehingga meminimalkan tindakan pembersihan dengan temperatur tinggi (Ingole, 2017).

II.3 Mekanisme reduksi NOx

Mekanisme reduksi emisi gas buang pada motor diesel yang menggunakan katalis tidak dapat beroperasi secara independen, melainkan menggunakan zat yang berperan sebagai pereduksi (reduktan) gas NOx. Reduktan yang dipakai pada dasarnya adalah amonia (NH3). Namun dalam perkembangannya penggunaan amonia secara langsung dianggap terlalu berbahaya, sehingga digantikan dengan urea (NH2)2CO. Adapun mekanisme reaksi kimia penggunaan urea sehingga dapat mereduksi NOx adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3: Mekanisme reduksi NOx

Tahap prekatalis yaitu proses oksidasi NOx oleh Oksigen (O2) sehingga terbentuk NO2. Kemudian tahap hidrolisis katalis yaitu tahap penguraian senyawa pada larutan urea dan menghasilkan amonia (NH3) dan karbondioksida (CO2). Kemudian pada tahap SCR katalis (tahap reduksi), NOx yang belum teroksidasi menjadi NO2 bersama-sama dengan NO2 dan amonia (NH3) bereaksi membentuk nitrogen (N2) dan uap air (H2O). Selanjutnya pada tahap oksidasi katalis, sejumlah amonia (NH3) yang tidak bereaksi pada tahap reduksi, mengalami oksidasi sehingga terbentuk senyawa nitrogen (N2) dan uap air (H2O). (Koebel, et al., 2000).

II.4 Injeksi Larutan Urea

Larutan urea merupakan salah satu elemen penting dalam upaya mereduksi emisi NOx. Larutan urea mengandung senyawa ammonia yang nantinya akan bereaksi dengan NOx untuk menghasilkan nitrogen (N2) dan air (H2O). Metode pemberian larutan urea dapat berupa injeksi campuran larutan urea dan udara bertekanan, sehingga injeksi urea berbentuk kabut. Di samping itu ada juga metode injeksi larutan urea berupa tetesan. (*droplet*). (Niki, et al., 2009) dalam penelitiannya berupaya menurunkan kadar NOx dengan injeksi larutan urea dan ammonia. Injeksi larutan urea dilakukan dalam beberapa titik penginjeksian. Hasilnya, injeksi larutan urea efektif menurunkan NOx pada rasio jarak injeksi urea

(L) dan diameter *catalytic converter* (D) maksimum $L/D = 12$. Disebutkan bahwa ketika perbandingan jarak injeksi urea dan diameter memiliki nilai yang lebih dari $L/D = 12$, maka tidak berpengaruh terhadap kemampuan reduksi NOx.

Sementara (Praveen & Natarajan, 2014) dalam eksperimen SCR pada motor diesel berbahan bakar campuran etanol dengan injeksi larutan urea menggunakan larutan urea dengan konsentrasi 32.5% dengan dosis 0.75 Liter per jam pada motor bakar diesel *direct injection* 4 langkah silinder tunggal. Adapun spesifikasi motor bakar yang digunakan dalam eksperimen adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Spesifikasi Motor Bakar

<i>Engine Specification</i>	
Type	Air Cooled, Four Stroke Kirloskar Engine
Bore, d (mm)	87.6
Stroke Length, l (mm)	110
Compression Ratio, r	17.5 : 1
Capacity, cc (cm ³)	661.5
Max. Power (kW)	4.4
Rated Speed (rpm)	1500
Fuel Injection	Direct Injection
Dynamometer Type	Electrical Dynamometer

Motor bakar yang digunakan dalam eksperimen tersebut merupakan motor diesel 4 langkah tipe 4 langkah berpendingin udara, kapasitas ruang bakar 661 cc dengan daya maksimum 4400 watt pada 1500 RPM, dan tipe injeksi bahan bakar langsung.

Adapun larutan urea yang akan digunakan dalam penelitian memiliki karakteristik sebagai berikut:

Tabel 2.2 Karakteristik Larutan Urea

Terms	Values
Chemical Formula	(NH ₂) ₂ CO.7H ₂ O
Molecular Weight (g/mol)	60.06
Concentration (%)	32.5
Density (15C) (kg/l)	1.085
Appearance	Clear Transparent
Smell	Odourless
Acidity (Ph)	9-11
Freezing Point (C)	-11
Self Ignition Temperature (C)	630

Larutan urea yang digunakan dalam eksperimen tersebut memiliki massa jenis 1.085 kg/l pada temperatur 15C, tingkat keasaman 9-11 (basa), titik beku -11C, terbakar seketika pada temperatur 630C, memiliki kadar 32.5%, secara visual tidak berwarna (jernih) dan tidak beraroma.

II.5 Regulasi sebagai Kontrol Emisi

IMO (International Maritime Organization) merupakan sebuah lembaga internasional yang berasal dari Persatuan Bangsa Bangsa (PBB), dibentuk dengan tujuan mengorganisasi permasalahan *maritime safety* secara global. *IMO* didirikan tahun 1958 di Genewa. Salah satu peraturan dari *IMO* yang mengatur tentang polusi

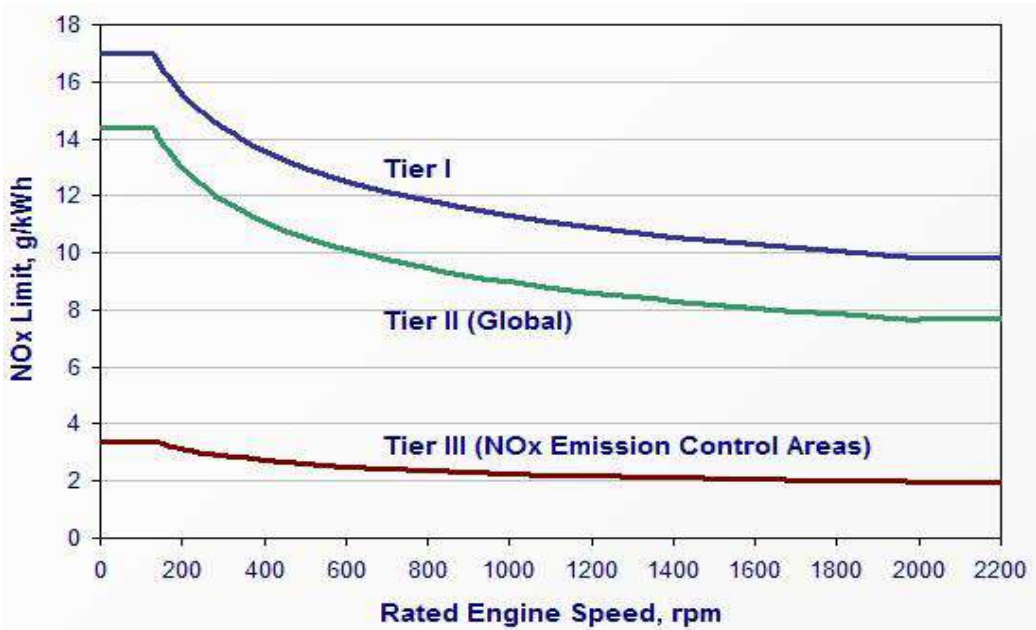
yang diakibatkan oleh kapal adalah *MARPOL*. Dalam regulasi *MARPOL* Annex VI, disebutkan batas kadar emisi beberapa jenis gas buang misalnya *NOx* dan emisi *Particulate Matter* (PM) yang diakibatkan oleh gas buang pada mesin kapal. Adapun regulasi *MARPOL* Annex VI yang dimaksud adalah sebagai berikut:

II.5.1 Regulasi Emisi NOx

Tabel 2.1 Ambang batas kadar emisi NOx yang diijinkan oleh IMO

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).



Gambar 2.4: Grafik standar ambang batas emisi NOx yang diijinkan IMO

Standar emisi yang diijinkan dalam IMO mengacu pada standar *Tier I*, *Tier II* dan *Tier III*. Adapun waktu penerapan regulasi di atas juga dilakukan secara bertahap mulai dari *Tier I* yang diterapkan pada tahun 2000. Untuk kadar emisi NOx maksimum yang diijinkan adalah 130 g/kWh apabila kecepatan putar motor bakar kurang dari 130 RPM. Untuk kecepatan putar motor bakar antara 130 sampai dengan kurang dari 2000 RPM, maka kadar emisi NOx maksimum yang diijinkan adalah $45 \cdot n^{(-0.2)}$. Sedangkan untuk kecepatan putar motor bakar lebih dari sama dengan 2000 RPM, maka kadar emisi NOx maksimum yang diijinkan adalah 9.8

g/kWh. Berdasarkan table dan grafik di atas, maka untuk saat ini yang dijadikan acuan adalah *Tier III* untuk yang termasuk dalam *Emission Control Area*, sedangkan untuk yang tidak termasuk kedalamnya, masih menggunakan *Tier II* sebagai acuannya.

