



**PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK GYPSUM,
KARBON AKTIF, TiO_2 DAN TEMBAGA SEBAGAI
CAMPURAN BAHAN *CATALYTIC CONVERTER*
TERHADAP PENURUNAN EMISI GAS BUANG
KENDARAAN**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif**

Oleh

Abdul Basit

NIM. 5202415040

**PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2019



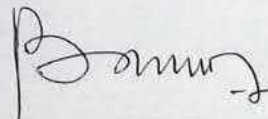
PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Abdul Basit
NIM : 5202415040
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif
Judul : Pengaruh Penggunaan Serbuk Gypsum, Karbon Aktif, TiO_2
dan Tembaga Sebagai Campuran Bahan *Catalytic Converter*
Terhadap Penurunan Emisi Gas Buang Kendaraan

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 03 Oktober 2019

Pembimbing,



Dr. M. Burhan Rubai Wijaya M.Pd.

NIP. 196302131988031001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Pengaruh Penggunaan Serbuk Gypsum, Karbon Aktif, TiO_2 dan Tembaga Sebagai Campuran Bahan *Catalytic Converter* Terhadap Penurunan Emisi Gas Buang Kendaraan” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 27 bulan September tahun 2019.

Oleh
Nama : Abdul Basit
NIM : 5202415040
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif S1

Panitia Ujian

Ketua



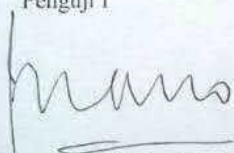
Rusyanta S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



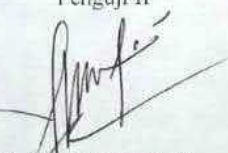
Dr. Dwi Widjanarko S.Pd., S.T., M.T.
NIP. 196901061994031003

Penguji I



Drs. Winarno Dwi Rahardjo, M.Pd.
NIP. 195210022018011308

Penguji II



Drs. Suwahyo, M.Pd.
NIP. 195905111984031002

Penguji III/Pembimbing



Dr. M. Burhan Rubai Wijaya, M.Pd.
NIP. 196302131988031001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang



Dr. Qudus M.T., IPM
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas tercantum sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 07 Oktober 2019

Yang membuat pernyataan,



Abdul Basit

NIM. 5202415040

MOTTO

“Kemuliaan itu akan tercapai menurut kadar kesengsaraan, orang yang mencari permatapun harus menyelam ke dasar lautan, barang siapa yang ingin meraih apa yang di cita-citakan maka ia harus menjadikan waktu malamnya sebagai kendaraan untuk mengejar cita-citanya (dalam kitab ta’lim muta’alim)”

PERSEMBAHAN

Untuk Bapak Pardiono dan Ibu Nur Sumiyati

Untuk Kakak Mazidah Rizkiana, Nurul Khasanah, dan Khaerunisa’

Untuk Kakak Meri Nur Amelia

Untuk Keluarga Besar Pendidikan Teknik Otomotif Angkatan 2015

Untuk Keluarga Besar EneRC (*Engineering Research Club*)

Untuk Keluarga Besar CRC (*Creativity Research Club*)

Untuk Keluarga Besar Ristek (Rohani Islam Teknik)

Untuk Keluarga Besar Orda Pekalongan (Bidikmisi Pekalongan dan Kesantika)

Untuk Keluarga Besar KKN Mlilir Bandungan

Untuk Keluarga Besar PPL SMK N 2 Kendal

Seluruh Pihak yang Telah Membantu dalam Menyelesaikan Tugas Akhir Ini.

SARI

Abdul, Basit. 2019. Pengaruh Penggunaan Serbuk Gypsum, Karbon Aktif, TiO_2 dan Tembaga Sebagai Campuran Bahan *Catalytic Converter* Terhadap Penurunan Emisi Gas Buang Kendaraan. Dr. M. Burhan Rubai Wijaya, M.Pd. Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif.

Aktivitas transportasi masyarakat Indonesia yang terus mengalami peningkatan, dimana sepeda motor relatif umum dan banyak digunakan oleh masyarakat. Peningkatan jumlah kendaraan sejalan juga meningkatnya polutan yang dihasilkan. Polutan dari kendaraan bermotor memberikan dampak yang buruk terhadap kesehatan manusia, lingkungan dan ekosistem. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh komposisi campuran bahan gypsum, karbon aktif, TiO_2 , dan tembaga pada *catalytic converter* terhadap emisi gas buang kendaraan CO dan HC.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen. Pengujian dilakukan pada empat variasi komposisi bahan gypsum, karbon aktif, TiO_2 , dan tembaga dengan melakukan kontrol pada porositas produk, putaran mesin stasioner 1400 rpm, suhu kerja 70°C , dan durasi waktu pengujian 60 detik setiap satu pengambilan data. Kemudian data hasil pengujian dari keempat variasi komposisi bahan *catalytic converter* yang dibuat dibandingkan dengan data hasil pengujian knalpot standar tanpa *catalytic converter*.

Hasil penelitian menunjukkan penggunaan bahan gypsum, karbon aktif, TiO_2 , dan tembaga sebagai *catalytic converter* mampu menurunkan kandungan CO dan HC pada kendaraan bermesin bensin. Pengurangan paling baik terdapat pada komposisi bahan gypsum 60%, karbon aktif 15%, TiO_2 15%, dan tembaga 10%, yaitu mampu menurunkan kandungan CO dari 3,5625% menjadi 2,36% terjadi pengurangan sebesar 1,2025% dengan efektivitas pengurangan CO sebesar 33,754% dan mampu menurunkan kandungan HC dari 642,5 ppm menjadi 469 ppm terjadi pengurangan sebesar 173,5% dengan efektivitas pengurangan HC sebesar 27%.

Kata Kunci: *Catalytic Converter, Gypsum, Polutan Berbahaya, Kendaraan Bermotor.*

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, nikmat, serta karunia-Nya sehingga penulisan Skripsi ini dapat terselesaikan dengan judul “Pengaruh Penggunaan Serbuk Gypsum, Karbon Aktif, TiO₂ dan Tembaga Sebagai Campuran Bahan *Catalytic Converter* Terhadap Penurunan Emisi Gas Buang Kendaraan”. Skripsi ini ditulis dalam rangka menyelesaikan studi Strata 1 untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Proposal skripsi ini dapat terselesaikan berkat bimbingan, bantuan, dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan penuh kerendahan hati penulis menyampaikan ucapan terimakasih atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak di antaranya:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman M.Hum Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis menempuh studi di Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Nur Qudus M.T., IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Rusiyanto, S.Pd., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T selaku Ketua Prodi Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Semarang.
5. Dr. M. Burhan Rubai Wijaya M.Pd. selaku dosen pembimbing dalam skripsi.
6. Drs. Winarno Dwi Rahardjo, M.Pd. selaku dosen penguji 1 yang telah memberikan masukan dan saran terbaik untuk proposal skripsi ini.
7. Drs. Suwahyo, M.Pd. selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan masukan dan saran terbaik untuk proposal skripsi ini.
8. Semua dosen jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
9. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat menjadi khasanah baru dalam referensi dalam penelitian selanjutnya.

Semarang, 27 September 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR BERLOGO	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
SARI	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR SINGKAT TEKNIS DAN LAMBANG	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	7
1.3 Batasan Masalah	8
1.4 Rumusan Masalah	8
1.5 Tujuan Penelitian	9
1.6 Manfaat Penelitian	9
BAB II. KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
2.1 Kajian Pustaka	11
2.2 Landasan Teori	14
2.2.1 Motor Bakar	14
2.2.2 Reaksi Pembakaran pada Mesin Bensin	19
2.2.3 Parameter Emisi Gas Buang Mesin Bensin	21
2.2.4 Karbon Monoksida (CO)	22
2.2.5 Hidrokarbon (HC)	24
2.2.6 <i>Catalytic Converter</i>	25

2.2.7	TiO ₂	27
2.2.8	Karbon Aktif	29
2.2.9	Gypsum	30
2.2.10	Tembaga.....	32
2.2.11	Pengaruh Katalis Gypsum, Karbon Aktif, TiO ₂ , dan Tembaga.....	33
BAB III. METODE PENELITIAN		
3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan	35
3.2	Desain Penelitian	35
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	37
3.4	Parameter Penelitian.....	48
3.5	Teknik Pengumpulan Data	49
3.6	Kalibrasi Instrumen	51
3.7	Teknik Analisis Data.....	53
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Deskripsi Data	55
4.2	Analisis Data	56
4.3	Pembahasan	61
4.4	Konversi Hasil Pengujian Terhadap Parameter Penelitian	66
BAB V. PENUTUP		
1.1	Kesimpulan.....	69
1.2	Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA		70
LAMPIRAN.....		75

DAFTAR SINGKAT TEKNIS DAN LAMBANG

Singkatan	Arti
CO	Karbon Monoksida
HC	Hidrokarbon
NO _x	Nitrogen Oksida
SO _x	Sulfur Dioksida
EFI	<i>Elektronik Fuel Injection</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
i-DSI	<i>Intelligent-Dual Sequential Ignition system</i>
CO ₂	Karbon Dioksida
Pt	Platinum
Pd	Palladium
Ru	Ruthenium
Mn	Mangan
Cu	Tembaga
Ni	Nikel
Fe	Besi
Cr	Crom
Zn	Seng
Al	Alumunium
TiO ₂	Titanium Dioksida
NO ₂	Nitrogen Dioksida
EGR	<i>Exhaust Gas Recirculation</i>

TMB	Titik Mati Bawah
TMA	Titik Mati Atas
AFR	<i>Air Fuel Ratio</i>
C	Karbon
H	Hidrogen
H ₂ O	Hidrogen Dioksida
N ₂	Nitrogen
UDC	<i>Urban Driving Cycle</i>
EUDC	<i>Extra Urban Driving Cycle</i>
O ₂	Oksigen
H ₂	Hidrogen
TWCs	<i>Three-way Catalysis</i>
ZnO	Zink Oksida
RPM	Rotasi per Menit
AT	<i>Automatic Transmision</i>
ppm	<i>Part Per Million</i>
MPa	Megapascal

