



**PENGARUH PENGGUNAAN *CATALYTIC
CONVERTER* BERBAHAN *STAINLESS STEEL*
BERLAPIS *CHROME* TERHADAP EMISI GAS
BUANG SEPEDA MOTOR**

Skripsi

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

Oleh

Muchtiar Khoiril Anam

NIM.5202415016

**PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**



**PENGARUH PENGGUNAAN *CATALYTIC
CONVERTER* BERBAHAN *STAINLESS STEEL*
BERLAPIS *CHROME* TERHADAP EMISI GAS
BUANG SEPEDA MOTOR**

Skripsi

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

Oleh

Muchtiar Khoiril Anam

NIM.5202415016

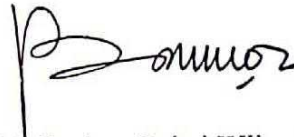
**PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Muchtiar Khoiril Anam
Nim : 5202415016
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif, S1
Judul : PENGARUH PENGGUNAAN *CATALYTIC CONVERTER* BERBAHAN *STAINLESS STEEL* BERLAPIS *CHROME* TERHADAP EMISI GAS BUANG SEPEDA MOTOR

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

Semarang, 8 November 2019
Pembimbing



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

PENGESAHAN

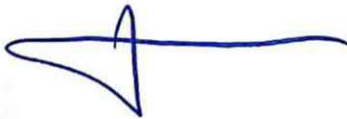
Skripsi dengan judul “Pengaruh Penggunaan *Catalytic Converter* Berbahan *Stainless Steel* Berlapis *Chrome* Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 30 bulan... Desember... tahun... 2019

Oleh:

Nama : Muchtiar Khoiril Anam
NIM : 5202415016
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif

Panitia:

Ketua



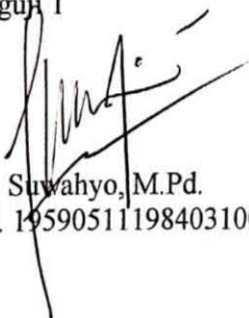
Rusiyanto, S.Pd., MT.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Wahyudi, S.Pd., M.Eng.
NIP. 198003192005011001

Penguji 1



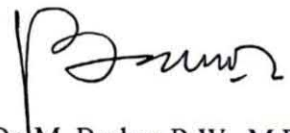
Drs. Suwahyo, M.Pd.
NIP. 195905111984031002

Penguji 2



Adhetya Kurniawan, S.Pd., M.Pd.
NIP. 198505172001041001

Penguji 3/Pembimbing



Dr. M. Burhan R.W., M.Pd.
NIP. 196302131988031001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang



Dr. Nur Oudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

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 arah 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 dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran 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 diperguruan tinggi ini

Semarang, 8 November 2019
Yang membuat pernyataan,



Muchtiar Khoiril Anam
NIM.5202415016

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Pengetahuan adalah senjata paling hebat untuk mengubah dunia”

(Nelson Mandela)

“Anda mungkin bisa menunda, tetapi waktu tidak akan bisa menunggu”

(Benjamin Franklin)

“Pengetahuan akan memberimu kekuatan, tetapi karakter akan memberimu
kehormatan”

PERSEMBAHAN

Bapak Muhammad Sutarwan (Alm)

Ibu Suni

Lukman Maulana Ishaq (Adik)

Teman-teman Pendidikan Teknik Otomotif 2015

Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

RINGKASAN

Anam, Muchtiar Khoiril. 2019. Pengaruh Penggunaan *Catalytic Converter* Berbahan *Stainless Steel* Berlapis *Chrome* Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor. Dr. M. Burhan Rubai Wijaya, M.Pd. Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif.

Penggunaan bahan bakar fosil pada sepeda motor dengan kandungan unsur hidro (H) dan unsur carbon (C) akan berubah menjadi gas CO₂ dan H₂O jika melalui pembakaran yang sempurna. Pada kenyataannya pembakaran secara sempurna tidak bisa didapatkan sehingga menyebabkan pembakaran tidak sempurna dan gas sisa pembakaran menimbulkan emisi gas buang yang memicu pencemaran udara. Gas buang berupa CO, HC, dan NO_x dihasilkan dari proses pembakaran campuran udara dan bahan bakar yang tidak sempurna pada kendaraan bermotor yang dapat menimbulkan pencemaran udara yang berbahaya bagi kesehatan.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh penggunaan *catalytic converter* berbahan *stainless steel* dan *stainless steel* berlapis *chrome* terhadap emisi gas buang CO dan HC. pengujian dilakukan dengan menggunakan 4 variasi perlakuan menggunakan bahan plat *stainless* dan plat *stainless* berlapis *chrome* dengan melakukan kontrol putaran mesin dan jumlah plat yang digunakan sebagai katalis yaitu berjumlah 5 lapis dan 10 lapis.

Hasil penelitian menunjukkan penggunaan bahan *stainless steel* dan *stainless steel* berlapis *chrome* sebagai katalis pada *catalytic converter* cenderung mampu menurunkan emisi gas buang CO dan HC pada sepeda motor. Penurunan emisi gas buang paling baik terdapat pada *catalytic converter* menggunakan bahan *stainless steel* berlapis *chrome* dengan jumlah lapisan sebanyak 10 lapis dengan efisiensi penurunan gas CO sebesar 69,9% dan efisiensi penurunan gas HC sebesar 54,7%. Saran dari penelitian ini adalah Pengendara sepeda motor sebaiknya menggunakan katalis *stainless steel* berlapis *chrome* dengan jumlah katalis sebanyak 10 lapis karena lebih efektif dalam menurunkan emisi gas buang CO dan HC. Perlu adanya perlakuan yang lain dengan menambahkan jumlah lapisan dan variasi jumlah maupun penempatan lubang yang digunakan sebagai katalis.

Kata kunci: Gas buang, *catalytic converter*, *stainless steel*, *stainless steel* berlapis *chrome*

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi/TA yang berjudul **“PENGARUH PENGGUNAAN CATALYTIC CONVERTER BERBAHAN STAINLESS STEEL BERLAPIS CHROME TERHADAP EMISI GAS BUANG SEPEDA MOTOR”** dengan baik.

Dalam penyusunan karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Rusyanto, S.Pd., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
4. Wahyudi, S.Pd., M.Eng., selaku Koordinator Program studi Pendidikan Teknik Otomotif atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
5. Dr. M. Burhan Rubai Wijaya, M.Pd., sebagai Pembimbing I yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya tulis ini.
6. Drs. Suwahyo, M.Pd., selaku Dosen Penguji 1 dan Adhetya Kurniawan, S.Pd., M.Pd., selaku Dosen Penguji 2 yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
7. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin FT. UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
8. Orang tua yang telah memberikan dukungan moral dan material yang membantu terselesaikannya karya tulis ini.

9. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Skripsi/TA ini dapat memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis.

Semarang, 8 November 2019
Penulis



Muchtiar Khoiril Anam
NIM. 5202415016

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
JUDUL DALAM	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iii
PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	6
1.3. Pembatasan Masalah	7
1.4. Rumusan Masalah	7
1.5. Tujuan Penelitian	7
1.6. Manfaat Penelitian	8
BAB II. KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	9
2.1. Kajian Pustaka.....	9
2.2. Landasan Teori	10
2.3. Kerangka Pikir Penelitian	30
2.4. Pertanyaan Penelitian	33
BAB III. METODE PENELITIAN.....	34
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	34
3.2 Desain Penelitian.....	34
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	38
3.4 Parameter Penelitian.....	41
3.5 Teknik Pengumpulan Data	42

3.6 Kalibrasi Instrumen	45
3.7 Teknik Analisis Data	46
BAB IV PEMBAHASAN.....	48
4.1 Hasil Penelitian	48
4.2 Pembahasan	53
4.3 Keterbatasan Penelitian	59
BAB V PENUTUP.....	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Desain <i>Catalytic Converter</i>	26
Gambar 2.2 <i>Cover catalytic converter</i>	27
Gambar 2.3 Tutup <i>cover catalitic converter</i>	28
Gambar 2.4 Dudukan dan katalis <i>catalytic converter</i>	29
Gambar 2.5 Kerangka pikir penelitian	32
Gambar 3.1 Skema peralatan uji	37
Gambar 3.2 Diagram alur penelitian	37
Gambar 4.1 Perbandingan kadar emisi gas buang CO 5 lapis katalis.....	49
Gambar 4.2 Perbandingan kadar emisi gas buang CO 10 lapis katalis.....	49
Gambar 4.3 Perbandingan kadar emisi gas buang HC 5 lapis katalis.....	51
Gambar 4.4 Perbandingan kadar emisi gas buang HC 10 lapis katalis.....	52
Gambar 4.5 Aliran udara <i>catalytic converter</i> 5 katalis	56
Gambar 4.6 Volume kecepatan aliran udara <i>catalytic converter</i> 5 katalis	57
Gambar 4.7 Aliran udara <i>catalytic converter</i> 10 katalis	57
Gambar 4.8 Volume kecepatan aliran udara <i>catalytic converter</i> 10 katalis	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Hasil pengamatan kualitas udara Jalan Protokol Semarang.....	3
Tabel 2.1 Karakteristik katalis <i>catalytic converter</i>	23
Tabel 3.1 Parameter emisi gas buang kendaraan kategori ‘L’	41
Tabel 3.2 Pengujian emisi CO	44
Tabel 3.3 Pengujian emisi HC	45
Tabel 4.1 Hasil pengujian emisi gas buang CO	48
Tabel 4.2 Hasil pengujian emisi gas buang HC	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang tidak lepas akan pengaruh perkembangan teknologi. Pengaruh perkembangan teknologi yang pesat dapat diketahui dari penggunaan teknologi seperti pada bidang industri, otomotif, dan rumah tangga yang inovasinya yang mampu memberikan kemudahan bagi masyarakat dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Bidang otomotif menjadi salah satu perkembangan teknologi yang banyak digunakan oleh masyarakat dalam menunjang aktivitasnya terutama alat transportasi. Sepeda motor merupakan salah satu alat transportasi yang paling umum digunakan oleh masyarakat.

Menurut Badan Pusat Statistik (2016: 24) populasi terbanyak kendaraan bermotor diduduki oleh sepeda motor dengan jumlah 105.150.082 unit, mobil penumpang 14.580.666 unit, mobil barang 7.063.433 unit, dan mobil bus 2.486.898 unit. Menurut data Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (2018) total penjualan sepeda motor dari bulan Januari sampai dengan bulan September sebanyak 4.722.242 unit dengan peningkatan penjualan setiap bulannya. Untuk itu sepeda motor memiliki pengaruh tertinggi terhadap pencemaran udara yang dihasilkan dari emisi gas buang daripada kendaraan lainnya. Penggunaan bahan bakar fosil pada sepeda motor dengan kandungan unsur hidro (H) dan unsur carbon (C) akan berubah menjadi CO₂ dan H₂O jika melalui pembakaran yang sempurna. Pada kenyataannya pembakaran secara sempurna tidak bisa di dapatkan sehingga menyebabkan pembakaran tidak sempurna dan gas sisa pembakaran menimbulkan emisi gas buang yang memicu pencemaran udara.

Pencemaran udara tidak hanya dihasilkan dari aktivitas kendaraan saja, aktivitas lain yang berpotensi menimbulkan pencemaran udara yaitu aktivitas rumah tangga dan industri. Gas buang yang ditimbulkan dari kendaraan bermotor menimbulkan polusi udara sebesar 70% – 80%, sedangkan pencemaran udara akibat industri hanya 20% – 30% (Maryanto, et al., 2009: 198). Hal ini menunjukkan meningkatnya jumlah populasi sepeda motor akan berdampak pada meningkatnya pencemaran udara di lingkungan berasal dari emisi gas buang kendaraan bermotor. Pada saat ini kendaraan bermotor khususnya sepeda motor dijadikan sebagai alasan utama penyebab terjadinya pencemaran lingkungan terutama di daerah perkotaan yang menjadi populasi terbesar beroperasinya kendaraan bermotor. Menurut Kusuma, (2002: 95) gas buang dari hasil proses pembakaran sangat nyata pengaruhnya terhadap pencemaran udara dan lingkungannya.

Gas buang dari sepeda motor roda dua dan kendaraan roda empat mengandung komponen berbahaya seperti CO, HC dan NO_x (Inaguma, et al., 2017: 15). Gas buang berupa CO, HC, dan NO_x dihasilkan dari proses pembakaran campuran udara dan bahan bakar tidak sempurna pada kendaraan bermotor yang dapat menimbulkan pencemaran udara yang berbahaya bagi kesehatan. Udara yang tercemar oleh zat-zat tersebut dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang berbeda tingkatan dan jenisnya, tergantung dari macam, ukuran, dan komposisi kimianya (Ismiyati, et al., 2014: 246).