II.5.2 Regulasi Emisi *Particulate Matter (PM)*

Tabel 2.2 Ambang batas kadar SOx dan PM yang diijinkan oleh IMO (IMO, 2018)

Outside an ECA established to limit SOx and Particulate Matter emission	Inside an ECA established to limit SOx and Particulate Matter emission
4.50% m/m prior to 1 January 2012	1.50% m/m prior to 1 July 2010
3.50% m/m on and after 1 January 2012	1.00% m/m on and after 1 July 2010
0.50% m/m on and after 1 January 2020	0.10% m/m on and after 1 January 2015

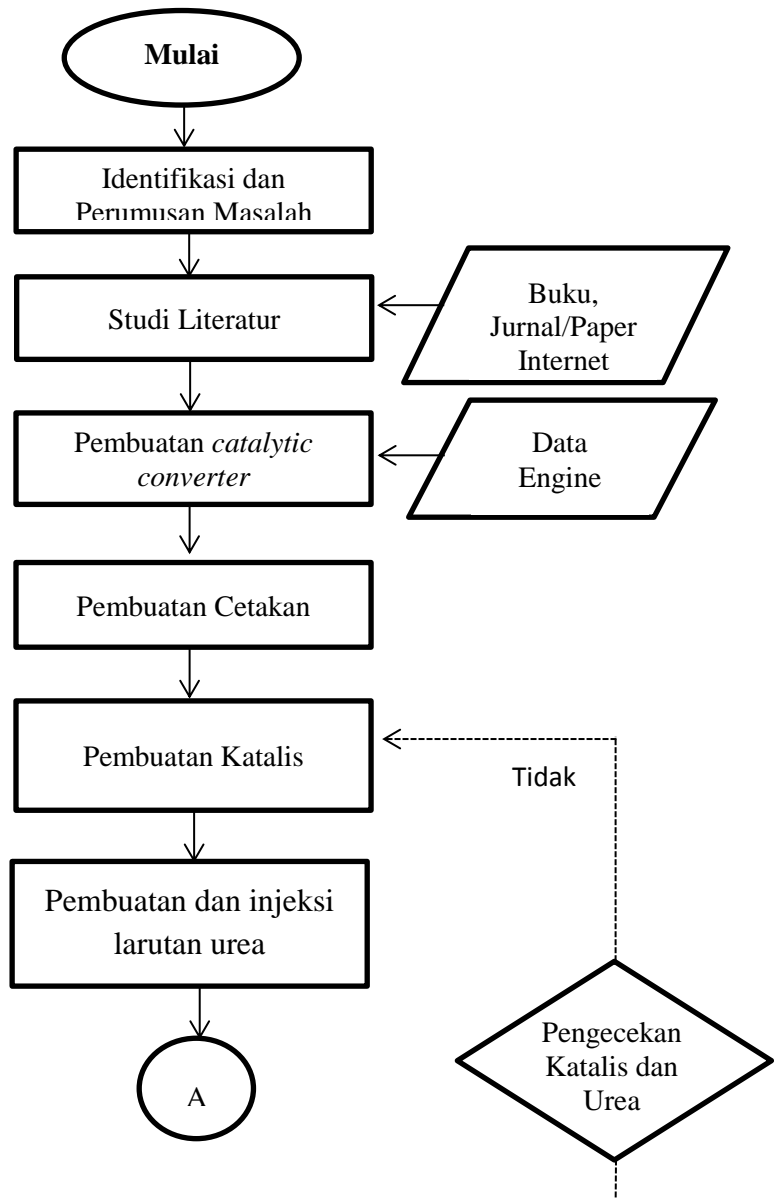
Adapun regulasi kadar emisi PM dan SOx yang diijinkan oleh IMO juga dilakukan secara bertahap seperti regulasi emisi NOx. Untuk penerapan regulasi juga dibagi atas wilayah di dalam ECA dan di luar wilayah ECA. Misalnya saja terhitung sejak tanggal 1 Januari 2012, maka kadar emisi maksimum berupa PM ataupun SOx yang diijinkan pada motor bakar adalah 4.5% m/m pada wilayah di luar ECA. Sedangkan untuk wilayah di dalam ECA diterapkan regulasi kadar PM dan SOx maksimum 1.50% m/m terhitung sejak 1 Juli 2010.

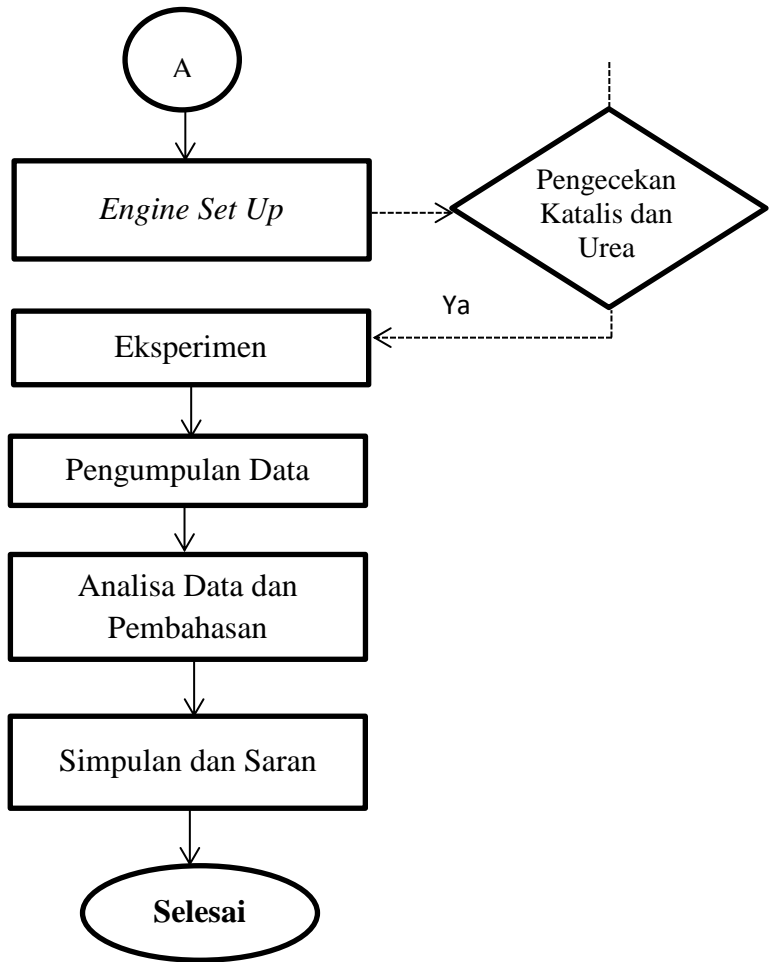
Oleh karena sejumlah hasil penelitian di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk membuat material komposit sebagai katalis berupa *clay* atau bentonit, tembaga (Cu), dan besi (Fe) untuk memperoleh sifat unggulan yang diharapkan, yaitu katalis berupa keramik berpori yang kokoh, tahan panas, dan mampu mempercepat reduksi emisi NOx secara optimal pada jangkauan temperatur kerja kurang dari 300 sampai dengan 600 derajat celcius. Sebagai agen pereduksi digunakan larutan urea dengan konsentrasi 32.5%.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metode yang akan digunakan dalam pengerjaan skripsi adalah berbasis eksperimen. Adapun bagian pokok dalam mengerjakan skripsi ini, yaitu pembuatan material komposit, kemudian dilakukan uji emisi gas buang untuk menganalisa pengaruh komposisi material komposit terhadap kemampuan mereduksi gas buang. Di bawah ini adalah tahapan pengerjaan skripsi yang dijelaskan dengan diagram alir:





Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini untuk mengetahui komposisi yang paling efektif dalam mereduksi emisi gas buang pada motor diesel menggunakan material komposit berupa *clay*/bentonit, tembaga (Cu), dan besi (Fe). Tujuan penambahan varian logam Cu dan Fe yaitu untuk memperluas rentang temperatur kerja pada material komposit agar dapat mengkonversi NO_x dengan lebih baik. Selain itu, untuk mengetahui bahwa material komposit di atas memiliki rentang kerja optimal yang lebih luas, maka dilakukan eksperimen yang serupa dengan material komposit berupa bentonit+tembaga dan bentonit+besi sebagai pembanding kemampuan terhadap reduksi gas buang.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur memiliki tujuan untuk mempelajari teori-teori yang menunjang permasalahan yang ada. Studi literatur diperoleh melalui berbagai sumber seperti jurnal, buku, dan internet. Dalam penelitian ini, studi literatur memuat karakteristik bentonit (*clay*) dalam bentuk serbuk apabila diberikan perlakuan pemanasan. Selain itu, studi literatur juga memuat kemampuan logam tembaga dan besi yang dimanfaatkan sebagai campuran katalis bersama dengan bentonit.

3.3 Pembuatan Catalytic Converter

Pada tahap pembuatan *catalytic converter* maka diperlukan informasi tentang motor bakar yang akan digunakan dalam eksperimen, agar saluran gas buang yang akan dibuat dapat dipasangkan pada motor bakar. Adapun informasi yang dimaksud diperoleh dari pengumpulan data berupa pengukuran langsung terhadap komponen motor bakar. Pertama, pengukuran dan penggambaran pola flens saluran gas buang. Kemudian mengukur jarak minimal pemasangan *elbow* pada saluran gas buang. Selain itu, dilakukan pengukuran ketinggian saluran gas buang yang akan dibuat. Informasi ini berguna untuk membuat dudukan *catalytic converter*.

Catalytic converter dibuat dengan menentukan ukuran diameter yang disesuaikan dengan diameter *muffler* pada motor bakar. Maka ditentukan diameter sebesar 9 cm. Selain itu, dibuat model *clamped converter* yang bertujuan agar dapat dibuka tutup dalam penggunaannya. Hal ini dilakukan karena pada saat eksperimen dilakukan pengujian lebih dari satu jenis katalis.



Gambar 3.2 Bentuk flens saluran gas buang



Gambar 3.3 Elbow, saluran gas buang, dan *catalytic converter*



Gambar 3.4 *Catalytic converter* dan dudukannya

3.4 Pembuatan Cetakan

Cetakan berfungsi sebagai wadah untuk menuang serbuk material yang telah dicampurkan agar katalis berbentuk sesuai dengan yang diharapkan. Dalam penelitian ini, ukuran dan bentuk cetakan dibuat proporsional dengan bentuk dan ukuran *catalytic converter*. Hal ini bertujuan agar katalis hasil pencetakan dapat dimasukkan ke dalam *catalytic converter*. Disamping itu, cetakan dibuat dengan sedemikian rupa agar terbentuk lubang-lubang kapiler pada pencetakan katalis.