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor.....	2
Tabel 2.1 Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor.....	21
Tabel 2.2 Properties Karbon Monoksida	22
Tabel 2.3 Konsentrasi karbon monoksida dan waktu paparan.....	23
Tabel 2.4 Spesifikasi gypsum jenis <i>gypsite</i>	31
Tabel 3.1 Spesifikasi alat <i>Automotive Gas Analyzer</i>	37
Tabel 3.2 Spesifikasi sepeda motor Supra X 125	38
Tabel 3.3 Parameter ukuran <i>catalytic converter</i>	43
Tabel 3.4 Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor Kategori L	48
Tabel 3.5 Pengujian Emisi Gas Buang.....	49
Tabel 4.1 Hasil pengujian kandungan CO dan HC pada knalpot standar dan <i>catalytic converter</i> yang telah dibuat.....	55
Tabel 4.2 Baku Mutu Emisi Gas Buang Tahun 2006	66
Tabel 4.3 Baku Mutu Emisi Gas Buang Tahun 2012	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Diagram P-V dan T-S siklus otto.....	15
Gambar 2.	Diagram P-V siklus aktual.....	16
Gambar 3.	Siklus kerja motor empat langkah	18
Gambar 4.	Hubungan Campuran Bahan Bakar dan Udara Terhadap Emisi Gas Buang.....	20
Gambar 5.	Skema Konstruksi <i>Catalytic Converter</i>	25
Gambar 6.	Struktur kristal TiO ₂ a) Rutil; b) Anatase c) Brukit.....	28
Gambar 7.	Adsorpsi pada karbon aktif.....	29
Gambar 8.	Pengaruh katalis tembaga terhadap emisi gas buang.....	32
Gambar 9.	<i>Automotive Gas Analyzer</i>	37
Gambar 10.	Honda Supra X 125 tahun 2010.....	38
Gambar 11.	<i>Tool Set</i>	38
Gambar 12.	Jangka Sorong.....	39
Gambar 13.	<i>Tachometer</i>	39
Gambar 14.	Timbangan Digital	40
Gambar 15.	<i>Furnace</i>	40
Gambar 16.	Gypsum.....	41
Gambar 17.	Karbon Aktif.....	41
Gambar 18.	TiO ₂	42
Gambar 19.	Tembaga.....	42
Gambar 20.	Tampilan luar <i>catalitic converter</i>	43
Gambar 21.	Tampilan potongan <i>catalitic converter</i>	44

Gambar 22. Tampilan depan <i>catalitic converter</i>	44
Gambar 23. Tampilan keseluruhan <i>catalitic converter</i>	44
Gambar 24. Tempat <i>Catalytic Converter</i>	45
Gambar 25. Tampilan 2D rancangan <i>catalitic converter</i>	46
Gambar 26. <i>Catalytic converter</i> yang terpasang pada knalpot.....	47
Gambar 27. Skema pengambilan data pengujian	50
Gambar 28. Skema Pengujian.....	51
Gambar 29. Pengaruh komposisi <i>catalytic converter</i> terhadap gas CO.....	57
Gambar 30. Pengaruh komposisi <i>catalytic</i> terhadap besarnya penurunan CO	58
Gambar 31. Pengaruh komposisi <i>catalytic converter</i> terhadap gas HC.....	59
Gambar 32. Pengaruh komposisi <i>catalytic</i> terhadap besarnya penurunan HC	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Keterangan Dosen Pembimbing	75
Lampiran 2. Surat Keterangan Dosen Penguji	76
Lampiran 3. Surat Pembuatan Produk Skripsi	77
Lampiran 4. Surat Pemakaian Alat untuk Pembuatan Spesimen	78
Lampiran 5. Surat Penelitian di SMK Negeri Jawa Tengah	79
Lampiran 6. Surat Keterangan Bukti Melakukan Penelitian	80
Lampiran 7. Pembuatan Produk Skripsi	81
Lampiran 8. Proses Pembuatan Spesimen	82
Lampiran 9. Proses Penelitian	83
Lampiran 10. Hasil Print Out Pengambilan Data	85
Lampiran 11. Lembar Hasil Pengujian	90
Lampiran 12. Perhitungan Efektivitas <i>Catalytic Converter</i> yang Dibuat	92

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Untuk memudahkan kebutuhan aktivitas masyarakat berbagai inovasi dan teknologi terus dikembangkan. Salah satunya teknologi yang berkembang sangat pesat adalah bidang transportasi. Aktivitas transportasi masyarakat Indonesia yang terus mengalami peningkatan adalah transportasi darat, dimana sepeda motor relatif umum dan banyak digunakan oleh masyarakat. Kepemilikan sepeda motor masyarakat Indonesia menunjukkan kecenderungan yang terus meningkat, sehingga timbul tiga persoalan yang sangat serius, yakni kemacetan, meningkatnya konsumsi bahan bakar, dan semakin parahnya tingkat pencemaran udara akibat dari emisi gas buang yang dihasilkan. Menurut data terakhir Badan Pusat Statistik (2016: 24), menunjukkan bahwa jumlah kendaraan bermotor tahun 2016 mencapai 129.281.079 unit atau setara dengan 8,19 persen yang terdiri dari mobil penumpang sebesar 8,73 persen, bus/mobil angkutan sebesar 2,26 persen, mobil barang/*truck* 7,52 persen, dan sepeda motor mencapai 8,32 persen. Berdasarkan data angka peningkatan kendaraan yang didapatkan tahun 2016, akan berdampak pada aspek kehidupan masyarakat. Dimana peningkatan kualitas kehidupan masyarakat di pihak lain yaitu semakin parahnya kualitas udara akibat pencemaran udara yang disebabkan oleh gas buang yang di timbulkan dari kendaraan bermotor. Menurut Maryanto, dkk (2009: 198), menyatakan bahwa gas buang yang dihasilkan dari kendaraan bermotor menimbulkan polusi udara

sebesar 70 sampai 80 persen, sedangkan pencemaran udara akibat industri hanya 20-30 persen saja.

Gas berbahaya hasil dari pembakaran yang tidak sempurna pada kendaraan bermotor mempunyai kontribusi cukup besar terhadap pencemaran udara mengingat pertumbuhan jumlah kendaraan yang terus meningkat dari tahun ke tahun. Menurut Wardhana (dalam Dirga, 2014), besarnya persentase pencemaran udara dari sumber transportasi di Indonesia adalah 70,50 persen CO; 18,34 persen HC; 8,89 persen NO_x; 0,88 persen SO_x; dan 1,33 persen partikel. Sehingga apabila dibandingkan dengan baku mutu emisi gas buang yang dikeluarkan oleh Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2006 sebagai berikut:

Tabel 1.1 Baku mutu emisi gas buang

Kategori	Tahun Pembuatan	Parameter		Metode Uji
		CO (%)	HC (ppm)	
Sepeda Motor 2 Langkah	< 2010	4.5	12000	Idle
Sepeda Motor 4 Langkah	< 2010	5.5	2400	Idle
Sepeda Motor (2 Langkah Dan 4 Langkah)	≥ 2010	4.5	2000	Idle

Sumber : (Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2006).

Persentase gas karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) di atas dinilai sangat tinggi sehingga menjadi hal yang perlu diperhatikan karena emisi gas buang ini sangat berbahaya dan berdampak negatif pada kesehatan manusia, lingkungan dan ekosistem pada umumnya.

Berbagai upaya terus dilakukan untuk meminimalisir emisi gas buang kendaraan bermotor. Penemuan berbagai teknologi baru pada sistem pengontrolan emisi gas buang untuk mengurangi dampak gas polutan berbahaya dari kendaraan bermotor, diterapkannya teknologi *catalytic converter*. *Catalytic converter*

merupakan suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. *Catalytic converter* terbuat dari logam Palladium dan Platinum karena secara efisien mengubah polutan HC ke CO₂ dan air, serta CO ke CO₂ dan tidak menjadi nitrogen (Santos dan Costa, 2008: 291). Beberapa logam yang diketahui efektif sebagai bahan katalis oksida dan reduksi mulai dari yang besar sampai yang kecil adalah Pt, Pd, Ru > Mn, Cu >> Ni > Fe > Cr > Zn dan oksida dari logam-logam. Disamping itu masih ada logam katalis yang lebih murah, mudah dikerjakan dan mudah didapat untuk dijadikan *catalytic converter* antara lain : CuO/zeolite alam, Cu-Al₂O₃, Cu, Mn, Mg dan Zeolit alam, *catalytic converter* jenis ini mampu mengurangi emisi gas buang (CO, HC, NO_x) cukup tinggi antara 16 % sampai 80% yang dijelaskan oleh Dwyer, 1973 dalam (Irawan, dkk., 2013: 54).

Pengolahan emisi pada saluran gas buang menggunakan cara lain yaitu dengan proses adsorpsi. Adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan molekul-molekul adsorbat (gas buang) pada permukaan adsorben (menyerap). Menurut Utomo, dkk (2010: 20), adsorpsi terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik antar atom atau molekul zat padat. Proses terjadinya adsorpsi dilakukan sebelum gas buang keluar dari knalpot atau saluran buang. Berbagai cara banyak dilakukan untuk melakukan adsorpsi gas buang. Adsorben yang dapat digunakan untuk menyerap gas buang salah satunya menggunakan karbon aktif.

Karbon aktif merupakan senyawa karbon yang mampu mengadsorpsi air maupun gas. Selain itu karbon aktif merupakan bahan yang telah diaktivasi sehingga menghasilkan volume pori-pori yang luas untuk mengadsorpsi atau

reaksi kimia (Mazlan, dkk., 2016: 531). Karbon aktif mempunyai luas yang sangat besar $1,95 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$, dengan total volume pori-pori sebesar $10,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ mg}^{-1}$ dan diameter pori rata-rata $21,6 \text{ \AA}$, sehingga sangat memungkinkan untuk menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak. Bahan ini mampu menjadi katalis yang dapat digunakan sebagai bahan *catalytic converter* karena mempunyai pori-pori yang luas untuk mengadsorpsi emisi gas CO, HC, dan NO_x serta mudah didapat dan lebih murah dibandingkan dengan Palladium, Platinum dan *Stainless Steel*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Koho, dkk (2014: 231), terjadi penurunan dengan penambahan 100 gram karbon aktif dan 100 gram *glass wool* yakni emisi CO dari 14,79% turun menjadi 12,94% dan HC dari 4572 ppm turun menjadi 3664 ppm dengan persentase penurunan emisi CO sebesar 11,64% dan HC sebesar 19,91%. Tetapi kekuatan dan ketahanan panas dari karbon aktif sangat lemah, apabila dipanaskan pada suhu di atas 150°C , struktur karbon aktif tersebut akan rusak karena tidak tahan terhadap panas.

Campuran media *catalytic converter* akan lebih baik apabila karbon aktif di padukan dengan TiO₂ karena bahan ini mempercepat terjadinya proses penyerapan gas CO dan HC oleh karbon aktif. Selain itu TiO₂ dapat diregenerasi dengan mudah pada suhu ruangan dan cocok sebagai bahan katalis karena mempunyai keuntungan tidak beracun, selalu stabil dan ekonomis. Hasil penelitian Wicaksono, dkk (2014: 205), penurunan konsentrasi CO dan HC pada emisi gas buang dengan menggunakan media *catalytic converter* berbahan TiO₂ dapat mereduksi emisi CO rata-rata 18,39%-20,96% dan HC rata-rata 16,10-23,26%. Sehingga, berdasarkan penelitian tersebut maka TiO₂ dapat digunakan

untuk menyerap gas-gas polutan berbahaya. Akan tetapi untuk saat ini penggunaan bahan TiO_2 sebagai campuran *catalytic converter* belum banyak digunakan pada kendaraan.