Tabel 1.1 Hasil pengamatan kualitas udara Jalan Protokol Semarang

Indikator	Hasil Pantau	Baku Mutu	Keterangan
CO	32.240,51	30.000	Nilai lebih dari 100%
NO ₂	148,90	400	Nilai kurang dari 100%
HC	216,36	160	Nilai lebih dari 100%
Kecepatan operasi	38,75		
Kepadatan lalu lintas	0,50		
Nilai spotcheck	70,95		
Pb	0,0	0,013	Nilai kurang dari 100%
RON	86,80	88	Nilai kurang dari 100%
Sulfur	2.332	3500	Nilai kurang dari 100%
Cetane Index	55,08	45	Nilai lebih dari 100%
Destilasi	61	370	Nilai kurang dari 100%

(Menlh.go.id dalam Martuti, 2011: 117)

Menurut data langit biru Kota Semarang menunjukkan bahwa kualitas udara di beberapa indikator melebihi dari ambang batas. Hal ini dilihat dari kandungan gas CO dan HC yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan baku mutunya. Berdasarkan ambang batas kandungan gas CO (30.000) dan HC (160), menunjukkan bahwa kandungan gas CO dan HC melebihi ambang batas yang sudah ditentukan yaitu dengan nilai sebesar (32.240,51) untuk gas CO dan sebesar (216,36) untuk gas HC. Emisi gas buang CO dan HC merupakan penyumbang pencemaran udara paling besar yang berbahaya diantara emisi gas yang lainnya. Menurut Maleiva, et al., (2015: 35) gas CO sangat berpengaruh bagi kesehatan manusia karena bersifat racun terhadap darah, sistem pernapasan, dan saraf. Sementara bahan pencemaran udara seperti NO_x, SO_x, dan H₂S dapat merangsang pernapasan yang mengakibatkan iritasi dan peradangan. (Ismiyati, et al., 2014: 246).

Pengendalian emisi gas buang yang berbahaya pada kendaraan bermotor perlu dilakukan mengingat dampak yang ditimbulkan akibat dari emisi gas buang

yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna dari kendaraan bermotor. Beberapa metode yang bisa dilakukan untuk mengurangi emisi kendaraan adalah dengan melakukan modifikasi mesin, modifikasi sistem bahan bakar kendaraan, modifikasi bahan bakar yang digunakan kendaraan, dan modifikasi saluran buang kendaraan untuk melakukan pembakaran lanjut. Berdasarkan metode tersebut salah satu cara untuk mengurangi konsentrasi emisi gas buang berupa CO dan HC yang dihasilkan dari pembakaran kendaraan bermotor adalah memodifikasi saluran buang kendaraan bermotor dengan menambahkan *catalytic converter*. Menurut Choudhury dan Deo (2014: 19) untuk menemukan konsep kendaraan yang ramah lingkungan dapat menggunakan konsep inovatif menambahkan *catalytic converter*. Menambahkan *catalytic converter* pada saluran gas buang bertujuan mengurangi konsentrasi emisi gas buang yang berbahaya dengan cara mempercepat laju reaksi kimia gas CO menjadi CO₂ serta HC menjadi CO₂ dan H₂O. Menurut Mokhtar dan Wibowo (2015: 1) *catalytic converter* adalah salah satu alat untuk mempercepat terjadinya proses pembakaran sisa-sisa hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NO_x) yang masih terdapat pada gas buang kendaraan. Proses pembakaran yang dimaksud adalah laju reaksi kimia gas buang sehingga membentuk senyawa lain yang tidak membahayakan dan bisa diterima oleh lingkungan tanpa mengakibatkan pencemaran udara. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi kimia antara lain luas penampang dan temperatur. Semakin luas permukaan katalis maka semakin cepat juga laju reaksi kimianya, begitu juga terjadi apabila temperatur yang diterima oleh katalis semakin tinggi maka laju reaksi kimia menjadi lebih cepat.

Beberapa bahan katalis yang diketahui sebagai katalis oksidasi yaitu platinum, plutonium, nikel, mangan, chromium, dan oksidanya, sedangkan logam yang diketahui sebagai katalis reduksi yaitu nikel, tembaga, besi, dan paduannya. (Obert, 1973 dalam Irawan, et al., 2012: 67). Selain itu beberapa logam yang diketahui efektif sebagai bahan katalis oksidasi dan reduksi mulai yang terbesar sampai yang terkecil adalah Pt,Pd,Rh, > Mn,Cu > Ni > Fe > Cr > Zn. (Dowden, 1970 dalam Irawan, et al., 2012: 67). Katalis oksidasi dengan bahan Pt,Pd, dan Rh merupakan golongan dari logam mulia didukung dengan area alumina yang memberikan peningkatan ketahanan terhadap panas pada kondisi campuran kurus (Twigg, 2011: 34). Penelitian ini bertujuan untuk memberikan tambahan *catalytic converter* pada knalpot sepeda motor dengan menggunakan bahan plat *stainless steel* dan *stainless steel* yang dilapisi dengan *chrome* sebagai katalisnya. *Stainless steel* merupakan paduan antara unsur Fe (*steel*) dengan kandungan minimal 10% Cr (*chrome*) yang tahan terhadap korosi dan tahan terhadap panas. Unsur Fe dan Cr merupakan jenis logam yang termasuk dalam kelompok katalis oksidasi pada *catalytic converter* sehingga dapat digunakan untuk menyerap emisi gas buang CO dan HC yang terkandung dalam gas buang sepeda motor. Pelapisan Cr (*chrome*) bersifat menyerap panas sehingga asap panas yang keluar dari *exhaust manifold* akan diserap oleh lapisan Cr (*chrome*) dan dihantarkan ke bahan *stainless steel*. Pelapisan *chrome* berfungsi untuk meningkatkan reaksi oksidasi yang terjadi pada katalis *catalytic converter* sehingga penyerapan emisi gas buang CO dan HC menjadi lebih baik dibandingkan menggunakan katalis oksida tunggal. Dalam penelitian ini gas buang akan langsung mengarah mengenai

katalis plat *stainless steel* yang dilapisi dengan Cr (*chrome*) sehingga akan terjadi reaksi kimia secara oksidasi dan reduksi akibat adanya oksigen dari sisa pembakaran, temperatur yang tinggi, dan proses pembakaran hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO) serta nitrogen oksida (NO_x). Menurut Krisdianto, et al., (2011: 212) hubungan tekanan dan suhu pada volume tetap mengikuti persamaan garis lurus. Pernyataan tersebut dapat diartikan bahwa semakin besar tekanan pada ruang bakar akan menghasilkan temperatur gas buang menjadi semakin tinggi, akibatnya temperatur pada katalis akan semakin tinggi lalu dimanfaatkan untuk proses pembakaran lanjut gas hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), dan nitrogen oksida (NO_x). Hasil dari pembakaran lanjut senyawa hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), dan nitrogen oksida (NO_x) setelah melewati katalis menjadi senyawa air (H₂O), karbon dioksida (CO₂), nitrogen (N₂) dan oksigen (O₂).