Gambar 3.6 Cetakan katalis sebelum dirangkai



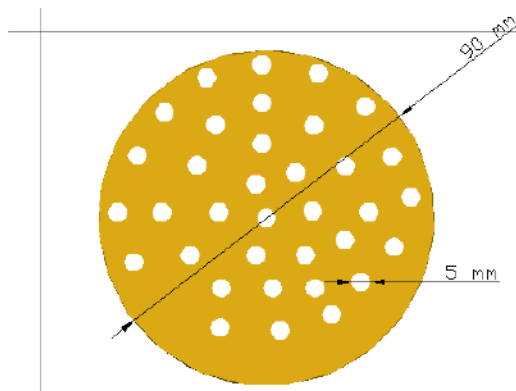
Gambar 3.7 Cetakan katalis setelah dirangkai

3.5 Pembuatan Katalis

Pembuatan katalis berupa material komposit diawali dengan pencampuran beberapa jenis material bertujuan agar seluruh material dapat bercampur secara merata sebelum akhirnya dicetak. Semakin merata campuran material, maka campuran akan semakin homogen. Adapun material komposit yang dibuat sejumlah 3 buah. Masing-masing menggunakan bentonit sebagai substrat atau pengemban dan *filler* berupa tembaga saja, besi saja, dan campuran besi dan tembaga.

Setelah proses pencetakan katalis, selanjutnya adalah proses pemanasan. Hal ini bertujuan untuk membuat material komposit bersifat keras dan kokoh. Pemanasan material komposit diawali dengan menjemur dibawah terik matahari di ruang terbuka. Hal ini bertujuan sebagai pemanasan awal. Kemudian dilakukan pemanasan tahap lanjut dengan menggunakan oven. Setelah itu dibiarkan mengalami pendinginan dalam suhu ruang.

Adapun tiga jenis katalis yang dibuat yaitu katalis dengan komposisi bentonit+besi, bentonit+tembaga, dan bentonit+besi+tembaga. Masing-masing jenis katalis ditentukan dimensinya dengan diameter 9 cm, panjang 4 cm dan berbentuk silinder dengan lubang-lubang kapiler sejumlah 30 lubang berdiameter 0.5 cm. Adapun diperoleh volume katalis yang akan digunakan sebesar 160 cm³.



Gambar 3.8 Penampang katalis

Selanjutnya adalah mengukur kebutuhan material yang akan digunakan sebagai komposisi penyusun katalis. Kebutuhan material yang berbentuk serbuk dapat diketahui dengan terlebih dahulu mengetahui massa jenis material. Kemudian massa jenis material dikalikan dengan volume material yang dibutuhkan. Sehingga diperoleh sejumlah massa material tersebut. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kebutuhan material serbuk bentonit, serbuk besi, dan serbuk tembaga.

Setelah itu, ditentukan komposisi material penyusun katalis. Prinsip dalam menentukan komposisi material komposit logam dan bentonit adalah semakin banyak unsur logam, maka sifat katalisator semakin terlihat. Namun konsekuensinya adalah komposisi bentonit menjadi lebih sedikit. Akibatnya fungsi bentonit sebagai substrat atau pengemban menjadi tidak mampu mengikat material logam dengan baik, sehingga resikonya adalah katalis lebih rapuh dan mudah pecah. Untuk mengetahui komposisi material komposit yang tepat, maka dilakukan

sejumlah percobaan pembuatan katalis menggunakan material serbuk bentonit + serbuk besi. Sehingga diperoleh komposisi acuan berupa bentonit 70% + logam 30% dari 160 cm³ volume katalis.

3.5.1 Katalis Bentonit dan Besi

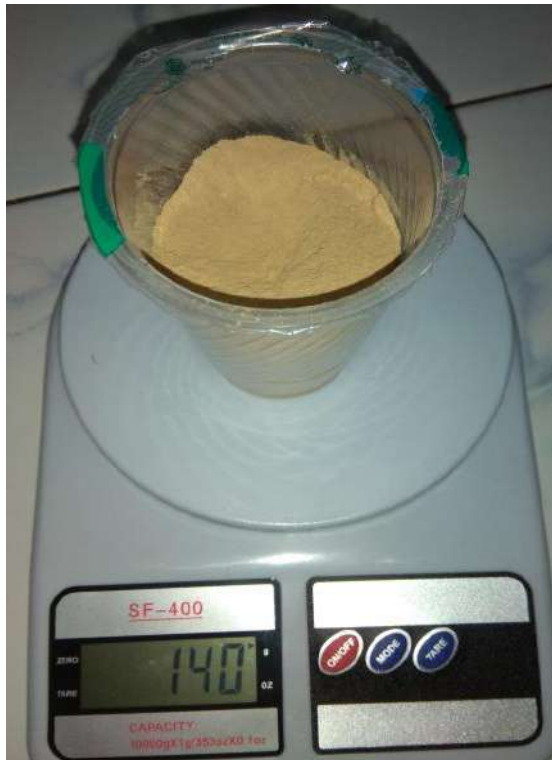
Dimensi katalis telah ditentukan dengan diameter 9 cm, panjang 4 cm, berbentuk silinder dengan lubang-lubang kapiler berjumlah 30 lubang dan diameter kapiler 0.5 cm. Sehingga diperoleh volume katalis sebesar 160 cm³. Selanjutnya adalah mengukur kebutuhan material berupa serbuk besi dan serbuk bentonit. Diketahui massa jenis besi 7.87 gram/cm³ dan massa jenis bentonit 0.59 gram/cm³ (Anon., 2018). Kemudian dilakukan pengecekan dengan perhitungan massa jenis besi dan bentonit untuk mengetahui massa jenis material tersebut secara empiris.

Pertama-tama dilakukan pengukuran massa terhadap 100 ml serbuk besi. Diperoleh massa serbuk besi sebesar 309 gram. Sehingga dapat diketahui massa jenis serbuk besi sebesar 3.09 gr/cm³ atau 3090 kg/m³. Hal yang sama juga dilakukan untuk mengetahui massa jenis serbuk bentonit (bentonit). Dalam pengukuran 100 ml serbuk bentonit, diperoleh massa sebesar 125 gram. Sehingga diketahui massa jenis serbuk bentonit sebesar 1250 kg /m³.

Setelah diperoleh massa jenis, selanjutnya menghitung kebutuhan material untuk membuat satu jenis katalis. Pada katalis bentonit+besi, komposisi 70% bentonit+30% besi membutuhkan serbuk bentonit sebanyak 140 gram dan serbuk besi 148 gram. Selanjutnya dilakukan proses pencampuran serbuk dan ditambahkan air, lalu dicetak. Kemudian katalis dikeluarkan dari cetakan dijemur di ruang terbuka dan terpapar sinar matahari. Pemanasan tahap awal katalis bertujuan agar kandungan air di dalam katalis menguap dan tidak terjadi perubahan suhu yang ekstrim. Setelah katalis kering, selanjutnya dimasukkan ke dalam oven dan dipanaskan pada suhu 200C selama 2 jam dan 250C selama 2 jam. Selanjutnya katalis dikeluarkan dari dalam oven dan dibiarkan dingin dalam suhu ruang.



Gambar 3.9 Pengukuran massa 100 ml serbuk besi



Gambar 3.10 Pengukuran massa 100 ml serbuk bentonit



Gambar 3.11 Campuran serbuk bentonit dan besi



Gambar 3.12 Hasil pencetakan katalis



Gambar 3.13 Pemanasan katalis dengan oven

3.6 Pembuatan dan Injeksi Larutan Urea

Larutan urea yang akan digunakan sebagai agen pereduksi ditetapkan terlebih dahulu kadar atau konsentrasi larutan. Adapun larutan urea yang akan digunakan yaitu konsentrasi 32.5%. Sedangkan metode penginjeksian akan dikaukan dengan tetesan atau *droplet*. Untuk menetapkan dosis injeksi larutan urea, terlebih dahulu mencari rasio antara *flow rate* campuran udara dan bahan bakar dalam satu satuan waktu dibandingkan dengan jumlah larutan urea yang diinjeksikan pada motor bakar dalam satuan waktu yang sama. Sebagai contoh digunakan data eksperimen dengan tipe motor bakar yang hampir sama yaitu pada eksperimen (Praveen & Natarajan, 2014) diketahui kapasitas ruang bakar 661.5 cc

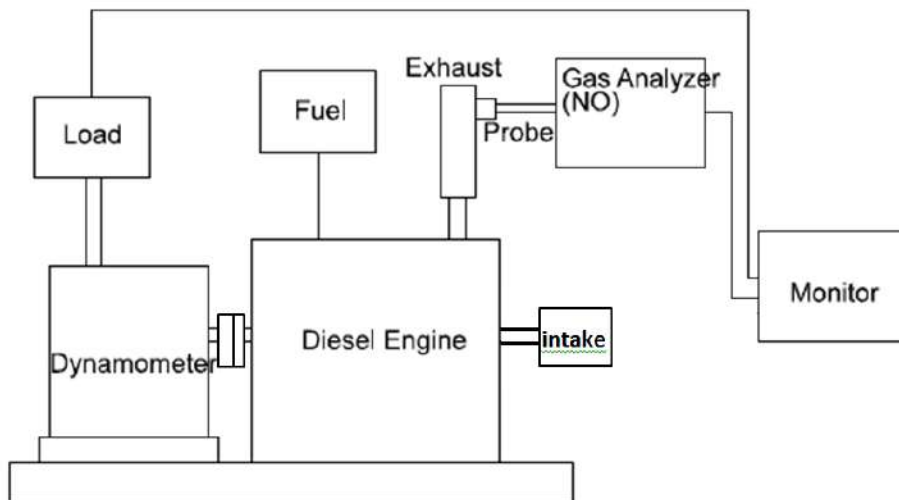
dengan putaran 1500 rpm maka diperoleh flow rate campuran udara dan bahan bakar sebesar 496,125 cc tiap menit. Sedangkan jumlah larutan urea yang diinjeksikan selama satu jam adalah 0.75 liter atau senilai 12.5 cc tiap menit. Sehingga diperoleh rasio injeksi urea terhadap *flow rate* campuran bahan bakar dan udara sebesar 1:39,690.