Material pada *catalytic converter* yang dapat dijadikan filter sebagai pengganti logam Pt, Pd, Ru salah satunya adalah tembaga. Tembaga merupakan material substrat dimana logam ini mempunyai kemampuan dalam suhu ruangan yang tinggi. Pada penelitian yang dilakukan Ulum dan Iskandar, (2014: 195), tentang unjuk kemampuan *metallic catalytic converter* tembaga berlapis mangan terhadap reduksi emisi CO dan HC pada sepeda motor 4 langkah dimana dalam penelitiannya menggunakan lembaran plat tembaga dengan variasi diameter lubang 2 mm mampu menurunkan emisi gas CO sebesar 55,96 % dan pada variasi diameter lubang 3 mm mampu menurunkan emisi gas HC sebesar 54,25 %. Selain itu penelitian Prasad dan Singh (2012: 226), menggunakan tembaga krom sebagai pengganti logam mulia karena mempunyai biaya rendah, ketersediaan lebih mudah, dan menunjukkan aktivitas yang sebanding dengan logam mulia untuk mengoksidasi CO. Sehingga penggunaan tembaga sebagai *catalytic converter* mampu diterapkan dan dapat menggantikan logam Pt, Pd, Ru.

Beberapa material-material di atas sebagai bahan *catalytic converter* selama ini masih dilakukan secara terpisah tanpa menggabungkannya. Oleh karena itu perlu dilakukan penggabungan antara material tersebut agar dapat memperbaiki sifat-sifatnya. Dimana dalam penggabungan diperlukan bahan tambahan yang dapat mengikat material penyusun *catalytic converter*. Gypsum merupakan bahan yang mampu mengikat dan menggabungkan bahan-bahan penyusun *catalytic*

converter di atas yang terbentuk dari kalsium dan sulfat dihidrat yang mempunyai rumus kimia $(\text{CaSO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$ di alam, gips berupa padatan berwarna abu-abu, merah, ataupun coklat. Gypsum merupakan adsorben yang bagus untuk menyerap gas karena gypsum memiliki permukaan yang halus dan mempunyai porositas yang tinggi. Selain itu gypsum juga memiliki kapasitas panas yang baik, mampu menahan api, tahan terhadap korosi, daya serap yang baik, kuat dan mampu dibentuk menjadi berbagai macam komponen hiasan. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Dahlan, dkk (2016: 17), menggunakan membran keramik berbasis zeolit dan gypsum terhadap emisi gas CO, NOx kendaraan bermotor mampu mengurangi gas CO sebesar 71,42% dan NOx sebesar 55,55% pada waktu pengujian selama 30 menit. Sehingga bahan gypsum ini bisa digunakan sebagai alternatif dalam membuat *catalytic converter* yang efektif dan ekonomis untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan. Akan tetapi, luas pori-pori dari gypsum tidak begitu besar dibanding dengan menggunakan bahan karbon aktif. Oleh karena itu dibutuhkan perpaduan antara material gypsum dengan campuran karbon aktif, TiO_2 dan tembaga akan membuat *catalytic converter* memiliki kekuatan, ketahanan terhadap panas, dan kemampuan dalam menyerap emisi gas kendaraan dengan baik.

Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Penggunaan Serbuk Gypsum, Karbon Aktif, TiO_2 dan Tembaga Sebagai Campuran Bahan *Catalytic Converter* Terhadap Penurunan Emisi Gas Buang Kendaraan”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, ada beberapa permasalahan yang dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor sejalan dengan peningkatan kualitas udara yang memburuk akibat emisi gas buang kendaraan bermotor.
2. Penggunaan *catalytic converter* pada sepeda motor sudah mulai diaplikasikan. Namun, biaya produksinya masih cukup mahal dikarenakan material penyusunnya terdiri dari platinum dan palladium.
3. Karbon aktif mempunyai pori-pori lebih terbuka. Hal ini yang menyebabkan karbon aktif dapat digunakan untuk menyerap partikel gas yang berbahaya, akan tetapi kekuatan dan daya tahan panasnya lebih buruk.
4. TiO_2 merupakan bahan yang tidak berbau, tidak beracun, harga ekonomis, dan sebagai katalis mereduksi serta oksidasi gas-gas berbahaya yang dihasilkan oleh kendaraan, akan tetapi bahan ini belum diterapkan sebagai katalis di kendaraan.
5. Tembaga merupakan jenis logam yang mampu bertahan di suhu yang tinggi. Tembaga dapat dijadikan sebagai katalisator karena mampu mengoksidasi emisi gas buang kendaraan, akan tetapi masih sedikit yang menggunakannya.
6. Gypsum mempunyai kekuatan dan ketahanan panas yang baik sebagai bahan *catalytic converter*, akan tetapi pori-pori gypsum lebih sedikit dan memiliki daya serap emisi gas yang lebih kecil dibandingkan dengan karbon aktif.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut, maka dalam penelitian pengaruh penggunaan serbuk gypsum, karbon aktif, TiO_2 dan tembaga sebagai campuran bahan *catalytic converter* terhadap penurunan emisi gas buang kendaraan akan dibatasi pada:

1. Untuk mengurangi kandungan dari emisi gas berbahaya pada kendaraan yang diaplikasikan menjadi *catalytic converter*.
2. *Catalytic converter* yang dibuat berbahan campuran *Titanium Dioxide* (TiO_2) *ruthile*, bahan ini tidak berbahaya dan digunakan sebagai katalis.
3. Campuran *catalytic converter* menggunakan karbon aktif yang sudah diaktivasi secara fisika dengan temperatur 950°C . Sehingga mampu mengadsorpsi emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan.
4. *Catalytic converter* menggunakan campuran tambahan berupa tembaga karena mampu mengoksidasi polutan gas berbahaya dari kendaraan.
5. *Catalytic converter* yang digunakan dalam penelitian ini berbahan dasar gypsum yang memiliki kemampuan tahan panas lebih dari 200°C .

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan pembatasan masalah di atas, penelitian dapat merumuskan yang akan diteliti adalah:

1. Berapa persentase ideal komposisi campuran gypsum, karbon aktif, TiO_2 , dan tembaga sebagai *catalytic converter* untuk menurunkan emisi gas buang kendaraan bermotor?

2. Seberapa besar pengaruh komposisi ideal campuran gypsum, karbon aktif, TiO_2 dan tembaga sebagai *catalytic converter* terhadap emisi gas buang kendaraan bermotor yang paling rendah?

1.5 Tujuan Penelitian

Suatu penelitian akan lebih mudah dilakukan apabila memiliki tujuan yang jelas. Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui persentase pengurangan terbaik komposisi ideal campuran gypsum, karbon aktif, TiO_2 , dan tembaga sebagai *catalytic converter* untuk menurunkan emisi gas buang kendaraan bermotor.
2. Mengetahui besar pengaruh komposisi ideal campuran gypsum, karbon aktif, TiO_2 dan tembaga sebagai *catalytic converter* terhadap emisi gas buang kendaraan bermotor pada yang paling rendah.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk berbagai pihak. Manfaat-manfaat tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pengetahuan baru komposisi ideal campuran gypsum, karbon aktif, TiO_2 dan tembaga dapat dijadikan sebagai bahan *catalytic converter* untuk mengadsorpsi emisi gas buang kendaraan.
2. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai bahan rujukan dan referensi penelitian lain dalam melakukan penelitian selanjutnya dengan topik yang sama.

3. Menambah khasanah referensi baru terhadap metode adsorpsi emisi gas buang kendaraan.
4. Menyajikan salah satu solusi terkait pengurangan emisi gas buang melalui campuran gypsum, karbon aktif, TiO_2 dan tembaga sebagai bahan *catalytic converter* dalam penurunan emisi gas buang kendaraan yang paling rendah.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang bahan penyusun *catalytic converter* belakangan ini sudah banyak dilakukan oleh para peneliti. Beberapa kajian yang telah dilakukan dapat memberikan sumbangsih secara ilmiah untuk menunjang khasanah keilmuan dari penelitian tentang *catalytic converter*. Aspek yang diteliti juga mencerminkan hal-hal yang bervariasi serta melihat permasalahan dari berbagai sudut pandang dan berbagai disiplin ilmu.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Haryanto, dkk (2013), dalam penelitiannya menggunakan bahan gypsum sebagai bahan *catalytic converter* yang dipasangkan di sepeda motor Yamaha Mio AT Tahun 2010. Dimana gypsum digunakan sebagai adsorben gas polutan dari emisi gas buang kendaraan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan gypsum sebagai katalis yang dipasangkan di sepeda motor Yamaha Mio AT Tahun 2010 dihasilkan pengujian paling rendah pada putaran 2500 RPM dan kadar emisi CO sebesar 5,57% volume di dapatkan pada pemasangan gypsum II (diamater luar 4,5 cm).

Penelitian lainnya penggunaan gypsum dilakukan Boado, dan Caldoni (2017), dimana dalam penelitiannya menggunakan media zeloid dan gypsum sebagai bahan *catalytic converter* yang dipasangkan pada kendaraan diesel. Zeloid merupakan media adsorben yang baik untuk mengoksidasi *Particulate Matter* (PM), tetapi hancur pada suhu tinggi sehingga penggunaan gypsum sebagai

penyempurna struktur *catalytic converter* karena stabilitas yang baik pada suhu tinggi. Gypsum ditambahkan untuk menahan zeloid tidak rusak akibat panas. Zeloid dan gypsum dikombinasikan secara sinergi karena sama-sama sebagai bahan adsorpsi. Penelitian ini diujikan pada beberapa mesin keluaran tahun 2004-2011, dimana *catalytic converter* mampu mereduksi opasitas paling banyak pada mesin keluaran tahun 2009 sebesar 25,85%.

Penelitian yang dilakukan oleh Redha, dkk (2018: 46), dalam penelitiannya menggunakan media penyerap emisi CO dan NOx pada gas buang kendaraan menggunakan karbon aktif dari kulit cangkang biji kopi yang diujikan pada kendaraan roda empat. Penelitiannya mampu menurunkan emisi gas buang CO dalam rentang 6,62 – 39,02% dan menurunkan emisi gas buang NOx dalam rentang 13,08 – 39,05%. Karbon aktif sebagai adsorpsi emisi ini diaktivasi menggunakan larutan HCl 3% karena memberikan unjuk kerja penyisipan emisi lebih baik.

Penelitian Wulandari dan Hendriyanto, (2018), dalam penelitiannya mengkombinasikan keramik berpori dengan katalis TiO₂ untuk menurunkan gas CO pada emisi gas buang kendaraan bermotor. TiO₂ membantu menyerap lebih banyak gas melewati permukaan pori dari keramik. Hasil maksimal yang didapatkan dalam pengujian filter keramik berpori didapat pada komposisi filter dengan tambahan katalis TiO₂ 10% pada penurunan gas CO dengan panjang media filter 4 cm sebesar 51,71% dengan CO akhir 3,1%.