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah yaitu sebagai berikut:

- 1.2.1 Penjualan sepeda motor selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya.
- 1.2.2 Peningkatan populasi kendaraan memberi pengaruh terhadap peningkatan pencemaran udara dilingkungan.
- 1.2.3 Kendaraan bermotor umumnya masih menggunakan bahan bakar fosil.
- 1.2.4 Aktivitas transportasi dari proses pembakaran menjadi penyumbang pencemaran udara terbesar.

1.2.5 Emisi gas buang CO dan HC yang dihasilkan kendaraan sampel melebihi ambang batas.

1.2.6 *Catalytic converter* umumnya dibuat menggunakan logam mulia yang mahal dan sulit didapatkan.

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dengan batasan masalah antara lain sebagai berikut :

Pengujian dilakukan hanya untuk mengetahui emisi gas buang HC dan CO menggunakan metode uji *idle*.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, identifikasi masalah serta pembatasan masalah, maka dapat dirumuskan masalahnya sebagai berikut:

1.4.1 Seberapa besar pengaruh penambahan *catalytic converter* berbahan *stainless steel* terhadap emisi gas buang CO dan HC pada sepeda motor?

1.4.2 Seberapa besar pengaruh penambahan *catalytic converter* berbahan *stainless steel* berlapis *chrome* terhadap emisi gas buang CO dan HC pada sepeda motor?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan di atas, maka dapat dirumuskan tujuan penelitian yang dilaksanakan yaitu sebagai berikut:

1.5.1 Untuk mengetahui pengaruh penambahan *catalytic converter* berbahan *stainless steel* terhadap emisi gas buang CO dan HC pada sepeda motor.

1.5.2 Untuk mengetahui pengaruh penambahan *catalytic converter* dengan bahan *stainless steel* berlapis *chrome* terhadap emisi gas buang CO dan HC pada sepeda motor.

1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang akan dicapai diharapkan dapat membawa manfaat teoritis maupun praktis yang baik:

1.6.1 Manfaat Praktis

Manfaat praktis dari penelitian ini adalah menghasilkan produk berupa knalpot dengan penambahan *catalytic converter* menggunakan bahan *stainless steel* dan bahan *stainless steel* berlapis *chrome* untuk mengurangi emisi gas buang sepeda motor.

1.6.2 Manfaat Teoritis

Manfaat teoritis dari penelitian ini adalah:

1.6.2.1 Menambah pengetahuan tentang pengembangan teknologi dalam bidang pengendalian emisi kendaraan.

1.6.2.2 Menambah pengetahuan mengenai pengaruh penambahan *catalytic converter* berbahan *stainless steel* dan *catalytic converter* berbahan *stainless steel* berlapis *chrome* terhadap emisi gas buang kendaraan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Kajian Penelitian Relevan

Penelitian yang relevan dengan penelitian pengaruh penambahan *catalytic converter* berbahan *stainless steel* berlapis *chrome* untuk mengurangi emisi gas buang sepeda motor adalah sebagai berikut :

Penelitian Mokhtar dan Wibowo (2015: 5) dengan judul ”*catalytic converter* jenis katalis *stainless steel* berbentuk sarang laba-laba untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor” didapatkan hasil bahwa *catalytic converter* dengan bahan katalis *stainless steel* berbentuk sarang laba-laba mampu menurunkan emisi yang signifikan dibandingkan dengan model standar tanpa tambahan *catalytic converter*, penurunan emisi paling signifikan terjadi pada CO dan HC masing-masing 26,9% dan 35,2%. Berdasarkan data penelitian tersebut maka pembuatan *catalytic converter* menggunakan bahan katalis kawat *stainless steel* memiliki pengaruh yang lebih terhadap emisi gas buang dibandingkan dengan model standar tanpa *catalytic converter*.

Penelitian Cahyono, et al., (2004: 42) dengan judul “pengaruh katalis tembaga + krom terhadap emisi gas CO, CO₂, dan HC pada kendaraan bermotor” didapatkan hasil bahwa katalis oksida tembaga dilapisi *chrome* mempunyai efektivitas tertinggi pada katalis oksida tembaga dilapisi *chrome* 15 lapis, dengan gas CO dapat diturunkan sebesar 64,05% pada putaran mesin 2000 rpm dan gas HC diturunkan sebesar 49,5% pada putaran mesin 3000 rpm. Pada penelitian ini,

jumlah lapis katalis yang digunakan dalam pengujian divariasikan yaitu 3 lapis, 5 lapis, 7 lapis, 11 lapis, dan 15 lapis. Berdasarkan data hasil penelitian tersebut maka pelapisan *chrome* pada katalis tembaga memiliki pengaruh yang lebih terhadap gas CO dan HC dibandingkan dengan penggunaan *catalytic converter* yang hanya menggunakan katalis tembaga.

Penelitian (Cholilulloh dan Warju, 2014: 107-110) dengan judul “pengaruh *metallic catalytic converter* tembaga berlapis krom dan *air induction system* (AIS) terhadap reduksi emisi gas buang Yamaha New Jupiter MX” didapatkan hasil bahwa pada kondisi putaran *idle*, *catalytic converter* tembaga berlapis krom dan dengan variasi tinggi lekukan katalis 3 mm, 5 mm, 7 mm dan AIS mampu mengurangi emisi CO masing-masing sebesar 33,33%, 27,74%, dan 20,36% sedangkan emisi HC yang dikurangi masing-masing sebesar 29,11%, 20,49% dan 10,53%.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Motor Bakar

Motor bakar merupakan mesin yang merubah energi kalor hasil dari pembakaran menjadi energi mekanik. Motor bakar adalah salah satu jenis dari motor kalor, yaitu mesin yang mengubah energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanis (Simanungkalit dan Sitorus, 2013: 29). Pembakaran pada motor bensin diawali oleh percikan bunga api dari busi yang terjadi beberapa derajat sebelum torak mencapai titik mati atas (Wiratmaja, 2010: 18). Pembakaran bahan bakar pada motor bakar dapat terjadi karena adanya campuran bahan bakar dan udara yang

sudah dikompresikan terkena percikan api dari busi sebelum torak mencapai titik mati atas sehingga mengakibatkan ledakan yang menimbulkan energi mekanik yang mengakibatkan torak terdorong ke bawah menuju titik mati bawah. Proses pembakaran terbagi menjadi beberapa langkah yang saling berhubungan satu dengan yang lain dalam membentuk siklus proses pembakaran pada suatu mesin. Langkah- langkah dalam proses pembakaran adalah sebagai berikut :

2.2.1.1 Langkah Hisap

Langkah hisap merupakan suatu gerak mekanik torak dari titik mati atas menuju titik mati bawah menyebabkan ruang silinder vakum dan campuran bahan bakar dan udara masuk ke ruang silinder karena tekanan udara luar. Pada langkah ini, campuran bahan bakar dan udara akan dihisap ke dalam ruang bakar, katup hisap membuka dan katup buang tertutup (Simanungkalit dan Sitorus, 2013: 31).