Sementara itu dalam eksperimen yang akan dilakukan oleh penulis, motor bakar yang akan digunakan memiliki tipe yang sama, hanya kapasitas ruang bakarnya yang berbeda, yaitu sebesar 493 cc. Untuk mengetahui dosis urea yang akan digunakan maka dilakukan perhitungan volume ruang bakar dikalikan dengan rasio injeksi larutan urea terhadap *flow rate* campuran bahan bakar dan udara (1:39,690). Adapun *flow rate* campuran udara dan bahan bakar pada motor diesel yang akan digunakan dalam eksperimen adalah 542,300 cc tiap menit. Sehingga diperoleh jumlah larutan urea yang harus diinjeksikan dalam tiap menit yaitu sebesar 13.663 cc, atau senilai dengan 0.819 liter tiap jam.

Untuk memenuhi kebutuhan larutan urea dengan konsentrasi 32.5% sebanyak 0.819 liter, maka dalam eksperimen ini dipersiapkan larutan urea sebanyak 1 liter. Larutan urea konsentrasi 32.5% dibuat dengan melarutkan 325 gram serbuk urea ke dalam 1000 gram air tawar. Untuk mengakomodir sistem penginjeksian larutan urea, digunakan wadah dan selang infus dengan kapasitas injeksi 20 tetes atau *droplet* setara dengan 1 mililiter. Sehingga perlu dilakukan konversi kebutuhan injeksi dan kalibrasi selang infus. Diketahui kebutuhan injeksi larutan urea sebesar 13.663 cc atau setara dengan 13.663 mililiter, dikali dengan 20 tetes tiap 1 mililiter, sehingga diperoleh nilai injeksi sebanyak 273 tetes larutan urea dalam tiap menit. Selanjutnya, tabung infus yang digunakan sebagai wadah digantung setinggi 1 meter di atas titik penginjeksian dan diuji dengan menyalakan motor bakar pada kondisi 100% RPM dan beban yang bervariasi untuk memastikan tekanan pada larutan urea cukup untuk mengalirkan larutan ke dalam saluran gas buang.

3.7 Engine Set Up

Pada tahap *engine set up*, dilakukan pengaturan mesin mulai dari mempersiapkan mesin diesel yang akan digunakan pada eksperimen (Yanmar tipe TF 85 MH-di), memasang *alternator* dan beban berupa lampu, katalis, injeksi urea dan *gas analyzer*. Pada *engine set up* dilakukan pengecekan awal (*running test*) untuk memastikan diesel berada pada kondisi baik. Adapun *set up engine* agar lebih mudah dipahami dapat dilihat melalui skema di bawah ini.



Gambar 3.14 Engine set up

Motor diesel menggunakan disuplai dengan bahan bakar dexlite yang diisi melalui gelas ukur. Bahan bakar didistribusikan ke dalam motor bakar menggunakan selang bahan bakar dan melalui penyaring sebelum masuk ke dalam motor bakar. Udara untuk campuran bahan bakar disuplai secara *naturally aspirated* melalui penyaring udara sebelum masuk ke dalam motor bakar. Selama motor bakar beroperasi, energi mekanik motor bakar didistribusikan ke dynamometer untuk menghasilkan energi listrik. Selanjutnya energi listrik disalurkan ke beban atau *load cell* yang dilengkapi dengan *multimeter* untuk memantau tegangan dan arus listrik. Pipa gas buang telah dimodifikasi dan dilengkapi dengan *catalytic converter* yang dipasang menggantikan posisi *muffler* / knalpot motor bakar. Pada titik pipa gas buang sebelum melewati *catalytic converter*, dipasang injektor cairan urea. Sedangkan katalis diletakkan di dalam *catalytic converter*.

Untuk mendeteksi kadar emisi gas buang, pada ujung saluran gas buang tepatnya diujung *catalytic converter* dipasangkan *exhaust gas probe* untuk mengambil sampel kadar emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor bakar. *Exhaust gas probe* tersambung dengan *gas analyzer* untuk mendeteksi kadar gas buang motor bakar. Adapun instrumen yang digunakan adalah *gas analyzer* Stargas 898 dan ECOM, sedangkan kadar emisi yang diuji adalah NO_x dan debu partikel.



Gambar 3.17 Multimeter digital



Gambar 3.18 Gas Analyzer

3.8 Eksperimen

Eksperimen berupa uji emisi dilaksanakan ketika *engine set up* telah dipersiapkan dengan memastikan seluruh komponen eksperimen terpasang sesuai dengan *Engine Set Up*. Eksperimen diawali dengan menyalakan motor bakar yang telah dihubungkan dengan alternator. Dalam hal ini motor bakar dioperasikan

dengan bahan bakar Dexlite. Kemudian kecepatan putar motor bakar diatur pada 100% RPM atau 2200 RPM. Selanjutnya pengujian emisi dilakukan pada berbagai variasi beban dengan cara mengatur jumlah lampu yang dinyalakan. Deteksi kandungan gas buang (NOx) diambil menggunakan *gas analyzer* dengan cara memasukkan *exhaust gas probe* pada ujung saluran gas buang. Kemudian eksperimen ini dilakukan kembali dengan mengganti jenis material komposit penyusun katalis dan menambahkan injeksi urea pada saluran gas buang.

3.9 Pengumpulan Data

Pengumpulan data emisi dilakukan untuk mengetahui kemampuan material komposit dalam mereduksi emisi gas buang motor diesel. Oleh karenanya, diperlukan data sebagai acuan yaitu data emisi gas buang motor diesel sebelum dipasang katalis dan injeksi urea. Adapun untuk uji emisi kecepatan engine dan beban diatur sebagai berikut:

Tabel 3.1 MARPOL Annex VI *test cycle*

Test Cycle Type E2	Speed	100%	100%	100%	100%
	Power	100%	75%	50%	25%
	Weight Factor	0.2	0.5	0.15	0.15

*) Keterangan:

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

Variabel tetap:

-jenis bahan bakar Dexlite

Variabel berubah:

-Beban (25%, 50%, 75%, dan 100%)

-Komposisi material komposit penyusun katalis

Pengumpulan data dilakukan dengan mencatat kandungan gas NOx yang terbaca pada *gas analyzer*. Hal ini dilakukan pada setiap titik sampel pengujian. Adapun satu titik sampel dihitung pada setiap variasi *load* atau beban pada putaran motor bakar 100% RPM dan satu jenis katalis yang digunakan. Sehingga dalam pengujian emisi NOx terdapat 16 titik sampel yang terdiri dari variasi katalis bentonit+besi, bentonit+tembaga, bentonit+besi+tembaga, dan tanpa menggunakan katalis yang mana setiap variasi tersebut diambil 4 beban yang berbeda.

3.10 Analisa Data dan Pembahasan

Pada penelitian ini, analisa data dilakukan pada perubahan kadar emisi gas buang. Perubahan kadar emisi ini diukur menggunakan data acuan yaitu pada kondisi instalasi atau *engine set up* tanpa menyertakan katalis. Kemudian data yang dibandingkan adalah data emisi motor diesel yang sudah menyertakan katalis dengan 3 variasi komposisi material yang berbeda.

3.11 Simpulan dan Saran

Setelah seluruh tahapan penelitian telah dilakukan, selanjutnya adalah menarik kesimpulan berdasarkan analisa data yang diperoleh melalui eksperimen. Diharapkan kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang dipaparkan pada tujuan penelitian pada bab satu. Selain itu, untuk perbaikan penelitian ini maka diperlukan saran berdasarkan penelitian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

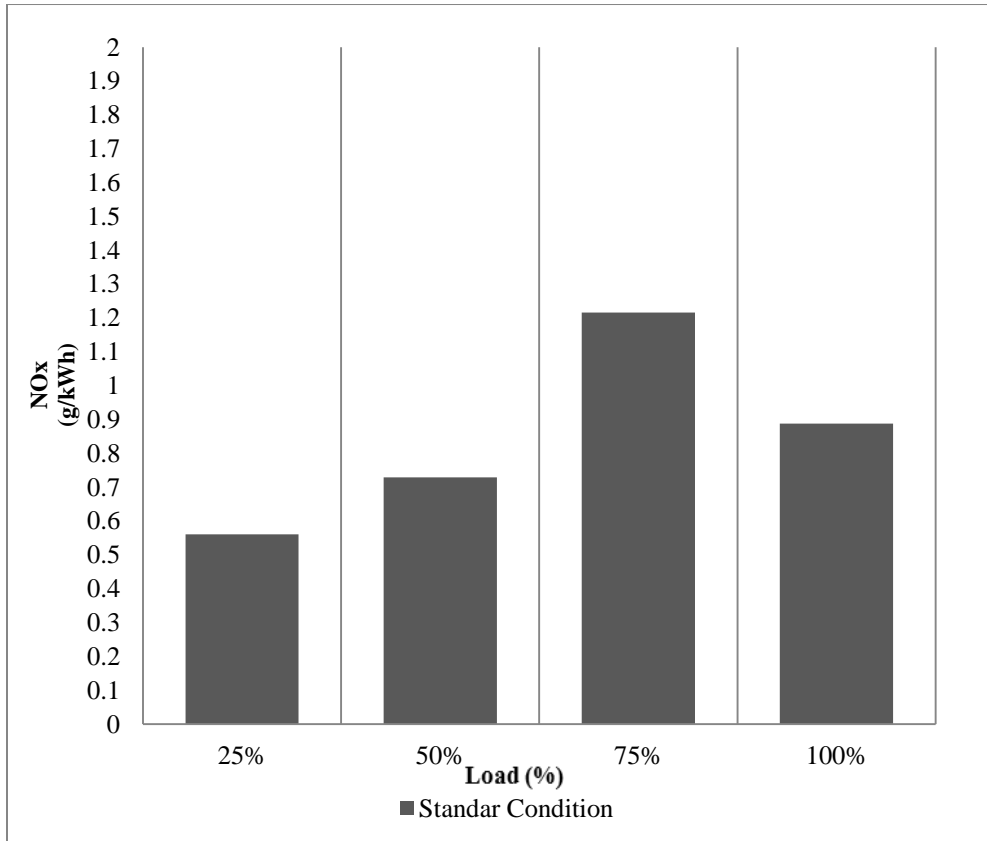
4.1 Analisa Emisi NOx Motor Bakar Tanpa Menggunakan *Catalytic Converter*