Amin dan Subri, (2016: 29), dalam penelitiannya uji performa filter gas emisi kendaraan bermotor berbasis keramik porous dengan aditif tembaga, TiO₂,

dan karbon aktif dalam penurunan kadar gas carbon monoksida. Adsorben yang digunakan yaitu karbon aktif dan TiO_2 untuk mempercepat penyerapan gas melewati pori-pori dari karbon aktif. Keramik dipilih untuk filter karena memiliki sifat kuat dan tahan pada suhu tinggi. Sehingga komposisi bahan struktur *catalytic converter* saling melengkapi. *Catalytic converter* yang dibuat dengan komposisi 80% *clay*, 10% TiO_2 , 10% karbon aktif dengan tambahan 10% PVA dengan aditif 10% serbuk kayu yang dimixer dengan kecepatan 64 rpm selama 30 menit dan dicetak dengan tekanan *press* 25 MPa dan suhu sintering 9500C memiliki performa dalam penurunan kadar gas emisi CO terbanyak yaitu 99,267% volume pada putaran mesin 200 rpm.

Penelitian Sanata, (2012: 7), dalam penelitiannya melakukan analisis variasi temperatur logam katalis tembaga (Cu) pada *catalytic converter* untuk mereduksi emisi gas karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) kendaraan bermotor. Tembaga mampu mengoksidasi pada temperatur tinggi sehingga baik digunakan sebagai katalis. Hal ini terbukti pada penelitiannya dengan menggunakan katalis tembaga berdiameter 8 mm pada kenaikan temperatur semakin tinggi maka efisiensi konversi untuk gas buang CO dan HC semakin optimal dengan hasil konversi 47,93% untuk CO dan 50,36% untuk HC pada temperatur 325⁰C.

Berdasarkan beberapa kajian di atas penggunaan bahan-bahan penyusun *catalytic converter* dari gypsum, karbon aktif, TiO_2 , dan tembaga mempunyai kemampuan masing-masing dalam mengurangi emisi gas buang berbahaya. Pada suhu tinggi gypsum dan tembaga mempunyai kemampuan yang baik dalam menurunkan emisi. Pencampuran antara karbon aktif dan TiO_2 berfungsi sebagai

bahan katalis. Bila menggunakan campuran komposisi yang ideal antara bahan-bahan penyusun *catalytic converter* tersebut akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kadar emisi gas buang pada sepeda motor.

2.2 Landasan Teori

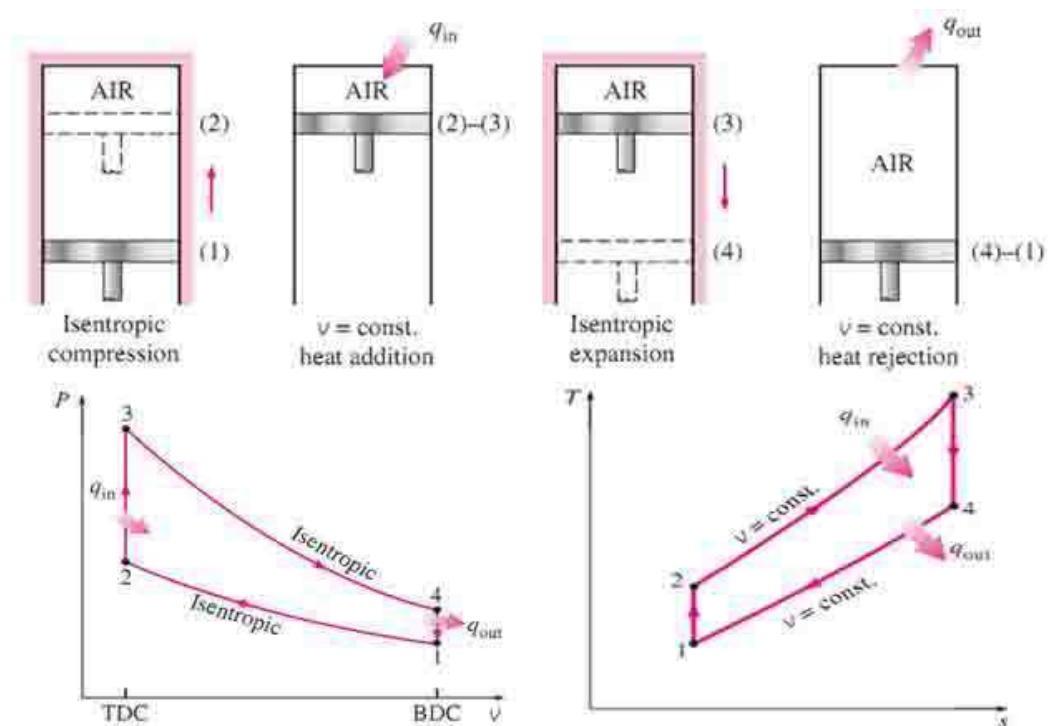
2.2.1 Motor Bakar

Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin kalor, yaitu mesin yang mengubah energi kalor yang berasal dari proses pembakaran menjadi energi mekanik. Motor bakar bekerja apabila terjadi pembakaran bahan bakar kimia yang berlangsung secara cepat antara oksigen dan unsur yang mudah terbakar dari bahan bakar pada suhu dan tekanan tertentu. Rizal, (2013: 28) menjelaskan tentang motor bakar adalah sebagai berikut:

Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin kalor yang proses pembakarannya terjadi dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran sebagai fluida kerjanya. Mesin dengan cara ini disebut mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) contohnya motor bensin, sedangkan mesin kalor yang cara memperoleh energinya dengan proses pembakaran di luar disebut mesin pembakaran luar (*external combustion engine*) contohnya turbin uap.

Siklus pada mesin bensin ini menghasilkan tenaga gerak melalui beberapa proses yang dimulai dari proses pengisapan gas ke dalam silinder, langkah kompresi, langkah pembakaran yang menghasilkan tenaga, dan langkah pembuangan gas sisa pembakaran ke luar silinder. Konversi energi yang terjadi pada motor bakar torak berdasarkan pada siklus termodinamiska. Proses sebenarnya amat kompleks, sehingga analisa dilakukan pada kondisi ideal dengan fluida kerja udara. Pada siklus otto atau siklus volume konstan proses pembakaran

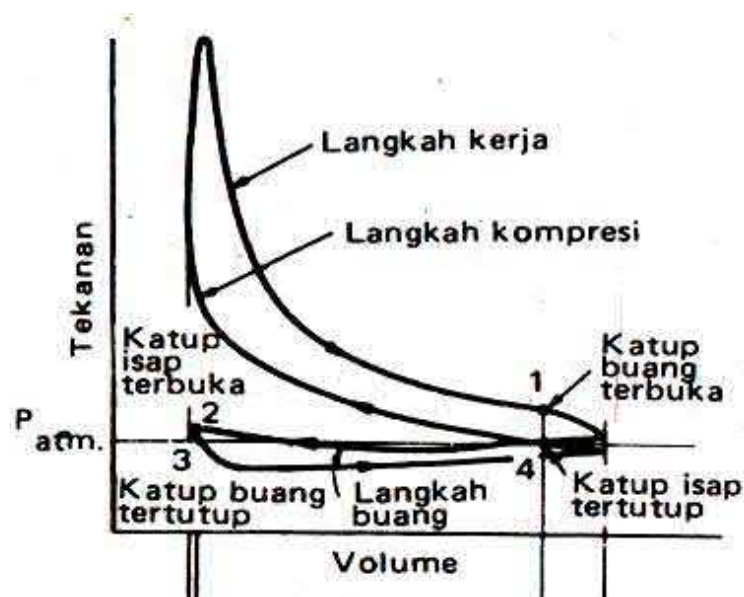
terjadi pada volume konstan, sedangkan siklus otto tersebut ada yang berlangsung dengan 4 (empat) langkah atau 2 (dua) langkah. Untuk mesin 4 (empat langkah) siklus kerja terjadi dengan 4 (empat) langkah piston atau 2 (dua) putaran poros engkol (Nababan, dkk., 2013: 253). Adapun langkah dalam siklus otto yaitu gerakan piston dari titik puncak (TMA= titik mati atas) ke posisi bawah (TMB=titik mati bawah) dalam silinder. Diagram P-V dan T-S siklus otto dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram P-V dan T-S siklus otto (Purnomo, 2015: 116)

Proses siklus otto menurut penjelasan dari siklus di atas adalah sebagai berikut, proses 1-2 proses kompresi *isentropic* (*adiabatic reversible*) dimana piston bergerak maju (TMA=titik mati atas) mengkompresi udara sampai volume *clearance* sehingga tekanan dan temperatur udara naik. Selanjutnya, proses 2-3

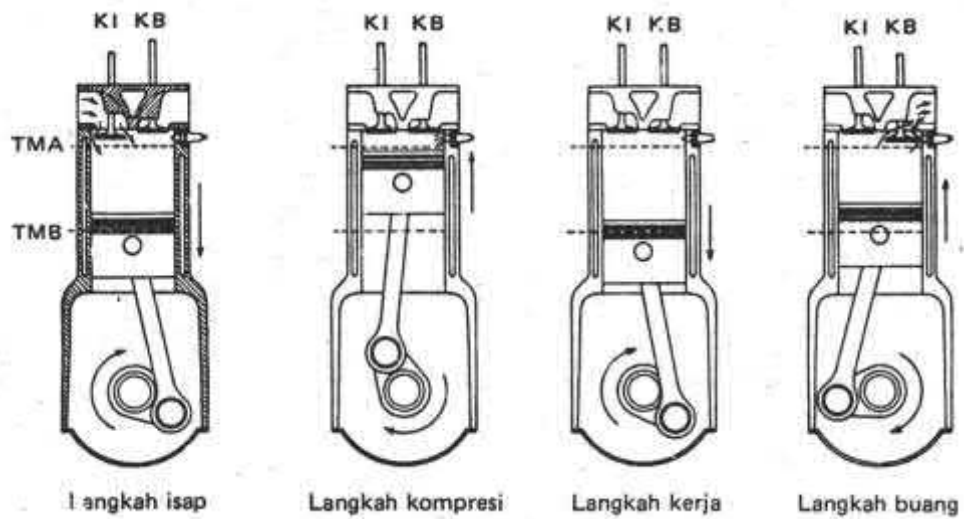
merupakan pemasukan kalor konstan, piston sesaat pada (TMA=titik mati atas) bersamaan kalor suplai dari sekelilingnya serta tekanan temperatur meningkat hingga nilai maksimum dalam siklus. Kemudian proses 3-4 proses dimana isentropik udara panas dengan tekanan tinggi mendorong piston turun menuju (TMB=titik mati bawah), energi dilepaskan disekeliling berupa internal energi. Proses 4-1 merupakan proses pelepasan kalor pada volume konstan piston sesaat pada TMB dengan menransfer kalor ke sekeliling dan kembali pada langkah awal (Lawerissa, 2011: 140). Akan tetapi, siklus secara aktual yang terjadi tidaklah seideal siklus otto. Proses sebenarnya yang terjadi pada mesin bensin empat langkah adalah seperti pada grafik berikut ini,



Gambar 2. Diagram P-V siklus aktual (Cahyono, 2015)

Menurut Wijaya (2012), dalam kenyataannya baik siklus volume konstan, siklus tekanan konstan dan siklus gabungan tidak mungkin dilaksanakan, karena adanya beberapa hal sebagai berikut,

- (1) Fluida kerja bukanlah udara yang bisa dianggap sebagai gas ideal, karena fluida kerja di sini adalah campuran bahan bakar (pertalite) dan udara, sehingga tentu saja sifatnya pun berbeda dengan sifat ideal.
- (2) Kebocoran fluida kerja pada katup (*valve*), baik katup masuk maupun katup buang, juga kebocoran pada piston dan dinding silinder, yang menyebabkan tidak optimalnya proses.
- (3) Baik katup masuk maupun katup buang tidak dibuka dan ditutup tepat pada saat piston berada pada posisi TMA atau TMB, karena pertimbangan dinamika mekanisme katup dan kelembaman fluida kerja.
- (4) Pada motor bakar torak sebenarnya, torak berada di TMA tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara.
- (5) Proses pembakaran memerlukan waktu untuk perambatan nyala apinya, akibatnya proses pembakaran berlangsung pada kondisi volume ruang yang berubah-ubah sesuai gerakan piston.
- (6) Terdapat kerugian akibat perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, misalnya oli, terutama saat proses kompresi, ekspansi dan waktu gas buang meninggalkan silinder.
- (7) Adanya kerugian energi akibat adanya gesekan antara fluida kerja dengan dinding silinder dan mesin.
- (8) Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari dalam silinder ke atmosfer sekitarnya.