2.2.1.2 Langkah Kompresi

Langkah kompresi merupakan gerak mekanik torak dari titik mati bawah menuju titik mati atas. Pada langkah ini, campuran bahan bakar dan udara akan dikompresikan, katup hisap tertutup dan katup buang tertutup (Simanungkalit dan Sitorus, 2013: 31). Langkah kompresi mengakibatkan terjadinya pembakaran bahan bakar karena campuran bahan bakar dan udara yang sudah dikompresikan terkena percikan bunga api dari busi.

2.2.1.3 Langkah Usaha

Langkah usaha merupakan gerak mekanik torak dari titik mati atas menuju titik mati bawah akibat gaya dorong dari ledakan di ruang bakar saat proses pembakaran. Pada langkah ini, mesin menghasilkan tenaga dimana gerak translasi

torak diubah menjadi gerak rotasi oleh poros engkol dan selanjutnya akan menggerakkan kendaraan (Simanungkalit dan Sitorus, 2013: 31).

2.2.1.4 Langkah Buang

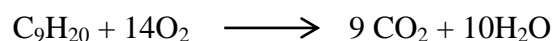
Langkah buang merupakan gerak mekanik torak dari titik mati bawah menuju titik mati atas mendorong gas buang sisa pembakaran keluar dari silinder. Pada langkah ini, gas yang sudah terbakar akan dibuang keluar silinder, katup buang akan membuka sedangkan katup hisap akan tertutup (Simanungkalit dan Sitorus, 2013 : 31).

2.2.2 Reaksi Pembakaran

Raksi pembakaran merupakan reaksi kimia antara unsur-unsur pembentuk bahan bakar dengan oksigen. Oksigen merupakan udara segar yang di dapat dari lingkungan. Udara segar yang masuk ke *intake manifold* tidak hanya berupa oksigen saja, namun juga terdapat unsur lain yaitu nitrogen. Campuran udara dan bahan bakar yang terlalu kurus maupun terlalu kaya dapat mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna. Pembakaran tidak sempurna akan berpotensi terhadap timbulnya emisi gas buang semakin meningkat, sebab pada saat terjadinya reaksi pembakaran terdapat unsur-unsur yang tidak terbakar atau hanya terbakar sebagian. Dalam proses pembakaran selalu dibutuhkan jumlah udara tertentu agar proses pembakaran mendekati ideal. Pada suatu proses pembakaran ideal motor bensin membutuhkan jumlah takaran campuran udara dan bahan bakar yang ideal yaitu 1:14,7. Perbandingan jumlah campuran udara dan bahan bakar disebut juga dengan AFR (*air fuel rasio*).

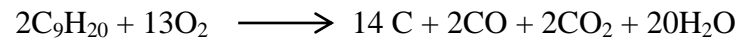
Secara umum proses pembakaran terbagi menjadi 2 yaitu pembakaran sempurna dan pembakaran tidak sempurna. Pembakaran sempurna merupakan pembakaran yang mengakibatkan semua unsur dalam bahan bakar akan terbakar membentuk gas CO₂ dan H₂O sehingga tidak ada lagi bahan bakar yang tersisa (Wiratmaja, 2010: 18). Pembakaran tidak sempurna merupakan pembakaran yang mengakibatkan campuran bahan bakar dan udara tidak terbakar secara seluruhnya yang bisa diakibatkan oleh campuran bahan bakar yang terlalu gemuk maupun terlalu kaya. Penyebab timbulnya emisi gas buang yang tidak diinginkan dapat diakibatkan oleh pembakaran tidak sempurna karena kurangnya kandungan oksigen dalam proses pembakaran (Antoni, et al., 2017: 137). Campuran bahan bakar yang tidak seimbang dan homogen akan menimbulkan pembakaran yang tidak sempurna sehingga menjadi penyebab timbulnya emisi gas buang seperti CO dan HC (Fatkhuniam, et al., 2018:131). Campuran bahan bakar yang terlalu gemuk akan mengakibatkan meningkatnya kandungan gas CO dan HC pada gas buang, sedangkan campuran bahan bakar dan udara yang terlalu kurus akan meningkatkan kandungan gas NO_x pada gas buang.

Reaksi pembakaran sempurna yang terjadi pada bahan bakar bensin (pertamax) adalah sebagai berikut :



Reaksi pembakaran sempurna terjadi apabila unsur-unsur dalam bahan bakar bereaksi dengan sempurna dengan oksigen maka unsur C pada bahan bakar akan menjadi senyawa CO₂, unsur H pada bahan bakar akan menjadi H₂O.

Reaksi pembakaran tidak sempurna yang terjadi pada bahan bakar bensin (pertamax) adalah sebagai berikut:



2.2.3 Emisi Gas Buang

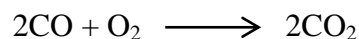
Emisi gas buang merupakan polusi yang mencemari udara hasil proses pembakaran dari kendaraan bermotor. Menurut Ellyanie (2011: 438) emisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar dan udara terdiri dari komponen gas yang sebagian besar merupakan polusi bagi lingkungan hidup. Emisi gas buang kendaraan bermotor dihasilkan dari pembakaran campuran bahan bakar yang tidak sempurna sehingga mengakibatkan timbulnya gas berbahaya seperti CO, HC, dan NO_x serta mengakibatkan gangguan kesehatan. Menurut Kusuma, (2002: 96) polutan-polutan dari gas buang yang mengganggu kesehatan adalah CO, HC, dan NO_x. Besarnya kandungan emisi gas buang dipengaruhi oleh campuran bahan bakar dan udara. Apabila campuran bahan bakar dan udara terlalu gemuk maka akibatnya kandungan gas CO dan HC meningkat dan kadungan gas NO_x turun. Namun jika campuran bahan bakar dan udara terlalu kurus maka akibatnya adalah kandungan gas NO_x meningkat serta kandungan gas CO dan HC turun.

2.2.3.1 Karbon monoksida (CO)

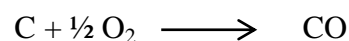
Gas karbon monoksida (CO) merupakan salah satu gas berbahaya akibat dari pembakaran campuran bahan bakar dan udara yang tidak sempurna. Gas karbon monoksida (CO) memiliki karakteristik tidak berbau, tidak berwarna, tidak memiliki rasa dan sukar larut dalam air. Karbon monoksida (CO) merupakan

polutan berbahaya jika melebihi ambang batas yang sudah ditentukan, apabila terhisap ke paru-paru akan ikut masuk ke dalam peredaran darah sehingga menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan oleh tubuh (Ellyanie, 2011: 438). Menurut Mokhtar dan Wibowo (2015: 2) karbon monoksida sebanyak 0,03% sudah merupakan racun yang berbahaya bagi manusia.