Analisa data dari hasil uji emisi berupa kadar emisi gas buang motor bakar. Adapun emisi gas buang yang dihasilkan motor bakar berbagai macam dengan kadar yang berbeda-beda, namun yang menjadi perhatian dalam penelitian ini adalah kadar emisi gas NO dan NO₂ atau (NO_x). Emisi gas NO_x terbentuk sebagai hasil proses pembakaran. Adanya senyawa gas Oksigen dan Nitrogen bebas yang bertemu pada temperatur ruang bakar yang sangat tinggi. IMO sebagai organisasi internasional yang menaungi bidang maritim, mengeluarkan peraturan (MARPOL Annex VI) standar ambang batas emisi NO_x yang diijinkan untuk dikeluarkan oleh gas buang pada motor bakar.

Adapun data emisi diperoleh melalui proses eksperimen menggunakan *gas analyzer* yang dipasang pada motor diesel yang dimodifikasi dengan pemasangan *catalytic converter*. Untuk menganalisa data emisi motor bakar yang menggunakan *catalytic converter*, maka diperlukan terlebih dahulu data emisi motor bakar pada kondisi motor bakar yang belum dimodifikasi atau standar. Data tersebut nantinya akan digunakan sebagai pembandingan sehingga dapat diketahui nilai perubahan kadar emisi motor bakar.

Tabel 4.1 Hasil uji emisi NOx pada berbagai jenis katalis

Variabel	RPM	load	FCR	Power	NO	NO ₂	NO _x	massa udara	massa bahan bakar	massa campuran	volume gas buang	massa jenis NO _x	NO _x
			gr/h	kWh	ppm	ppm	ppm	gram	gram	gram	cm ³	gr/cm ³	g/kWh
catalyst Fe	2200	25%	557.8105	1.1179	149	1	150	0.592	0.008	0.600	32538000	0.0034	14.84363615
		50%	883.2000	2.3886	149	1	150	0.592	0.013	0.605	32538000	0.0034	6.947426557
		75%	1222.8923	3.6761	114	4	118	0.592	0.019	0.610	32538000	0.0034	3.551108952
		100%	1766.4000	4.2444	4	1	5	0.592	0.027	0.618	32538000	0.0034	0.1303232
Catalyst Cu+Fe	2200	25%	557.8105	1.1179	24	0	24	0.592	0.008	0.600	32538000	0.0034	2.374981785
		50%	836.7158	2.3886	10	1	11	0.592	0.013	0.604	32538000	0.0034	0.509477948
		75%	1222.8923	3.6761	2	0	2	0.592	0.019	0.610	32538000	0.0034	0.060188287
		100%	1870.3059	4.2444	0	0	0	0.592	0.028	0.620	32538000	0.0034	0
Catalyst Cu	2200	25%	548.1931	1.1094	145	37	182	0.592	0.008	0.600	32538000	0.0034	18.14825807
		50%	883.2000	2.3757	194	3	197	0.592	0.013	0.605	32538000	0.0034	9.173834357
		75%	1222.8923	3.6496	177	3	180	0.592	0.019	0.610	32538000	0.0034	5.456294989
		100%	1870.3059	4.2440	146	1	147	0.592	0.028	0.620	32538000	0.0034	3.831850794
Standar Condition	2200	25%	548.1931	1.1295	195	12	207	0.592	0.008	0.600	32538000	0.0034	20.27411198
		50%	836.7158	2.3770	275	10	285	0.592	0.013	0.604	32538000	0.0034	13.26446335
		75%	1222.8923	3.6438	367	6	373	0.592	0.019	0.610	32538000	0.0034	11.32461693
		100%	1673.4316	4.2844	364	4	368	0.592	0.025	0.617	32538000	0.0034	9.502340542



Gambar 4.1 Grafik kadar emisi NOx pada kondisi tanpa katalis

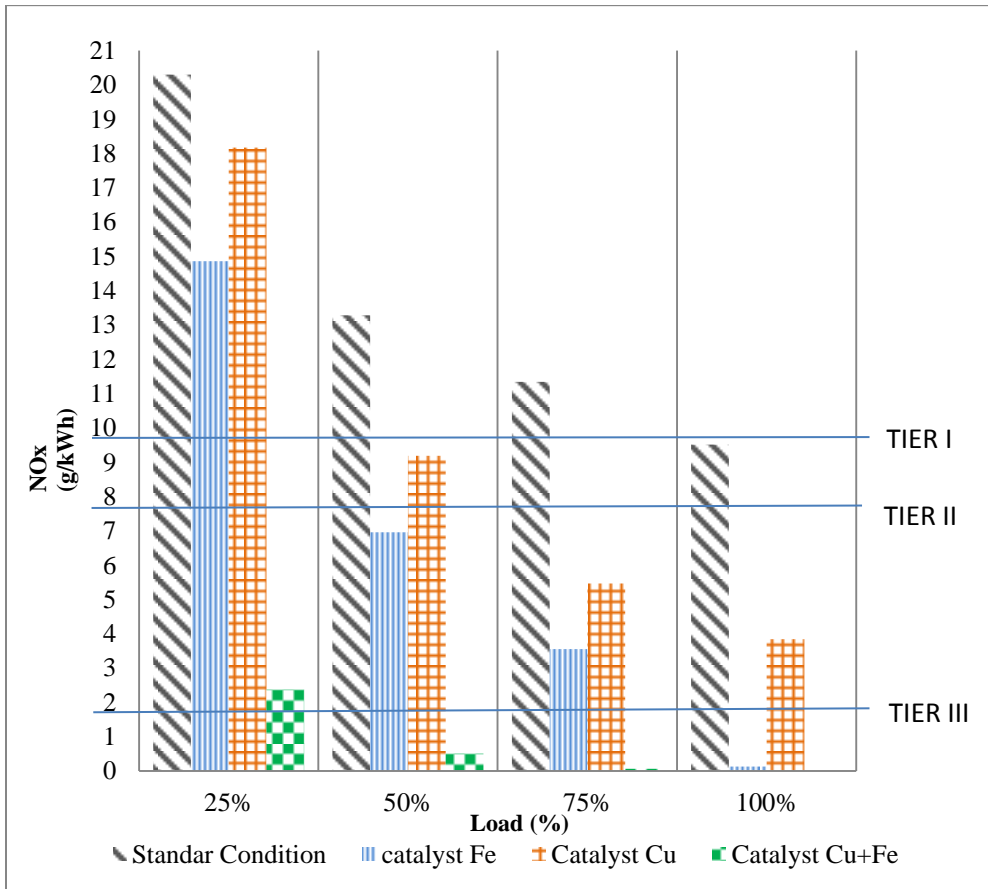
Grafik di atas menampilkan kadar emisi NOx pada gas buang motor bakar tanpa menggunakan katalis. Motor bakar dioperasikan pada kecepatan putar 100% RPM atau 2200 RPM dengan kondisi beban atau *load* yang bervariasi, mulai dari 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pada beban 25% kadar emisi gas NOx yang terdeteksi pada *gas analyzer* sebesar 207 ppm yang terdiri dari 195 ppm gas NO dan 12 ppm gas NO₂. Kadar NOx tersebut setara dengan 20.274 g/kWh.

Terjadi peningkatan kadar emisi gas buang NOx pada saat motor bakar dioperasikan dengan kecepatan putar 100% RPM dengan *load* atau beban 50% dan 75%. Pada beban 50%, kadar emisi NOx 285 ppm atau setara 13.264 g/kWh. Sedangkan pada beban 75% kadar emisi NOx sebesar 373 ppm atau setara dengan 11.324 g/kWh. Sedangkan pada kondisi beban 100% kadar emisi NOx menjadi 364 ppm atau setara 9.502 g/kWh atau dengan kata lain kadar emisi NOx mengalami penurunan sebesar 5 ppm.