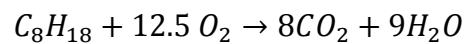


Gambar 3. Siklus kerja motor empat langkah (Heywood, 1988: 10).

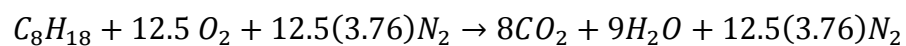
Menurut (Lawerissa, 2011: 140), proses kerja ini terjadi berurutan dan berulang-ulang. Pada motor empat langkah, proses kerja motor diselesaikan dalam empat langkah piston. Langkah pertama yaitu piston bergerak dari TMA ke TMB, disebut langkah pemasukan. Langkah kedua yaitu piston bergerak dari TMB ke TMA disebut langkah kompresi. Langkah ketiga piston bergerak dari TMA ke TMB disebut langkah usaha. Pada langkah usaha terjadilah proses pembakaran bahan bakar (campuran udara dan bahan bakar) didalam silinder motor/ ruang pembakaran yang menghasilkan tenaga untuk mendorong piston bergerak dari TMA ke TMB. Langkah ke empat yaitu piston bergerak dari TMB ke TMA atau biasa disebut langkah pembuangan. Jadi pada motor empat langkah proses kerja motor untuk menghasilkan satu langkah usaha diperlukan empat langkah piston. Empat langkah piston berarti dua kali putaran poros engkol.

2.2.2 Reaksi Pembakaran Pada Mesin Bensin

Mesin besin mendapatkan tenaga dari proses pembakaran campuran bahan bakar dengan udara di dalam ruang bakar. Campuran bahan bakar dan udara berupa bensin diubah menjadi gas dan selanjutnya disemprotkan ke ruang bakar oleh karburator, sedangkan pada sistem EFI (*elektronik fuel injection*) campuran bahan bakar dan udara berada di *chamber* untuk bersiap-siap masuk pada ruang bakar untuk proses kerja. Menurut Pranata, (2018: 12) *Air Fuel Ratio* (AFR) yaitu perbandingan antara massa bahan bakar dan udara untuk mencapai pembakaran yang sempurna. Reaksi kimia antara C_8H_{18} (*isooctane*) dengan oksigen adalah:



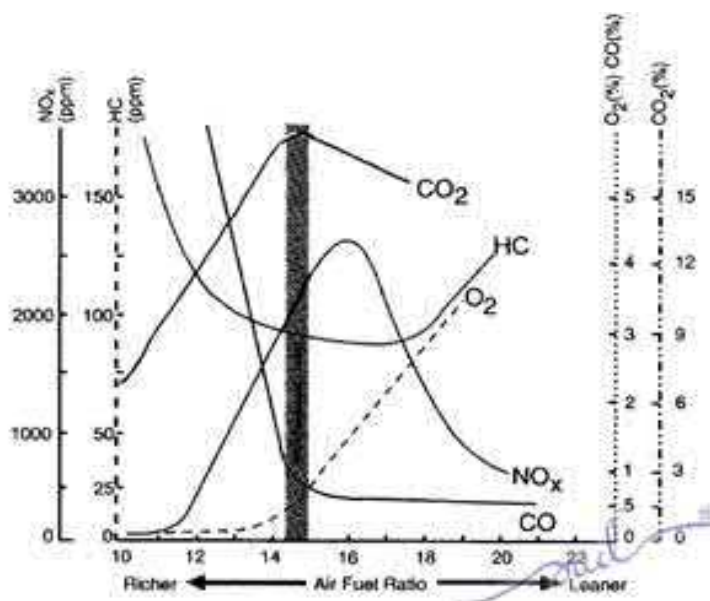
Pembakaran dapat terjadi dengan berbagai campuran komposisi bahan bakar dan udara. Ketersediaan campuran mengakibatkan terjadinya produk lain pada gas buang CO yang terjadi polusi di udara. Secara stoikiometri pembakaran bensin dan udara adalah:



$$AFR = \frac{(12.5 \times ((2 \times 16) + (3.76 \times 2 \times 14)))}{(8 \times 12) + (18 \times 1)} = \frac{(1716)}{114} = 15.05$$

Menurut Heywood, (1988: 71) tentang stoikiometri pembakaran adalah ketika campuran bahan bakar dengan udara lebih besar dari stoikiometri maka terjadi campuran yang kaya, akibatnya jumlah oksigen tidak cukup untuk mengoksidasi seluruh bahan bakar, sehingga C (karbon) dan H (hidrogen) menjadi CO_2 dan H_2O (termasuk N_2). Dengan begitu komposisi produk

pembakaran tidak dapat ditentukan antara keseimbangan dari kedua unsurnya. Komposisi produk pembakaran secara signifikan berbeda dari campuran miskin dan kaya, serta stoikiometri campuran bahan bakar dan udara tergantung pada besarnya jumlah bahan bakar.



Gambar 4. Hubungan Campuran Bahan Bakar dan Udara Terhadap Emisi Gas Buang (Cholilulloh dan Warju, 2014: 109)

Sistem pembuangan dari mesin empat langkah dapat dimodifikasi dengan memasang bagian yang dapat menyerap emisi gas buang HC dan CO agar tidak tercemar ketika keluar dari gas pembuangan. Temperatur gas buang divariasikan dengan menyesuaikan kondisi kerja mesin. Laju oksidasi untuk mengurangi jumlah emisi HC dan CO ditentukan oleh temperatur gas buang (Heywood, 1988: 616).

2.2.3 Parameter Emisi Gas Buang Mesin Bensin

Emisi kendaraan dihasilkan dari sisa pembakaran bahan bakar dan udara di ruang bakar mesin kendaraan, dan keluar melalui sistem pembuangan berupa knalpot. Sebagai upaya dalam mengendalikan pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor maka pemerintah mempunyai peranan yang sangat penting terutama membuat peraturan tentang baku mutu emisi gas buang. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2006 tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor lama batasan seperti tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor

Kategori	Tahun Pembuatan	Parameter		Metode Uji
		CO (%)	HC (ppm)	
Sepeda Motor 2 Langkah	< 2010	4.5	12000	Idle
Sepeda Motor 4 Langkah	< 2010	5.5	2400	Idle
Sepeda Motor (2 Langkah Dan 4 Langkah)	≥ 2010	4.5	2000	Idle

Sumber : (Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2006).

Gas buang sisa pembakaran bahan bakar dan udara terdiri dari banyak komponen gas yang sebagian besar merupakan polusi bagi lingkungan hidup. Emisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran dalam mesin kendaraan merupakan salah satu sumber polusi udara. Menurut Mokhtar, dkk (2017: 2), dalam pembakaran sempurna gas buang hasil pembakaran berupa CO₂ dan H₂O serta udara yang tidak terlibat pembakaran, namun pembakaran sempurna sulit tercapai sehingga terdapat gas buang hasil pembakaran lain seperti CO, HC, dan NO_x, karena 79% udara untuk pembakaran terdiri dari nitrogen. Emisi gas buang

yang sangat dominan dihasilkan oleh kendaraan bermotor salah satunya adalah gas karbon monoksida (CO), dan gas hidrokarbon (HC).

2.2.4 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) tercipta karena dalam proses pembakaran kekurangan oksigen sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna (Antoni dan Wijaya, 2017: 137). Gas karbon monoksida merupakan gas berbahaya hasil pembakaran kendaraan bermotor yang keluar ke lingkungan melewati knalpot, senyawa kimia ini tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Karbon monoksida memiliki densitas yang lebih rendah dari udara dan sulit larut dalam air. Propertis dari karbon monoksida yang lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Properties Karbon Monoksida

SIFAT	KATERANGAN
Rumus Molekul	CO
Penampakan	Gas Tidak Berwarna
Berat Molekul	28,0101 gram/mol
Densitas	1,145 gram/liter pada 25 ⁰ C, 1 atm
Titik Beku	-205 ⁰ C
Titik Didih	-192 ⁰ C
Kelarutan Dalam Air	0,0026 gram/100mL (20 ⁰ C)
Diameter Molekul	3,76 A

Sumber: Agusta, (2012: 7).

CO yang terdapat di alam terbentuk salah satu dari tiga proses. Pertama, pembakaran tidak sempurna terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon. Kedua, reaksi antara karbon dioksida (CO₂) dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Ketiga, CO₂ terurai menjadi CO dan O pada suhu tinggi (Agusta, 2012: 7). Sumber gas CO yang dapat dijumpai di

lingkungan sekitar adalah berasal dari kompor minyak tanah, kompor gas, pemanas air, perapian, pemanas ruangan dan kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor merupakan penyebab utama dari terjadinya keracunan akibat menghirup gas karbon monoksida yang berlebihan.

Gas karbon monoksida dapat menyebabkan keracunan bahkan kematian karena dapat mengikat *hemoglobin* sehingga menghambat proses pengangkutan oksigen ke dalam jaringan tubuh. Menurut Goldstein, dkk (2008: 538) efek yang terjadi berbeda-beda tergantung dari konsumsi karbon monoksida yang terhirup seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Konsentrasi karbon monoksida dan waktu paparan

Konsentrasi CO	Tingkat COHb	Dampak
35 ppm	<10%	Dalam 6-8 jam pusing dan kepala sakit
100 ppm	>10%	Dalam 2-3 jam kepala sakit
200 ppm	20%	Dalam 2-3 jam kepala sakit dan hilang keseimbangan
400 ppm	25%	Dalam 1-2 jam sakit kepala hebat
800 ppm	30%	Dalam 45 menit pusing, mual
1600 ppm	40%	Dalam 20 menit pusing, sakit kepala, mual, dan 2 jam meninggal
3200 ppm	50%	Dalam 5-10 menit pusing, kepala sakit, mual, dan 30 menit meninggal
6400 ppm	60%	Dalam 1-2 menit pusing kepala sakit, 20 menit sesak nafas, meninggal
12800 ppm	>70%	< 3 menit meninggal

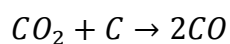
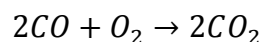
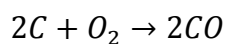
Sumber: Goldstein, dkk (2008: 539).