Banyaknya kandungan gas CO dipengaruhi oleh jumlah kandungan udara pada campuran bahan bakar dan udara. Menurut Cahyono, et al., (2004: 38) gas CO dihasilkan oleh pembakaran yang tidak sempurna karena kekurangan oksigen (misalnya disebabkan oleh campuran yang terlalu gemuk). Secara teori kandungan gas CO akan semakin kecil apabila jumlah kandungan udara pada campuran bahan bakar dan udara semakin banyak (campuran kurus). Namun pada kenyataannya campuran bahan bakar dan udara yang terlalu kurus juga dapat menimbulkan gas CO. Pada saat oksidasi, CO akan berubah menjadi CO₂ akan tetapi reaksi ini lambat dan tidak merubah seluruh sisa CO menjadi CO₂, akibatnya campuran yang kurus sekalipun masih menghasilkan CO (Cahyono, et al., 2004: 38). Bahan bakar mengandung senyawa karbon, sehingga apabila karbon dalam bahan bakar dapat terbakar habis dengan sempurna maka akan terjadi reaksi sebagai berikut :



Dalam proses reaksi tersebut dihasilkan CO₂, namun jika unsur O pada reaksi tersebut tidak cukup akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna, sehingga akan terbentuk CO dengan reaksi sebagai berikut :



2.2.3.2 Hidrokarbon (HC)

Gas HC merupakan emisi gas buang dari kendaraan ditimbulkan oleh pembakaran campuran bahan bakar dan udara yang tidak sempurna. Hidrokarbon (HC) tersusun dari ikatan kimia antara unsur C (karbon) dengan unsur H (hidrogen). Penyebab utama yang mempengaruhi tingginya HC dalam gas buang campuran bahan bakar yang terlalu gemuk. Bila campuran terlalu gemuk maka akan semakin tinggi konsentrasi HC, hal ini disebabkan oleh kurangnya oksigen untuk membakar bahan bakar sehingga terdapat sisa hidrokarbon (Mokhtar dan Wibowo, 2015: 2). Campuran yang terlalu gemuk mengakibatkan dinding silinder memiliki temperatur yang lebih kecil dari temperatur pembakaran, sehingga kalor dari campuran bahan bakar akan terserap. Hal ini mengakibatkan kandungan bahan bakar keluar dalam bentuk gas HC saat katup *exhaust* terbuka.

2.2.3.3 Nitrogen Oksida (NO_x)

Nitrogen Oksida (NO_x) merupakan emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna dari campuran bahan bakar dan udara. Timbulnya NO_x dapat diakibatkan karena campuran bahan bakar dan udara yang terlalu kurus. Campuran bahan bakar dan udara yang terlalu kurus mengakibatkan tingginya kadar oksigen dalam silinder yang mengakibatkan terjadinya kenaikan temperatur dalam silinder, kenaikan temperatur yang berlebihan ini dapat menimbulkan terbentuknya gas NO_x pada gas buang kendaraan.

2.2.4 Knalpot

Knalpot merupakan suatu komponen bagian dari sistem pembuangan pada kendaraan berupa saluran gas buang yang berfungsi sebagai peredam suara

ledakan hasil pembakaran di ruang bakar dan mengalirkan gas buang sisa hasil pembakaran ke lingkungan. Knalpot memiliki dua komponen utama yaitu *header* dan *muffler*. *Header* merupakan komponen pada knalpot yang menghubungkan antara saluran buang dengan knalpot. *Muffler* merupakan komponen yang terletak di dalam knalpot dan berfungsi sebagai peredam suara hasil pembakaran di ruang bakar.

Berdasarkan jenisnya, knalpot terbagi menjadi 2 yaitu knalpot *free flow* dan knalpot *chamber*. Knalpot *free flow* merupakan jenis knalpot dengan aliran gas langsung menuju ke lingkungan, sebab di dalam knalpot tidak terdapat sekat yang menghalangi aliran udaranya yang mengakibatkan hembusan gas yang keluar menjadi lebih kencang dan menimbulkan kebisingan. Knalpot *free flow* akan lebih bertenaga jika digunakan pada putaran tinggi namun kurang baik jika digunakan pada putaran rendah, selain itu konsumsi bahan bakarnya juga menjadi lebih banyak. Knalpot *chamber* merupakan jenis knalpot yang menggunakan sekat untuk meredam suara, sehingga hembusan gas ke knalpot akan terhalang oleh sekat-sekat yang mengakibatkan suara menjadi teredam dan tidak menimbulkan kebisingan. Knalpot *chamber* akan terasa lebih bertenaga ketika digunakan pada putaran rendah dan kurang baik apabila digunakan pada putaran tinggi, selain itu dengan menggunakan knalpot ini konsumsi bahan bakarnya akan menjadi lebih sedikit.

2.2.5 Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang mempengaruhi kecepatan reaksi tetapi tidak dikonsumsi dalam reaksi dan tidak mempengaruhi kesetimbangan kimia

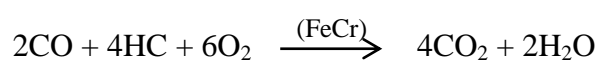
pada akhir reaksi (Irawan dan Subri, 2005: 92). Katalis tidak mempengaruhi kesetimbangan, tidak memulai suatu reaksi tetapi hanya mempengaruhi laju reaksi dan bekerja secara spesifik (Kasmadi dan Luhbandjono 2014: 38). Reaksi kimia yang terjadi pada katalis umumnya terjadi setelah zat-zat sisa hasil pembakaran melewati katalis sehingga akan terbentuk zat-zat baru yang lebih baik. Katalis terbagi menjadi dua yaitu katalis oksidasi dan katalis reduksi. Katalis oksidasi merupakan katalis yang dapat melakukan pengikatan oksigen pada saat terjadi reaksi oksidasi katalis yang nantinya digunakan untuk menurunkan kadar kandungan gas CO dan HC pada emisi gas buang. Katalis reduksi merupakan katalis yang dapat melepaskan oksigen sehingga akan terjadi pengurangan oksigen saat terjadi reaksi reduksi pada katalis yang nantinya digunakan untuk menurunkan kadar kandungan NO_x pada emisi gas buang.