4.2 Analisa Emisi NOx Motor Bakar Menggunakan *Catalytic Converter*

Penggunaan *catalytic converter* dan penginjeksian larutan urea diharapkan mampu mereduksi kadar emisi gas NOx yang dihasilkan oleh motor bakar. Sebab penambahan katalis berguna untuk membantu mempercepat reaksi kimia yang terjadi antara injeksi larutan urea dengan gas NOx. Adapun perbandingan kadar

emisi NOx antara motor bakar pada kondisi standar dengan penambahan katalis dan injeksi urea dipaparkan dalam grafik di bawah ini.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan NOx kondisi standar dengan katalis

Pemakaian katalis dan injeksi larutan urea mampu menurunkan kadar emisi gas NOx. Pada seluruh variasi *load* atau beban, pemakaian katalis dan injeksi urea mampu menurunkan kadar emisi gas NOx. Misalnya pada beban 25%, penggunaan katalis bentonit+besi mampu menurunkan emisi gas NOx dari 207 ppm menjadi 150 ppm. Artinya terjadi penurunan emisi NOx sebesar 57 ppm atau 27.54%. Kemudian pada beban 50%, penggunaan katalis bentonit+besi mampu menurunkan kadar emisi gas NOx sebesar 135 ppm atau setara 47.37%. Pada beban 75%, penggunaan katalis bentonit+besi mampu menurunkan kadar emisi gas buang sebanyak 255 ppm atau setara dengan 68%. Sedangkan pada kondisi motor bakar diberi beban 100%, penggunaan katalis bentonit+besi memberikan penurunan kadar emisi NOx yang signifikan yaitu sebesar 363 ppm atau setara dengan 97.32%.

Penggunaan katalis dan penginjeksian larutan urea mampu menurunkan kadar emisi gas NOx. Pada seluruh variasi *load* atau beban, pemakaian katalis dan injeksi urea mampu menurunkan kadar emisi gas NOx. Misalnya pada beban 25%,

penggunaan katalis bentonit+tembaga mampu menurunkan emisi gas NO_x dari 207 ppm menjadi 182 ppm. Artinya terjadi penurunan emisi NO_x sebesar 25 ppm atau 12.08%. Kemudian pada beban 50%, penggunaan katalis bentonit+tembaga mampu menurunkan kadar emisi gas NO_x sebesar 88 ppm atau setara dengan 30.88%. Pada beban 75%, penggunaan katalis bentonit+tembaga mampu menurunkan kadar emisi gas buang sebanyak 193 ppm atau setara dengan 67.72%. Sedangkan pada kondisi motor bakar diberi beban 100%, penggunaan katalis bentonit+tembaga memberikan penurunan kadar emisi NO_x sebesar 221 ppm atau setara dengan 60.05%.

Penambahan katalis bentonit+besi+tembaga serta penginjeksian larutan urea mampu menurunkan kadar emisi gas NO_x. Pada seluruh variasi *load* atau beban, pemakaian katalis dan injeksi urea mampu menurunkan kadar emisi gas NO_x. Misalnya pada beban 25%, penggunaan katalis bentonit+tembaga mampu menurunkan emisi gas NO_x dari 207 ppm menjadi 24 ppm. Artinya terjadi penurunan emisi NO_x sebesar 183 ppm atau setara dengan 88.41%. Kemudian pada beban 50%, penggunaan katalis bentonit+besi+tembaga mampu menurunkan kadar emisi gas NO_x sebesar 274 ppm atau setara dengan 96.14%. Pada beban 75%, penggunaan katalis bentonit+besi+tembaga mampu menurunkan kadar emisi gas buang NO_x sebanyak 371 ppm atau setara dengan 99.46%. Sedangkan pada kondisi motor bakar diberi beban 100%, penggunaan katalis bentonit+besi+tembaga memberikan penurunan kadar emisi NO_x sebesar 368 ppm atau setara dengan 99.9%.

4.3 Analisa Emisi NOx Motor Bakar Secara Umum

Tabel 4.2 Perbandingan kadar emisi NOx hasil eksperimen dengan regulasi

Variabel	RPM	load	Emisi Nox (g/kWh)	
			hasil	regulasi
Katalis Fe	2200	25%	gram	TIER 1 \leq 9.8
		50%	14.84364	
		75%	6.947427	
		100%	3.551109	
Katalis Cu+Fe	2200	25%	0.130323	TIER 2 \leq 7.7
		50%	2.374982	
		75%	0.509478	
		100%	0.060188	
Katalis Cu	2200	25%	0	TIER 3 \leq 1.96
		50%	18.14826	
		75%	9.173834	
		100%	5.456295	
Standar Condition	2200	25%	3.831851	TIER 3 \leq 1.96
		50%	20.27411	
		75%	13.26446	
		100%	11.32462	

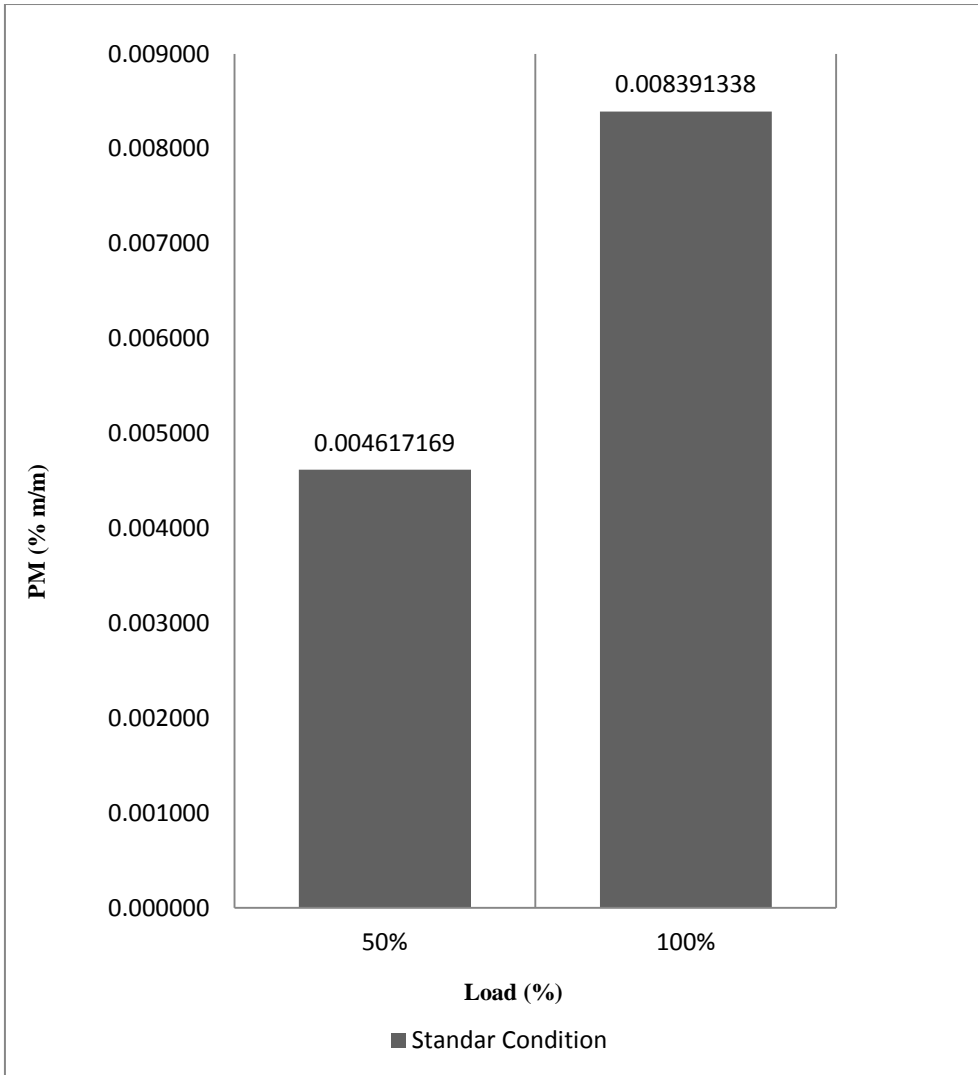
Berdasarkan analisa data dan grafik di atas, hasil pengujian kadar emisi gas buang berupa NOx menunjukkan bahwa kadar NOx yang dihasilkan masih berada di dalam abang batas kadar NOx yang diijinkan di dalam regulasi MARPOL ANNEX VI. Artinya pemberian katalis dan injeksi larutan urea sebagai bentuk *exhaust gas aftertreatment* pada motor bakar terbukti mampu menurunkan kadar emisi gas buang NOx. Pada semua kondisi atau variasi beban, pemberian katalis dan injeksi urea memberikan penurunan kadar emisi NOx. Apabila ditinjau dari grafik perbandingan kadar emisi NOx di atas, pada setiap beban mengalami tren penurunan kadar emisi.

4.4 Analisa Emisi *Particulate Matter* (PM) Motor Bakar Tanpa *Catalytic Converter*

Adapun emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor bakar diesel bermacam-macam. Selain kadar emisi NOx yang menjadi perhatian dalam penelitian ini, kadar emisi partikel (PM) juga dianalisa. Adapun pengambilan data emisi PM dilakukan secara bersama-sama dengan pengambilan data emisi NOx. Adapun proses pengambilan sampel kadar emisi PM menggunakan instrumen *gas analyzer* ECOM. Berikut ini adalah hasil pengambilan sampel kadar emisi NOx.