Bahan bakar yang sering digunakan pada mesin sepeda motor adalah C_8H_{18} . Dimana apabila melakukan pembakaran secara sempurna akan menghasilkan 1 mol bahan bakar. Selama melakukan pembakaran, senyawa hidrokarbon akan

terurai menjadi hidrogen dan karbon yang bereaksi dengan oksigen membentuk CO₂ dan H₂O (Aditya, 2012: 17).

Komposisi campuran bahan bakar dan udara dimana $\alpha > 1$, maka akan terjadi kekurangan O₂ untuk proses pembakaran. Menyebabkan reaksi berlangsung tidak sempurna. Akibat kekurangan ini, akan terbentuk gas CO dan sisa gas H₂ dan hidrokarbon HC yang belum sempat terbakar (Aditya, 2012: 17).

Reaksi tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan reaksi sebagai berikut:

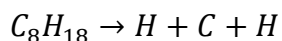


Sedangkan reaksi pembakaran yang menghasilkan panas dengan suhu tinggi akan membantu terjadinya disosiasi gas CO₂ menjadi CO (Verlina, 2014: 20).

2.2.5 Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon (HC) adalah sisa bensin yang terbang bersama asap knalpot (Seprihadaniansyah, dkk. 2018: 13). Hidrokarbon dihasilkan dari aktifitas manusia yang terbanyak berasal dari transportasi, sumber lainnya adalah dari pembakaran gas, minyak, arang kayu, proses-proses industri, pembuangan sampah, kebakaran hutan atau ladang, evaporasi pelarut organik, dan lain sebagainya. Penyebab utama yang mempengaruhi tingginya HC dalam gas buang adalah rasio campuran udara dan bahan bakar. Menurut Purnomo, (2014: 2) sumber emisi HC dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu bahan bakar yang tidak

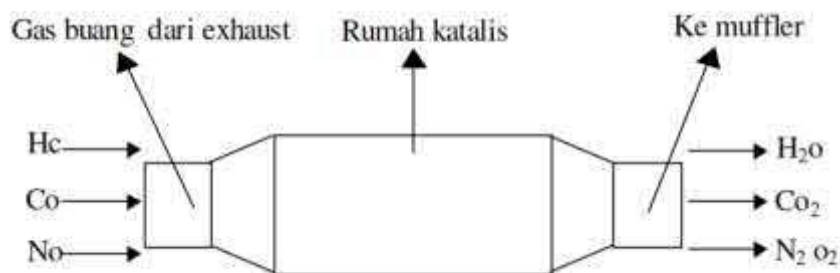
terbakar dan keluar menjadi gas mentah serta bahan bakar terpecah karena reaksi panas berubah menjadi gugusan HC lain yang keluar bersama gas buang:



Terbentuknya gas HC disebabkan karena terdapatnya dinding-dinding ruang bakar bertemperatur rendah, dimana temperatur itu tidak mampu melakukan pembakaran, terjadinya *missing (missfire)*, dan adanya *overlapping* katup (kedua katup bersama-sama terbuka) sehingga merupakan gas pembilas/pembersih.

2.2.6 Catalytic Converter

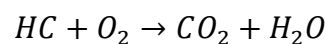
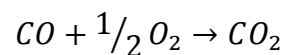
Catalytic converter merupakan salah satu alat dimana untuk mempercepat terjadinya proses pembakaran sisa-sisa gas HC, CO, dan NO_x yang masih terdapat pada gas buang kendaraan bermotor akibat dari pembakaran yang tidak sempurna. Emisi gas buang sewaktu melewati *catalytic converter* gas tersebut akan mengalami proses kimia secara oksidasi dan reduksi akibat adanya penambahan oksigen dan temperatur tinggi, proses pembakaran sisa gas buang sewaktu melewati katalisator, yang semula berbahaya berupa HC, CO dan NO_x akan berubah menjadi senyawa yang stabil berupa CO₂, senyawa air H₂O, senyawa N₂, dan O₂ Gates, (1992) dalam (Mokhtar, dkk., 2017: 2).



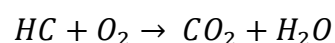
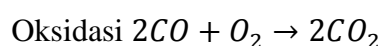
Gambar 5. Skema Konstruksi *Catalytic Converter* (Mokhtar, dkk., 2017: 3)

Reaksi reduksi *catalytic converter* pada prinsipnya adalah untuk meningkatkan tempat penggiatan molekul NO, seperti nikel atau tembaga di dalam CO (tetapi tanpa O₂ yang mana akan menyebabkan oksidasi), untuk membentuk N₂ dan CO₂.

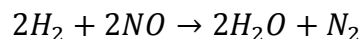
Catalytic converter berfungsi untuk mempercepat oksidasi emisi gas HC dan CO. Tujuan pemasangan *Catalytic converter* adalah merubah polutan-polutan yang berbahaya menjadi gas yang tidak berbahaya seperti karbon dioksida (CO₂), dan uap air (H₂O) melalui reaksi kimia (Twiggg, 2006). Pengkonversian polutan-polutan berbahaya tersebut tergambar pada reaksi sebagai berikut:



Catalytic converter terdiri atas bahan-bahan yang bersifat katalis yaitu bahan yang dapat mempercepat terjadinya reaksi kimia yang tidak mempengaruhi keadaan akhir kesetimbangan reaksi dan komposisi kimia katalis (Rataningrum, 2016: 9). Katalis dapat juga sebagai zat pengikat. Contoh katalis yang dapat mengikat logam adalah platinum (Pt), kromium (Cr), Kuningan (CuZn), Nikel (Ni) dan baru-baru ini dikembangkan keramik yang dipadukan dengan logam dan zat adsorpsi. Permukaan bahan katalis ini memiliki kemampuan mengikat zat yang akan bereaksi sehingga terbentuk spesi yang reaktif. Bahan-bahan logam katalis tersebut sudah diterapkan pada *catalytic* model TWCs (*Three-way Catalysis*) dimana menurut Kaspar, dkk. (2003: 420) reaksi *catalytic converter* tipe TWCs sebagai berikut:



Reduksi Nitrogen Oksida $2CO + 2NO \rightarrow CO_2 + N_2$



Reaksi oksida karbon monoksida $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$

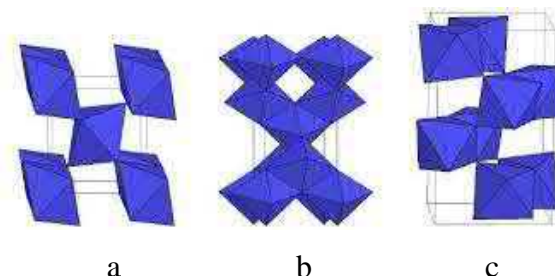
Reaksi oksida hidrokarbon $HC + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$

2.2.7 TiO₂

TiO₂ merupakan salah satu jenis oksida logam yang merupakan katalis semikonduktor pada proses fotokatalis. TiO₂ memegang peran yang sangat utama dalam proses fotokatalis dikarenakan mempunyai kelebihan sifat-sifat kimia fisiknya seperti aktivitas fotokatalisnya yang tinggi, stabil, dan tidak beracun. Berbeda dengan semikonduktor lainnya seperti ZnO yang aktivitasnya berkurang seiring waktu akibat proses korosi, Cds yang beracun, ataupun Fe₂O₃ yang daya oksidasinya lemah (Hasibuan, 2012: 19).

TiO₂ mempunyai tiga jenis bentuk kristal diantaranya rutil (tetragonal), anatas (tetragonal), brukit (ortorombik). Diantara ketiganya, TiO₂ kebanyakan berada dalam bentuk rutil dan anatas yang keduanya mempunyai struktur tetragonal. Secara termodinamik kristal anatas lebih stabil dibanding rutil. Berdasarkan ukurannya, anatas secara termodinamika stabil pada ukuran kristal kurang dari 11 nm, brukit antara 11-35 nm, dan rutil lebih dari 35 nm. Rutil mempunyai stabilitas fase pada temperatur tinggi dan mempunyai *band gap* sebesar 3,0 eV (415nm), sedangkan anatas yang terbentuk pada temperatur rendah

memiliki *band gap* sebesar 3,2 eV (388 nm) (Licciuli dan Lisi, 2002: 12). Bentuk fase TiO₂ rutil, anatas dan brukit dapat dilihat pada Gambar 6.

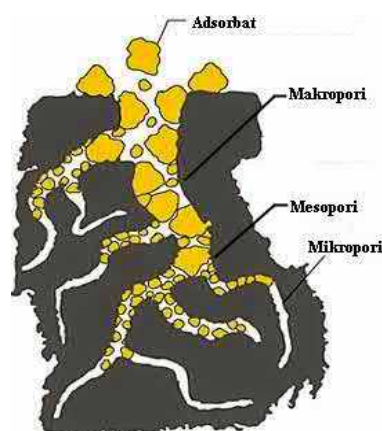


Gambar 6. Struktur kristal TiO₂ a) Rutil; b) Anatase c) Brukit (Subagja, 2017:15)

Partikel TiO₂ telah cukup lama digunakan sebagai fotokatalis pendegradasi berbagai senyawa organik. TiO₂ merupakan semikonduktor yang memiliki fotoaktivitas dan stabilitas kimia tinggi serta tahan terhadap fotokorosi dalam semua kondisi larutan kecuali pada larutan yang sangat asam atau mengandung fluorid. TiO₂ juga bersifat nantoksik, memiliki sifat redoks, yaitu mampu mengoksidasi polutan organik dan mereduksi sejumlah ion logam dalam larutan. Selain murah, TiO₂ tersedia secara komersial dan preparasinya mudah dilakukan di laboratorium. Sifatnya yang anorganik menjadikan tidak mudah cepat rusak, sehingga proses yang diinginkan dapat lebih lama (Brown, dkk., 1992: 432). Senyawa TiO₂ dapat digunakan sebagai katalis emisi gas buang sepeda motor. Seperti yang telah dibuktikan oleh Amin dan Subri, (2016: 29), pembuatan filter gas emisi kendaraan bermotor menggunakan keramik porous yang dicampur dengan 10% TiO₂ dapat menurunkan kadar gas emisi CO sebesar 99,267% pada putaran 200 rpm.

2.2.8 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang sering digunakan dalam proses adsorpsi karena mempunyai daya adsorpsi dan luas permukaan yang lebih baik dibandingkan dengan adsorben lainnya. Karbon aktif merupakan senyawa karbon yang telah ditingkatkan adsorbsinya dengan melakukan proses karbonisasi dan aktivasi. Pada proses tersebut terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas, dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Karbon aktif mengandung ion-ion logam dan molekul-molekul air. Dalam keadaan normal ruang antara lapisan pada karbon aktif terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila karbon aktif dipanaskan sampai suhu 100°C maka molekul-molekul air akan menguap (keluar) sehingga karbon aktif dapat berfungsi sebagai penyerap gas (Nurullita dan Mifbakhuddin, 2015:298). Sifat adsorpsinya yang selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif yaitu 25-100% terhadap berat karbon aktif itu sendiri. Kemampuan adsorpsi pada karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Adsorpsi pada karbon aktif (Riyadh, 2009: 5)

Karbon aktif merupakan adsorben yang memiliki diameter pori-pori yang sangat kecil sehingga dapat menyerap gas lewat pori-pori dan terikat. Permukaan karbon aktif yang semakin luas berdampak pada semakin tingginya daya serap terhadap gas maupun cairan. Daya serap karbon aktif ditentukan dari luas permukaan partikel serta kemampuan adsorpsinya sehingga dapat ditingkatkan melalui aktivasi atau aktivator bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi (Iskandar, 2012: 1).