Bahan-bahan yang digunakan sebagai katalis adalah logam-logam mulia antara lain Platinum, Rhodium, dan Palladium, namun karena jumlahnya terbatas maka penggunaannya dibatasi (Irawan dan Subri, 2005: 92). Selain logam mulia tersebut masih banyak logam lain yang dapat digunakan sebagai katalis misalnya tembaga, nikel, aluminium, besi, *stainless steel*, dan chromium. Menurut Wicaksono dan Warju (2014: 198) umumnya penelitian-penelitian di perguruan tinggi menggunakan bahan-bahan logam transisi antara lain tembaga, kuningan, dan *stainless steel*, bahan-bahan ini dilapisi bahan logam lainnya seperti nikel dan krom.

2.2.5.1 *Stainless Steel*

Stainless steel merupakan dengan paduan antara unsur Fe (besi) dan Cr (*chrome*) minimal 10% yang tahan terhadap korosi dan tahan terhadap panas. Meskipun kategori *stainless steel* didasarkan pada kandungan perpaduan *chrome* namun terdapat unsur lain yang ditambahkan untuk memperbaiki sifat dari *stainless steel* sesuai dengan penggunaannya. *Stainless steel* terbagi menjadi lima golongan yaitu *martensitic*, *ferritic*, *austenitic*, *duplex*, dan *precipitation* yang terbagi berdasarkan pada kandungan unsur Cr sebagai paduan dari unsur logam Fe. *Stainless steel* jenis *martensitic* merupakan *stainless steel* dengan paduan 1% *chrome* dan 35% *carbon*. *Stainless steel* jenis *ferritic* merupakan perpaduan antara besi dan *chrome* dengan kandungan *chrome* 10,5%-18%. *Stainless steel* jenis *austenitic* merupakan *stainless steel* dengan kandungan 18% *chrome* dan 8% *nikel*. *Stainless steel* jenis *duplex* merupakan *stainless steel* yang memiliki *grade* diatas *stainless steel* jenis *ferritic* dan dibawah *stainless steel austenitic*. *Stainless steel* jenis *precipitation* merupakan *stainless steel* yang memiliki kandungan 17% *chrome*, 4% *nikel*, 4% *tembaga*, dan 0,3% *niobium*. Semakin tinggi kandungan *chrome* yang terdapat pada *stainless steel* maka semakin tinggi pula kemampuan bertahan dalam proses oksidasi. Unsur Fe dan Cr yang terkandung dalam *stainless steel* memiliki sifat tahan terhadap panas dan temperatur yang ekstrim. Diantara bahan katalis yang dapat digunakan sebagai bahan *catalytic converter*, logam Fe (besi) dan Cr (kromium) merupakan jenis logam yang diketahui efektif digunakan sebagai bahan katalis oksidasi *catalytic converter*. Berdasarkan kandungan pada setiap jenisnya, *stainless steel* memiliki kemampuan sebagai katalis reduksi

namun tidak memiliki pengaruh besar, hal ini dikarenakan perpaduan logam yang terkandung di dalam *stainless steel* tersebut. Katalis oksidasi berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi dengan cara mengikat oksigen hasil dari pembakaran tidak sempurna oleh mesin dengan cara melakukan pembakaran lanjut. Reaksi oksidasi yang terjadi pada bahan katalis *stainless steel* akan berpengaruh terhadap penurunan kandungan emisi gas buang CO dan HC yang dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna. Katalis *catalytic converter* dari bahan *stainless steel* di buat dalam bentuk plat serta memiliki lubang pada permukaan katalis. Katalis *stainless steel* dibuat dalam bentuk plat dengan tujuan untuk meningkatkan reaksi oksidasi yang terjadi pada katalis, sebab luas permukaan katalis dapat mempengaruhi laju reaksi yang terjadi pada katalis. Pembuatan lubang pada katalis memungkinkan gas buang yang keluar dari *exhaust manifold* akan mengalami tumbukan setelah melewati katalis *stainless steel* yang dibuat dalam bentuk berlapis, tumbukan gas ini bertujuan untuk meningkatkan reaksi kimia yang terjadi pada katalis *stainless steel* sehingga reaksi oksidasi yang terjadi pada katalis menjadi lebih baik karena aliran gas buang akan terhambat. Aliran gas yang terhambat karena tumbukan karena terjadinya tumbukan akan meningkatkan reaksi oksidasi pada katalis yang berakibat pada menurunnya kandungan gas CO dan HC karena telah teroksidasi oleh katalis *stainless steel*. Reaksi yang terjadi pada *stainless steel* yang berperan sebagai katalis adalah sebagai berikut:

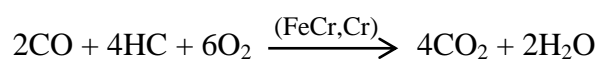


2.2.5.2 *Stainless Steel* Berlapis *Chrome*

Chrome merupakan logam yang biasanya dicairkan untuk digunakan sebagai pelapisan untuk melindungi logam lainnya maupun untuk menambahkan nilai dekoratif dari suatu komponen. Pelapisan logam merupakan salah satu rekayasa dalam menciptakan dan memvariasikan serta merubah sifat fisik dan mekanik pada permukaan logam. (Niam, et al., 2017: 7).

Pelapisan *chrome* pada permukaan komponen-komponen kendaraan biasanya sering dilakukan untuk menambah nilai dekoratif komponen tersebut serta untuk menghambat laju korosi dari komponen kendaraan yang dilapisi dengan *chrome*. Pelapisan *chrome* biasanya sering dilakukan dengan menggunakan metode *electroplating*. *Electroplating* merupakan suatu proses pelapisan pada permukaan logam dengan bahan pelapis yang dimasukkan pada larutan elektrolit kemudian dialiri arus listrik. Proses *electroplating* merupakan salah satu cara pelapisan substrat yang berlangsung dalam larutan elektrolit dengan substrat sebagai katoda dan bahan pelapis sebagai anoda kemudian dialiri arus listrik secara DC (Sunardi, et al., 2015: 161). Pelapisan *chrome* pada permukaan *stainless steel* bertujuan untuk meningkatkan kerja katalis pada saat terjadi reaksi oksidasi pada *catalytic converter*. Hal ini dikarenakan pelapisan *chrome* mengakibatkan katalis akan memiliki temperatur kerja yang lebih rendah sehingga reaksi oksidasi yang terjadi pada katalis akan lebih baik. Menurut Cahyono, et al., (2004: 40) penggunaan campuran oksida pada katalis campuran oksida logam mempunyai temperatur kerja yang lebih rendah dibandingkan dengan oksida tunggalnya. Campuran katalis oksida yang dimaksud adalah

pelapisan *chrome* dan oksida tunggal yang dimaksud adalah katalis tembaga. Berdasarkan pernyataan tersebut dapat disimpulkan pelapisan *chrome* pada katalis tembaga dapat melakukan reaksi oksidasi lebih baik dibandingkan dengan reaksi oksidasi yang terjadi pada katalis tembaga. Efisiensi penurunan kadar gas CO bila menggunakan katalis oksida tembaga sebesar 28,68% dan sebesar 55,67% bila menggunakan katalis campuran tembaga dengan pelapisan *chrome* (Cahyono, et al., 2004: 40).