Tabel 4.3 Hasil uji emisi PM pada berbagai jenis katalis

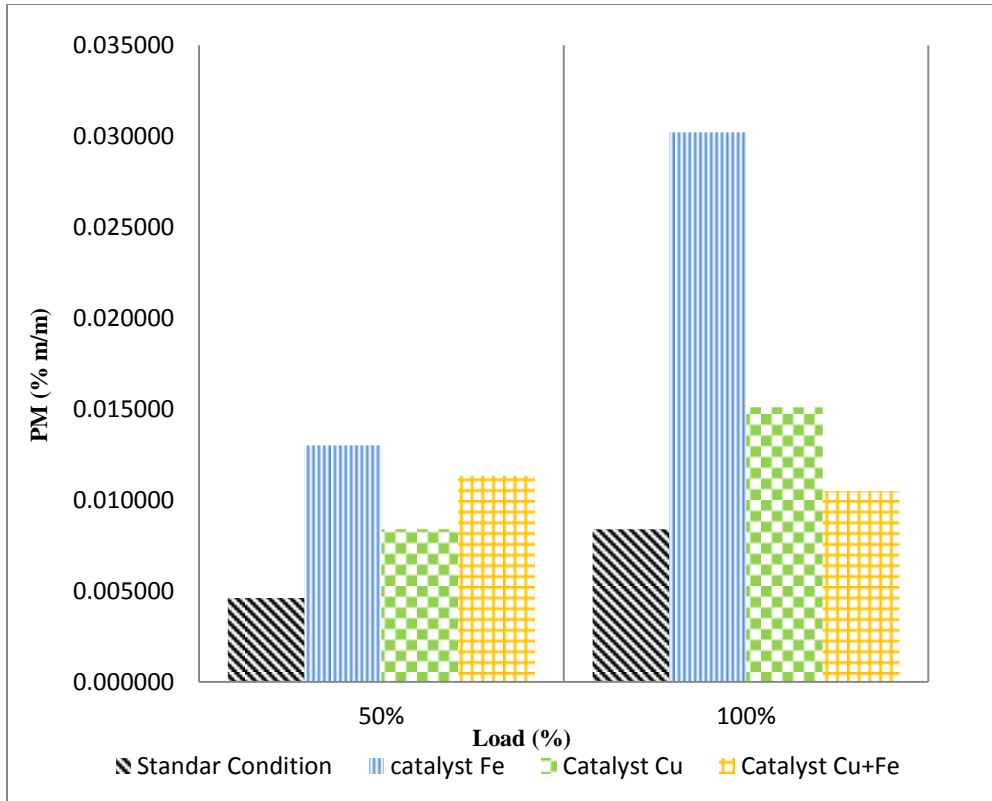
Variable	Speed	Load	PM	Volume Gas Buang	Massa PM	massa jenis gas buang	massa gas buang	PM	PM
	RPM	%	mg/m ³	m ³	mg	kg/m ³	kg	m/m	% m/m
catalyst Fe	2200	50%	168.2	32.538	5472.892	1.293	42.072	0.000130	0.013008507
	2200	100%	390.7	32.538	12712.597	1.293	42.072	0.000302	0.030216551
Catalyst Cu+Fe	2200	50%	146.5	32.538	4766.817	1.293	42.072	0.000113	0.011330240
	2200	100%	135.6	32.538	4412.153	1.293	42.072	0.000105	0.010487239
Catalyst Cu	2200	50%	108.5	32.538	3530.373	1.293	42.072	0.000084	0.008391338
	2200	100%	195.3	32.538	6354.671	1.293	42.072	0.000151	0.015104408
Standar Condition	2200	50%	59.7	32.538	1942.519	1.293	42.072	0.000046	0.004617169
	2200	100%	108.5	32.538	3530.373	1.293	42.072	0.000084	0.008391338



Gambar 4.3 Grafik kadar emisi PM pada kondisi tanpa katalis

Grafik tersebut menampilkan kadar emisi PM pada gas buang motor bakar tanpa menggunakan katalis. Motor bakar dioperasikan pada kecepatan putar 100% RPM atau sebesar 2200 RPM dengan kondisi *load* atau beban 50% dan 100%. Pada saat motor bakar dioperasikan dengan kecepatan putar 100% RPM dengan *load* atau beban 50% terjadi penurunan kadar emisi. Pada beban 50%, kadar emisi PM sebesar 59.7 mg/m³ atau setara dengan 0.0046% m/m. Sedangkan pada kondisi beban 100% kadar emisi PM menjadi 108.5 mg/m³ atau setara 0.00839% m/m.

4.5 Analisa Emisi *Particulate Matter* (PM) Motor Bakar Menggunakan *Catalytic Converter*



Gambar 4.4 Grafik kadar emisi PM pada kondisi dengan katalis

Berdasarkan grafik di atas, dapat diketahui bahwa pada saat kondisi motor bakar dioperasikan dengan kecepatan putar 2200 RPM atau 100% RPM dan mengalami kenaikan *load* atau beban, maka terjadi kenaikan kadar emisi partikel (PM) pada gas buang motor diesel. Hal tersebut terjadi pada kondisi motor diesel tanpa menggunakan katalis dan motor diesel menggunakan katalis.

Pada kondisi kecepatan putar 100% RPM dan beban 50%, motor diesel tanpa menggunakan katalis memiliki kadar emisi PM sebesar 59.7 mg/m³ atau senilai dengan 0.0046% m/m. Kadar emisi PM ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan kadar emisi PM pada ketiga jenis katalis yang digunakan. Jika dibandingkan dengan kondisi tanpa katalis, penggunaan katalis Fe relatif mengalami peningkatan. Adapun kadar emisi PM pada saat menggunakan katalis Fe adalah sebesar 168.2 mg/m³ pada kecepatan putar motor diesel 100% RPM dan kondisi beban 50%. Artinya kadar emisi PM mengalami peningkatan sebesar 281.74%. Masih pada kondisi kecepatan putar dan beban yang sama, pada saat menggunakan katalis Cu kadar emisi PM meningkat sebesar atau senilai 181.74% jika dibandingkan dengan kondisi motor bakar diesel tanpa menggunakan katalis. Sedangkan pada saat menggunakan katalis Cu+Fe, kadar emisi PM mengalami peningkatan sebesar 0.0058% m/m atau senilai dengan 245.39%

Sedangkan pada kondisi motor bakar tanpa menggunakan katalis dioperasikan dengan kecepatan putar 100% RPM atau 2200 RPM dan beban 100%,

kadar emisi PM berkisar pada 108.5 mg/m³ atau mengalami peningkatan sebesar 181.74% jika dibandingkan dengan beban 50% pada kondisi motor bakar tanpa katalis. Adapun dalam kondisi beban 100%, penggunaan ketiga jenis katalis cenderung meningkatkan kadar emisi PM. Misalnya saja pada penggunaan katalis Fe, terjadi kenaikan kadar PM paling signifikan yaitu 0.02182% m/m atau senilai 360% jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan katalis. Sedangkan penggunaan katalis Cu, kadar emisi PM mengalami kenaikan sebesar 0.0067% m/m atau senilai 180%. Untuk penggunaan katalis Cu+Fe, kenaikan kadar emisi PM sebesar 0.00209% m/m atau setara dengan 124.9%

4.6 Analisa Emisi PM Motor Bakar Secara Umum

Tabel 4.4 Perbandingan kadar emisi PM hasil eksperimen dan regulasi

Variable	Speed	Load	PM			Regulation
	RPM	%	mg/m ³	m/m	% m/m	% m/m
catalyst Fe	2200	2000	168.2	0.000130	0.013009	Outside ECA. On and after 1 January 2012 (3.5% m/m)
	2200	4000	390.7	0.000302	0.030217	
Catalyst Cu+Fe	2200	2000	146.5	0.000113	0.011330	
	2200	4000	135.6	0.000105	0.010487	
Catalyst Cu	2200	2000	108.5	0.000084	0.008391	
	2200	4000	195.3	0.000151	0.015104	
Standar Conditio n	2200	2000	59.7	0.000046	0.004617	
	2200	4000	108.5	0.000084	0.008391	

Berdasarkan hasil pengujian kadar emisi PM pada berbagai ketentuan dan kondisi di atas, maka kenaikan emisi PM terjadi akibat penggunaan katalis. Adapun kenaikan kadar emisi PM terbesar adalah pada penggunaan katalis Fe dengan prosentase peningkatan emisi tertinggi sebesar 360% dan 168.2% yang terjadi pada kondisi *load* atau beban 100% dan 50%. Sedangkan kenaikan kadar emisi PM dapat ditekan pada penggunaan katalis Fe+Cu, yang memiliki prosentase kenaikan kadar PM hanya 124.9% pada kondisi *load* 100%. Namun kenaikan kadar emisi PM secara keseluruhan masih berada di dalam ambang batas yang diijinkan oleh regulasi MARPOL Annex VI.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu analisa pengaruh komposisi material komposit terhadap reduksi emisi gas buang motor diesel, maka dapat ditarik kesimpulan sementara sebagai berikut:

- a. Hasil pembuatan katalis paduan bahan keramik (bentonit) dengan logam (besi, tembaga) memiliki hasil yang terbaik (bersifat keras, tahan panas, mampu mereduksi emisi gas buang secara signifikan) terjadi pada kombinasi material pengemban (bentonit) dengan prosentase 70% dan material *filler* berupa besi dan tembaga dengan prosentase masing-masing 15%.
- b. Penurunan kadar emisi gas buang NO_x terbesar terjadi pada penggunaan katalis bentonit+besi+tembaga pada kondisi beban 25%, 50%, 75%, dan 100% yang secara berturut-turut memiliki prosentase penurunan sebesar 88.41%, 96.14%, 99.46%, dan 99.9%. Hal ini terjadi karena penggabungan logam tembaga dan besi pada katalis yang mengakibatkan rentang kerja temperatur optimal semakin luas (200C-600C). Sehingga reduksi NO_x cepat terjadi baik pada kondisi beban relatif rendah 25% hingga beban relatif tinggi 100%.
- c. Penggunaan katalis menyebabkan kenaikan kadar emisi *Particulate Matter* (PM). Adapun kenaikan tertinggi adalah penggunaan katalis Fe dengan prosentase kenaikan kadar emisi sebesar 360% dan 168.2% pada kondisi beban 50% dan 100%. Sedangkan untuk menekan laju kenaikan kadar emisi PM, maka yang paling tepat adalah menggunakan katalis kombinasi Fe+Cu yang memiliki prosentase kenaikan kadar emisi PM paling kecil, yaitu sebesar 124.9%.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian mengenai analisa pengaruh komposisi material komposit terhadap kemampuan mereduksi emisi gas buang motor diesel, maka penulis perlu menyampaikan saran agar penelitian terkait dapat lebih disempurnakan lagi. Adapun saran yang akan disampaikan adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian selanjutnya supaya dapat mengembangkan lagi dengan mencoba menggunakan jenis katalis logam yang berbeda-beda.
- b. Peneliti selanjutnya agar mencoba menggunakan teknis penginjeksian urea yang berbeda.