Karbon aktif merupakan adsorben yang mampu menyerap emisi gas buang dimana gas nantinya akan masuk melewati pori-pori karbon aktif sehingga akan berkontak dengan karbon aktif menyebabkan gas teradsorpsi. Kontaminan gas yang melewati zona adsorpsi mempunyai konsentrasi nol, tetapi karena adanya faktor keseimbangan dan faktor kinetik, beberapa kontaminan gas dengan konsentrasi yang rendah akan lolos.

2.2.9 Gypsum

Gypsum merupakan zat kimia yang mempunyai rumus $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Gypsum mengandung 50% hingga 95% CaSO_4 dan di dalam CaSO_4 alami terdapat 23,5% sulfur dan 29,4% kalsium (Wicaksono, 2018: 23). Gypsum merupakan mineral yang bahan utamanya terdiri dari *hydrated calcium sulfate*. Material gypsum tidak membahayakan bagi kesehatan manusia, sebagai faktanya banyak pengobatan modern dengan gypsum sudah dimulai sejak dulu dimana gypsum digunakan sebagai pengisi pencetakan gigi dalam bidang kedokteran. Gypsum memiliki sifat fisik sebagai berikut:

- 1) Kristal gypsum mudah dibelah.

- 2) Titik didih 162⁰C (kehilangan 2H₂O).
- 3) Kelarutan dalam 100 gr air pada 250⁰C; 0,24 gr.
- 4) Tahan api.

Gypsum merupakan adsorben yang bagus untuk menyerap gas karena memiliki permukaan yang halus dan mempunyai porositas yang tinggi. Menurut Sukardjo, (1990) dalam Agung, dkk (2010: 55), adsorben yang baik ialah yang porositasnya tinggi seperti arang, Pt halus, gypsum, dan silica gel. Permukaan gypsum sangat halus, hingga adsorpsi yang terjadi pada gypsum terjadi di banyak tempat. Permukaan gypsum yang mempunyai permukaan halus dan porositasnya tinggi adalah jenis *gypsite*, sehingga dapat digunakan untuk menyerap gas serta mudah didapat di pasaran dan harga yang ekonomis. Spesifikasi gypsum jenis *gypsite* ada pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Spesifikasi gypsum jenis *gypsite*

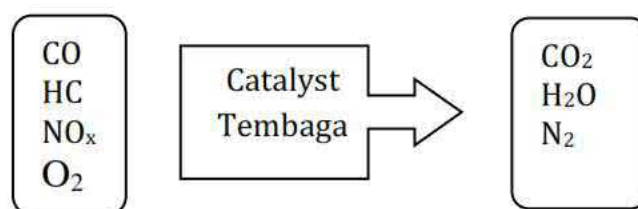
Rumus Kimia	CaSO ₄ .2H ₂ O
Berat Molekul	172,17
Komposisi:	
a. Kalsium	23,28%
b. Hidrogen	2.34%
c. Sulfur	18,62%
d. Oksigen	55,76%
Porositas	0,64
<i>Tortuosity</i>	1
Berat Jenis	2,31-2,35 (gm/cc)(mg/m3)
Kekerasan	1,5-2 (mosh)
Luster/Kilap	Fibrous (tembus pandang dan tembus cahaya)
Sifat	Lunak, pejal, berserat
Warna	Putih, kuning, abu-abu, merah jingga, dan hitam

Sumber: (Agung, dkk., 2010: 55).

2.2.10 Tembaga

Tembaga merupakan katalis oksida karena dapat menurunkan kandungan emisi gas buang CO (karbon monoksida) dan HC (hidro karbon). Tembaga digunakan sebagai katalis karena mampu megoksidasi emisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran di dalam mesin. Menurut G. Svehla (1985: 229) dalam Muhammad, dkk (2018), tembaga adalah logam merah muda yang lunak, dapat ditempa, dan liat. Melebur pada 1038°C . Karena potensial standarnya positif, (+0,34 V untuk pasangan Cu/Cu^{2+}), tidak larut dalam asam klorida dan asam sulfat encer, meskipun dengan adanya oksigen tembaga bisa larut sedikit. Sedangkan menurut pendapat Suhardi, (1998: 47) dalam Muhammad, dkk (2018), tembaga memiliki sifat-sifat antara lain: berat jenisnya 8,9, titik lelehnya sampai 1083°C , mempunyai daya hantar listrik dan panas yang baik, dan tahan pengaruh udara lembab karena melindungi diri dengan karbonat tembaga.

Tembaga digunakan sebagai katalis karena efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi CO ($\text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$) dan pada reaksi HC ($2\text{HC} + 2\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$) seperti pada Gambar



Gambar 8. Pengaruh katalis tembaga terhadap emisi gas buang (Muhammad, dkk., (2018))

Pada reaksi di atas menjelaskan bahwa ketika gas karbon monoksida (CO) melewati katalis tembaga yang beroksidasi, CO mengambil oksigen dari oksida

tembaga sehingga CO bergabung dengan oksigen untuk membentuk karbon dioksida (CO_2), begitu juga dengan gas hidrokarbon (HC) apabila melewati katalis tembaga yang beroksidasi, HC mengambil oksigen dari tembaga sehingga HC bergabung dengan oksigen membentuk air (H_2O) dan karbon dioksida (CO_2).

2.2.11 Pengaruh Katalis Gypsum, Karbon Aktif, TiO_2 , dan Tembaga

Berdasarkan beberapa kajian pustaka dan landasan teori di atas dapat disimpulkan bahwa media *catalytic converter* menyempurnakan penggunaan media *catalytic* yang masih terpisah dengan menggabungkannya dan melakukan penambahan bahan-bahan pilihan yang mempunyai fungsi sebagai penunjang proses kerja *catalytic converter*. Dimana dalam prosesnya gas buang yang keluar dari kendaraan bermotor berupa gas CO dan HC yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna. Penelitian ini membuat *catalytic converter* dari campuran bahan gypsum, karbon aktif, TiO_2 , dan tembaga. Bahan-bahan tersebut saling menyempurnakan baik dari struktur bentuknya hingga penyerapan terhadap gas polutan. Struktur penyusun karbon aktif dan gypsum akan mengadsorpsi emisi gas buang melewati pori-pori yang terbentuk olehnya. TiO_2 akan mempercepat reaksi adsorpsi dari karbon aktif sehingga penyerapan yang terbentuk oleh karbon aktif tersebut akan lebih besar dan penyerapan akan lebih baik. Tembaga akan mengoksidasi gas yang melewati pori-pori *catalytic* sehingga gas yang akan keluar menjadi air (H_2O) dan karbon dioksida (CO_2) yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Semakin merata gas polutan melewati *catalytic converter* maka semakin besar pula gas yang teradsorpsi.

Agar dapat mengetahui kemampuan *catalytic converter* dilakukan pengujian produk yang nantinya dipasangkan pada knalpot yang dibuat. Peneliti melakukan pengujian berupa pemasangan knalpot standar dengan knalpot *catalytic converter*, sehingga hasil pengujian dapat diketahui lebih akurat. *Catalytic converter* yang akan dibuat terdiri dari empat variasi komposisi berupa:

- 1) Menggunakan gypsum 40%, karbon aktif 20%, TiO_2 20%, dan tembaga 20%.
- 2) Menggunakan gypsum 50%, karbon aktif 20%, TiO_2 15%, dan tembaga 15%.
- 3) Menggunakan gypsum 60%, karbon aktif 15%, TiO_2 15%, dan tembaga 10%.
- 4) Menggunakan gypsum 70%, karbon aktif 10%, TiO_2 10%, dan tembaga 10%.

Komposisi penyusunan *catalytic converter* berupa gypsum, karbon aktif, TiO_2 , dan tembaga akan saling melengkapi karena material yang tersusun akan bekerja dengan baik pada suhu tinggi dengan reaksi oksidasi, reduksi, dan penyerapan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa,

3. Pengurangan paling baik dalam menurunkan emisi gas buang CO dan HC pada kendaraan bermotor bermesin bensin pada komposisi gypsum 60%, karbon aktif 15%, TiO₂ 15%, dan tembaga 10%.
4. Hasil paling baik mampu menurunkan kandungan CO dari 3,5625% menjadi 2,36% dengan pengurangan sebesar 1,2025% dan kandungan HC dari 642,5 ppm menjadi 469 ppm dengan pengurangan sebesar 173,5 %.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian terdapat saran-saran sebagai berikut,

1. Kendaraan bermotor bermesin bensin dapat menggunakan *catalytic converter* berbahan gypsum 60%, karbon aktif 15%, TiO₂ 15%, dan tembaga 10%.
2. Penelitian selanjutnya menambah lama waktu pengujian terhadap *catalytic converter* dengan bahan gypsum, karbon aktif, TiO₂, dan tembaga.
3. Penelitian ini menggunakan gypsum, karbon aktif, TiO₂, dan tembaga sebagai media penyerap gas polutan, disarankan untuk melakukan penelitian dengan menggunakan material lainnya yang mempunyai nilai katalis yang tinggi.
4. Penelitian selanjutnya mempertimbangkan pengaruh *catalytic converter* bahan gypsum, karbon aktif, TiO₂, dan tembaga terhadap konsumsi bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, P. 2012. Pengujian Penggunaan Katalisator *Broquet* Terhadap Emisi Gas Buang Mesin Sepeda Motor 4 Langkah. *Skripsi*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Agung, T., E. Agustiana, dan A. Supadmaja. 2010. Penurunan Gas CO pada Sepeda Motor 4 Langkah (Tak) dengan Menggunakan Gypsum. *Jurnal Ilmiah Lingkungan*. Vol. 3(1): 54-63.
- Agusta, D. 2012. Uji Adsorpsi Gas CO pada Asap Kebakaran dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa yang Terimpregnasi TiO₂. *Skripsi*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Amin, M. dan M. Subri. 2016. Uji Performa Filter Gas Emisi Kendaraan Bermotor Berbasis Keramik Porous dengan Aditif Tembaga, TiO₂, dan Karbon Aktif dalam Penurunan Kadar Gas Carbon Monoksida. *Jurnal Mekanika*. Vol. 15(2): 24-30.
- Antoni, D. dan B. R. Wijaya. 2017. Pengaruh Variasi Larutan *Water Injection* pada *Intake Manifold* Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor. *Jurnal Saintekno*. Vol. 15(2): 137-145.
- Badan Pusat Statistik. 2016. *Statistik Transportasi Darat*. November. Jakarta: BPS Statistic Indonesia.
- Basuki, K. 2007. Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ pada Emisi Gas Buang dengan Menggunakan Media Penyerap TiO₂ Lokal pada Karbon Aktif. *Jurnal JFN*. Vol. 1(1): 45-64. ISSN: 1978-8738.
- Boada, M., dan E. B. Caldona . 2017. Gypsum-Reinforced Zeloite Composite for Particulate Matter Reduction from Vehicular Emission. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. JECE 1606.
- Brown, G. N., J.W. Birks dan C. A. Koval. 1992. Development and Chmical Characterization of a Titanium-Dioxide Based Semiconductors Photoelectrochemical Detector. *International Journal Analysis Chenmistry*., Vol. 64: 427-434.
- Budiarto, S. E., dan B. R. Wijaya. 2016. Analisis Penggunaan Katalis Tembaga pada Knalpot Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor Honda Gl-Pro. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Cahyono, A. R. 2015. Studi Perbandingan Unjuk Kerja Mesin Bensin Empat Langkah Satu Silinder Menggunakan Bahan Bakar Bensin dan Gas LPG. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Cholilulloh, M. S., dan Warju. 2014. Pengaruh *Metallic Catalytic Converter* Tembaga Berlapis Krom dan *Air Induction System (AIS)* Terhadap Reduksi Emisi Gas Buang Yamaha New Jupiter MX. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 3(2):104-113.