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Amin, M., 2016. Karakterisasi Penggunaan Bahan Adsorben dan Katalis dalam Pembuatan Material CMC untuk Filter Gas Buang. *Mekanika*, 15(2), pp. 16-23.

Anon., 2018. *aqua-calc*. [Online]

Available at: <https://www.aqua-calc.com/page/density-table/substance/iron>

[Accessed 2 May 2018].

Azzara, A., 2014. Feasibility of IMO Annex VI Tier III implementation using Selective Catalytic Reduction. *International Council on Clean Transportation*.

Basuki, T., 2007. Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ pada Emisi Gas Buang dengan Media Penyisipan TiO₂ dan Karbon Aktif. *JFN*, 1(1), pp. 45-63.

Bowles, J., 1991. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.

Cheetam, D., 1992. Solid State Compound. *Oxford University Press*, pp. 234-237.

Ertan, A. O., 1988. CO₂ and N₂ Adsorption on te Acid Treated Zeolit. *Adsorption*, Volume 11, pp. 151-156.

Hardiyatmo, H., 2006. *Soil Mechanics II*. Yogyakarta: Gama Press.

Hidayat, A., 2013. Sintesis Katalis CuO Zeolit alam untuk reaksi reduksi gas NO₂ menggunakan reduktor senyawa hidrokarbon. *Teknoin*, Volume 19, pp. 01-14.

IMO, 2018. *IMO*. [Online]

Available at:

[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx)

[Accessed 1 July 2018].

Ingole, A. K., 2017. A review on Selective Catalytic Reduction technique for diesel engine exhaust after treatment. *International Journal of Current Engineering and Technology*, Issue 7, pp. 206-210.

Irawan, R. M. S., 2005. Unjuk Kemampuan Catalytic Converter dengan Katalis Kuningan untuk Mereduksi Gas Hidro Carbon Motor Bensin. *Traksi*, III(2), pp. 90-98.

Koebel, M., Elsener, M. & Kleemen, M., 2000. Urea SCR a promising technique to reduce NOx emission. *Catalyst today*, Issue 59, pp. 335-345.

Mahida, U., 1984. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta: CV. Radjawali.

Niki, Y., Hirata, K. & Kishi, T., 2009. Basic Performance of SCR system in the Single Cylinder Diesel Engine. *ISME*, pp. 65-69.

Praveen, R. & Natarajan, S., 2014. Experimental Study of Selective Catalytic Reduction System on CI Engine Fuelled with Diesel-Ethanol Blend for NOx Reduction with Injection of Urea Solutions. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 6(2), pp. 895-905.

Ravi, D., 2014. Selective Catalytic Reduction-An effective Emission Controller in CI Engine. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 20(11), pp. 1379-1385.


Terzaghi, K., 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. Kedua ed. Jakarta: Erlangga.

Wahyu Gatot Budiyanto, d., 2008. *Kriya Keramik*. Jilid 1 ed. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.


Wesley, L., 1977. *Mekanika Tanah*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji Emisi NOx pertama



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; admin@k3.disnakertrans.jatimprov.go.id
 Website : www.k3.disnakertrans.jatimprov.go.id

LHU ini merupakan hasil pada lokasi dan saat pengukuran
LAPORAN HASIL PENGUJIAN
 No. PT. 47 / VII / 2018

I Nama Pengguna Jasa : ARIF PAMBUDI
 Mahasiswa ITS - Teknik Sistem Perkapalan
 II Alamat : Sukolilo – Surabaya
 III Jenis Pengukuran : Kualitas Udara Emisi Gas Buang
 Bahan Bakar Dexlite
 IV Tanggal Pengukuran : 2 Juli 2018
 V Alat yang Digunakan : Gas Analyzer Merk StarGas 898 dan ECOM
 VI Hasil Pengukuran :

Perlakuan	RPM	Load (Watt)	Hasil Pengukuran					
			NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)
Katalis A	2200	1000	150	0	0.033	1.99	12	18.13
		2000	150	0	0.037	2.68	8	17.06
		3000	118	0	0.041	3.10	9	16.31
		4000	5	0	0.154	3.58	26	16.27
Katalis B	2200	1000	24	0	0.024	1.60	9	18.59
		2000	11	0	0.028	2.75	8	17.23
		3000	2	0	0.013	2.42	1	18.23
		4000	0	0	0.000	0.00	0	20.91
Katalis C	2200	1000	0	2	0.023	1.24	11	19.46
		2000	0	4	0.022	1.90	15	18.48
		3000	0	3	0.032	2.53	19	17.38
		4000	0	0	0.033	0.30	2	21.37

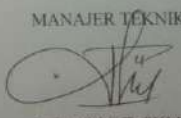
Mengetahui,
 An KERALA UPT K3 SURABAYA
 MANAJER TEKNIK USAHA



NONO SUWARNONO, SH, M.Si
 NIP. 19630305 1985031 018

Surabaya, 9 Juli 2018

MANAJER TEKNIK



S L A M E T, SKM
 NIP. 19630111 198803 1 012

Lampiran 2. Hasil Uji Emisi NOx kedua



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

Jl. Dukuh Menanggal 122 Telepon 8280440, 8294490, Fax. 8294277 Surabaya 60234
 Email : uptk3sby@gmail.com; admin@k3.disnakertrans.jatimprov.go.id
 Website : www.k3.disnakertrans.jatimprov.go.id



LHU ini merupakan hasil pada lokasi dan saat pengukuran

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
 No. PT. 47 / VII / 2018

I Nama Pengguna Jasa : ARIF PAMBUDI
 Mahasiswa ITS - Teknik Sistem Perkapalan

II Alamat : Sukolilo – Surabaya

III Jenis Pengukuran : Kualitas Udara Emisi Gas Buang

IV Tanggal Pengukuran : 6 Juli 2018

V Alat yang Digunakan : Gas Analyzer Merk E-COM

VI Hasil Pengukuran :

Bahan Bakar	RPM	Beban (Watt)	Kadar NO _x (ppm)
Dexlite	2200	1000	182
		2000	197
		3000	180
		4000	147

Mengetahui,

UPT K3 SURABAYA
KASUBAN MATA USAHA



W. S. W. ARSONO, SH, M.Si.
 NIP. 19630305 1985031 018

Surabaya, 9 Juli 2018

MANAJER TEKNIK



SLAMET, SKM
 NIP. 19630111 198803 1 012

Lampiran 3. Hasil Uji Emisi PM



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 : upk3sby@gmail.com; admin@k3.dsnakertrans.jatimprov.go.id
 Website : www.k3.dsnakertrans.jatimprov.go.id




LHU ini merupakan hasil pada lokasi dan saat pengukuran
LAPORAN HASIL PENGUJIAN
 No. PT. 47 / VII / 2018

I Nama Pengguna Jasa : ARIF PAMBUDI
 Mahasiswa ITS - Teknik Sistem Perkapalan
 II Alamat : Sukoliko – Surabaya
 III Jenis Pengukuran : Kadar Total Partikulat Udara Emisi Gas Buang
 Bahan Bakar Dexlite
 IV Tanggal Pengukuran : 2 Juli 2018
 V Metode yang Digunakan : Gravimetri
 VI Hasil Pengukuran :

Perlakuan	RPM	Load (Watt)	Kadar Total Partikulat (mg/m ³)	Suhu Pengukuran (°C)
Knalpot tidak standar Katalis A	2200	2000	168.2	34
		4000	390.7	34
Knalpot tidak standar Katalis B	2200	2000	146.5	34
		4000	135.6	34
Knalpot tidak standar Katalis C	2200	2000	108.5	34
		4000	195.3	34
Knalpot standar	2200	1000	65.1	34
		2000	59.7	34
		3000	81.4	34
		4000	108.5	34

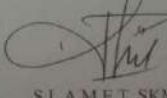
Mengetahui,
 An. KEPALA UPT K3 SURABAYA
 MANAJER USAHA



NONO SUWARNONO, SH, M.Si.
 NIP. 19630305 1985031 018

Surabaya, 9 Juli 2018

MANAJER TEKNIK



S.L.A.M.E.T.S.K.M.
 NIP. 19630111 198803 1 012

“Halaman sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Arif Rahman Pambudi, biasa disapa Arif, dilahirkan di Pati, 1 Desember 1994. Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di Sekolah Dasar Negeri (SDN) Kutoharjo 03 Pati. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Pati, dan SMA Negeri 1 Pati. Saat ini penulis menempuh pendidikan jenjang Strata 1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dimuai pada tahun 2013 melalui jalur SBMPTN. Penulis teregistrasi sebagai mahasiswa ITS dengan NRP 042113400061. Penulis mengambil konsentrasi bidang studi

Marine Power Plant (MPP). Selama mengenyam pendidikan di bangku perkuliahan, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (Himasiskal) pada tahun kedua perkuliahan sebagai staff Departemen Kewirausahaan. Kemudian pada tahun ketiga perkuliahan, penulis menjadi kepala departemen kewirausahaan Himasiskal. Selain aktif berorganisasi, penulis juga berkontribusi aktif sebagai teknisi dan staff divisi lomba *Marine Diesel Assembling* dalam rangkaian *big event Marine Icon*. Pada tahun terakhir perkuliahan, penulis lebih banyak menghabiskan waktu untuk menyelesaikan tugas akhir di Laboratorium *Marine Power Plant* (MPP) dan *Workshop* Getaran Mesin.