- Dahlan, M. H., E. J. Pratama, dan M. Odina. 2016. Pengaruh Penggunaan Membran Keramik Berbasis Zeloit dan Gypsum Terhadap Emisi Gas CO, NOx Kendaraan Bermotor. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 22(2): 10-18.
- Dirga, A. 2014. Analisis Kadar Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) dari Kendaraan Bermotor yang melalui Penyerap Karbon Aktif dari Kulit Buah Durian (*Durio Zibethinus*). *Skripsi*. Universitas Hasanuddin, Makassar. Online. Available at <https://core.ac.uk/download/pdf/77619540.pdf> [accessed 10/12/2018].
- Goldstain, M., R. Oak, dan Mich. 2008. Carbon Monoxide Poisoning. *Journal Of Emergency Nursing*. 538-542.
- Guritno, A. 2012. Sintesis dan Uji Kinerja Katalis Komposit Ag/TiO₂-Zeloit Alam Lampung-Karbon Aktif Serta Rekayasa Alat Untuk Purifikasi Udara Ruang. *Skripsi*. Universitas Indonesia.
- Haryanto, D., C. Sudiby, dan Subagsono. 2013. Pengaruh Pemasangan Gypsum pada Knalpot dan Putaran Mesin Terhadap Kadar Emisi Gas Buang CO Pada Motor Yamaha MIO AT Tahun 2010. *Jurnal Nosel*. Vol. 2(2).
- Hasibuan, R. A. 2012. Modifikasi Zeloit Alam dengan TiO₂ untuk Mereduksi Emisi Gas Bang Kendaraan Bermotor. *Skripsi*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Heywood, J. B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York. Meraw Hill.
- Irawan, RM. B., Purwanto, dan Hadiyanto. 2013. Karakteristik Katalis Tembaga pada *Catalytic Converter* untuk Mengurangi Emisi Gas Carbon Monoksida Motor Bensin. *Jurnal Traksi*. Vol. 13(2): 52-62.
- Iskandar. 2012. Analisis Unsur Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Metode Analisis Ultimat (*Ultimate Analysis*). *Tugas Makalah Jurnal*. Universitas Haluoleo, Kendari.
- Kaspar, J., P. Fornasiero, dan N. Hickey. 2003. Automotive Catalytic Converters: Current Status and Some Perspectives. *Catalysis Today*. Nomor 77: 419-449. Italy: Dipartimento di Scienze Chimiche, University of Trieste.
- Koho, Z., S. Muryani, dan N. Sekarwati. 2014. Efektivitas Karbon Aktif dan Kaca Wol Sebagai Adsorben dalam Mengurangi Emisi Karbon Monoksida dan Hidrokarbon Sepeda Motor. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. Vol.07(1): 225-231.
- Lawerissa. Y. J. 2011. Pengaruh Campuran Bahan Bakar Bensin dan Etanol Terhadap Prestasi Mesin Bensin. *Jurnal ARIKA*. Vol. 5(2): 137-146.
- Licciulli, D. A., dan D. Lisi. 2002. *Self-Cleaning Glass*. Universita Degli Studio Di Lecce.
- Maryanto, D., S. A. Mulasari, dan D. Suryani. 2009. Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) dengan Penambahan Arang Aktif pada Kendaraan Bermotor di Yogyakarta. *Jurnal KES MAS*. Vol. 3(3): 162-232.

- Mazlan, M. A. F., Y. Uemura, dan S. Yusup. 2016. Activated Carbon from Rubber Wood Sawdust by Carbon Dioxide Activation. *Procedia Engineering*. 148 (2016) 530-537. University Teknologi PETRONAS. 32610 Seri Iskandar, Malaysia.
- Mokhtar, A., H. Supriyanto, dan F. Yulianto. 2017. *Catalytic Converter* Jenis Katalis Kawat Kuningan Berbentuk Sarang Laba-Laba Untuk Mengurangi Emisi Kendaraan Bermotor. *Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)*. ISSN: 2527-6042.
- Muhammad, M., B. Amin, dan T. Sugiarto. 2018. Pengaruh Penggunaan Katalis Plat Tembaga pada Knalpot Sepeda Motor Terhadap Kandungan Emisi Karbon Monoksida (CO) Dan Hidrokarbon (HC). *Jurnal Teknik Otomotif*. Vol. 1(2).
- Nababan, H. M., H. Ambarita, dan T. B. Sitorus. 2013. Studi Kinerja Mesin Otto Menggunakan Bahan Bakar Bensin dan Etanol 96%. *Jurnal E-Dinamis*. Vol. 4(4): 251-264.
- Nurullita, U., dan Mifbakhuddin. 2015. Adsorpsi Gas Karbon Monoksida (CO) dalam Ruangan Dengan Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Kulit Durian. *The 2nd University Research Coloquium*. ISSN: 240-9189.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup RI Nomor 05. 2006. Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. Jakarta: Kementrian Negara Lingkungan Hidup.
- Pranata, D. R. 2018. Pengaruh Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar 6 Langkah 3 Kali Pengapian. *Skripsi*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Prasad, R., dan P. Singh. 2012. A Review on CO Oxidation Over Copper Chromite Catalyst. *Taylor & Francis*. 54 (2012) 224-279. Department of Chemical Engineering & Technology, Banaras Hindu University, Varanasi, India.
- Purnomo, H. 2014. Analisa Pengaruh Knalpot *Catalytic Converter* dengan Katalis Tembaga (Cu) Berlapis Mangan (Mn) Terhadap Gas Buang pada Honda Supra X 100 CC. *Jurnal Ilmiah*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Purnomo, M. J. 2015. Analisis Bahan Bakar (SFC) Mesin Lycoming O-360-A1AD saat Terbang di Ketinggian 13500 Ft. *Jurnal Angkasa*. Vol. 7(1): 113-126.
- Ratnaningrum. 2016. Studi Kinetika *Metalic Catalytic Converter* Berbahan Logam Paduan CuZn Untuk Mengurangi Emisi Gas Karbonmonoksida dan Hidrokarbon. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Redha, F., R. Junaidy, dan I. Hasmita. 2018. Penyerapan Emisi CO dan NOx Pada Gas Buang Kendaraan Menggunakan Karbon Aktif dari Kulit Cangkang Biji Kopi. *Jurnal BIOPORAL INDUSTRI*. Vol. 9(1): 37-47.

- Riyadh, M. 2009. Analisa Proses Adsorpsi dengan Variasi Bentuk Silika Gel Sebagai Adsorben dan Air Sebagai Adsorbat Untuk Aplikasi Pendingin Alternatif. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Rizal, M. 2013. *Mesin Konversi Energi*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Sanata, A. 2012. Analisis Variasi Temperatur Logam Katalis Tembaga (Cu) pada *Catalytic Converter* untuk Mereduksi Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) Kendaraan Bermotor. *Jurnal ROTOR*. vol. 5(1): 1-7.
- Santos, H., dan M. Costa. 2008. Evaluation of the Conversion Efficiency of Ceramic and Metallic Three Way Catalytic Converters. *Energy Convers Manag* 2008;49: 291-300.
- Seprihadaniansyah, G. M., A. Kuswoyo, dan M. Adriana. 2018. Modifikasi Knalpot Menggunakan Katalitik Konverter dan Arang Akasia Guna Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan. *Jurnal Elemen*. Vol. 5(1): 11-19.
- Setiyono, D. R., dan D. Widjanarko. 2018. Penggunaan Serbuk TiO₂ dan Karbon Aktif sebagai Campuran Bahan *Catalytic Converter* Keramik untuk Mengurangi Polutasi Berbahaya pada Kendaraan Bermesin Bensin. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. Vol. 13(2): 165-173.
- Subagja, D. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Ni-TiO₂ dan NiO-TiO dengan Variasi Temperatur Kalsinasi dan Aktivitasnya dalam Degradasi Metilen Biru. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Sugiyono. 2015. Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D). Cetakan Pertama. Jakarta: ALFABETA Bandung.
- Twigg, M. V. 2006. Roles of Catalytic Oxidation in Control of Vehicle Exhaust Emissions. *Catalysis Today*. 117 (2006) 407-418. Johnson Matthey Catalysts, Royston, Herts, SG8 5HE England, United Kingdom.
- Ulum, B., dan Iskandar. 2014. Unjuk Kemampuan *Metallic Catalytic Converter* Tembaga Berlapis Mangan Terhadap Reduksi Emisi CO dan HC pada Sepeda Motor 4 Langkah. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 3(2): 188-196.
- Utomo, M. P., E. Widjajanti, dan K. S. Budiasih. 2010. Adsorpsi Nitrogen dari Urin dengan Zeloit. *Jurnal Penelitian Sintek*. Vol. 15(1): 20-28.
- Verlina, W. O. V. 2014. Potensi Arang Aktif Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Emisi Gas CO, NO, dan NO_x pada Kendaraan Bermotor. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Wicaksono, A. 2018. Analisis Pengaruh Zeloit dengan Kombinasi Bentonit dan Gypsum Terhadap Nilai Tahanan Pertanahan Sistem *Driven Rod*. *Skripsi*. Sarjana Teknik. Universitas Lampung, Lampung.
- Wicaksono, Y., Arob, dan Warju. 2014. Pengaruh *Catalytic Converter* Titanium Dioksida Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor Honda Supra X 125. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 3(2): 197-206.

- Wijaya, S. A. 2012. Efek Katalisator (MPG-CAPS) Terhadap Daya Torsi Mesin Sepeda Motor 4 Langkah. *Tugas Akhir*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Wulandari, D. A., dan O. Hendriyanto. 2018. Kombinasi Kermik Berpori dengan Katalis TiO₂ untuk Penurunan Gas CO pada Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal ENVIROTEK*. Vol. 9(1).