2.2.5.3 Karakteristik Katalis *Catalytic Converter*

Tabel 2.1 Karakteristik katalis *catalytic converter*

No	Indikator Katalis	<i>Stainless Steel</i>	<i>Stainless steel Berlapis Chrome</i>	Keterangan
1	Jenis katalis	Oksidasi	Oksidasi	Berdasarkan jenis penyusun logamnya <i>Stainless steel</i> dan <i>stainlees steel</i> berlapis <i>chrome</i> merupakan Jenis katalis oksidasi
2	Ketahanan terhadap korosi akibat gas buang (sifat kimia)	Tahan terhadap korosi	Tahan terhadap korosi	Akan tetapi <i>stainless steel</i> lebih mudah terbentuk karat karena gas buang kendaraan yang merusak <i>protective layer</i> pada <i>stainless steel</i> karena kandungan yang ada di dalam <i>stainless steel</i> berperan menjadi <i>protective layer</i> terhadap karat
3	Sifat fisika	Tahan terhadap panas, tetapi tidak tahan terhadap gas sisa	Tahan terhadap panas, tahan terhadap gas sisa pembakaran, tidak tahan	<i>Stainless steel</i> berlapis <i>chrome</i> memiliki sifat lebih baik terhadap sisa gas buang sehingga proses

		pembakaran	terhadap api	oksidasi gas buang menjadi lebih baik karena gas buang tidak sampai menimbulkan api yang mampu merusak struktur lapisan <i>chrome</i>
4	Reaksi oksidasi	Dapat terjadi reaksi oksidasi	Dapat terjadi reaksi oksidasi	Dapat terjadi reaksi oksidasi
5	Reaksi reduksi	Tidak bisa pada suhu rendah	Tidak bisa karena dapat merusak lapisan <i>chrome</i>	Tidak dapat melakukan reaksi oksidasi
6	Reaksi terhadap zat pengotor sisa gas buang	Masih dapat bereaksi akibat adanya kandungan gas buang kendaraan walaupun memiliki kemampuan bersih diri	Tidak bereaksi dengan zat pengotor, akan tetapi tidak tahan terhadap api karena memiliki sifat mudah terbakar	<i>Stainless steel</i> berlapis <i>chrome</i> memiliki sifat oksidasi yang lebih baik pada temperatur gas rendah untuk menurunkan emisi gas CO dan HC
7	Oksidasi gas CO	Dapat mengoksidasi gas CO	Dapat mengoksidasi gas CO	Dapat mengoksidasi gas CO, akan tetapi pada bahan <i>stainless steel berlapis chrome</i> dapat mengoksidasi lebih baik sebab gas langsung mengenai lapisan <i>chrome</i> yang dapat lebih cepat bereaksi terhadap oksigen dibandingkan dengan <i>stainless steel</i>
8	Oksidasi gas HC	Dapat mengoksidasi gas HC	Dapat mengoksidasi gas CO	Dapat mengoksidasi gas CO, akan tetapi pada bahan <i>stainless steel berlapis chrome</i> dapat mengoksidasi lebih baik sebab gas langsung mengenai lapisan <i>chrome</i> yang dapat lebih cepat bereaksi terhadap

				oksigen dibandingkan dengan <i>stainless steel</i>
9	Reduksi gas NO _x	Tidak dapat terjadi reaksi reduksi terhadap gas NO _x pada temperatur rendah	Tidak dapat terjadi reaksi reduksi terhadap gas NO _x	Berdasarkan struktur susunan logamnya, katalis <i>stainless steel</i> dapat terjadi reaksi reduksi NO _x akan tetapi terjadi pada temperatur tinggi.

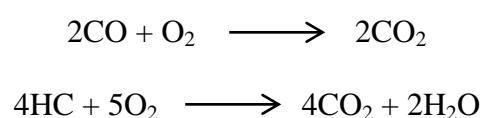
Berdasarkan indikator yang terdapat pada tabel, katalis *stainless steel* dan katalis *stainless steel* berlapis *chrome* hampir semuanya sama sebab struktur penyusun logamnya sama yaitu paduan antara Fe-Cr. Namun terdapat sedikit perbedaan yang membuat katalis *stainless steel* berlapis *chrome* lebih baik dalam proses oksidasi emisi gas CO dan HC daripada katalis *stainless steel* tanpa adanya pelapisan *chrome*. Pada pengujian putaran *idle* maka temperatur yang dihasilkan rendah hal ini mengakibatkan katalis *stainless steel* berlapis *chrome* akan lebih efektif bekerja untuk terjadi reaksi oksidasi pada katalis karena suhu kerja pada katalis berlapis *chrome* akan lebih rendah daripada suhu kerjanya logam tunggalnya. Penggunaan campuran oksida pada katalis campuran oksida logam mempunyai temperatur kerja yang lebih rendah dibandingkan dengan oksida tunggalnya (Cahyono, et al., 2004: 40). Hal ini membuktikan secara teori bahwa untuk proses oksidasi dengan tujuan menurunkan kandungan emisi gas CO dan HC yang terdapat pada gas buang kendaraan katalis dengan bahan *stainless steel* berlapis *chrome* lebih baik daripada katalis *stainless steel* tanpa pelapisan *chrome*.

2.2.6 Catalytic Converter

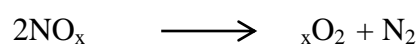
Catalytic converter adalah suatu alat yang digunakan untuk mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan kendaraan dengan melakukan pembakaran lanjut

melalui reaksi kimia pada katalis. *Catalytic converter* merupakan suatu alat yang digunakan untuk untuk mengurangi emisi gas buang dari pembakaran dalam kendaraan bermotor menggunakan dua katalis kerja yaitu katalis reduksi dan katalis oksidasi (Makwana, et al., (2013: 10). *Catalytic converter* merupakan alat pengontrol emisi untuk mengkonversi gas dan polutan beracun dalam gas buang dengan megkatalisasi reaksi oksidasi dan reaksi reduksi (Katara, 2015: 30). *Catalytic converter* bekerja dengan melakukan reaksi reduksi dan oksidasi pada permukaan katalis dengan memanfaatkan sisa gas hasil pembakaran yang melewati saluran buang. Semakin banyak gas buang hasil pembakaran yang mengenai penampang katalis, maka akan semakin lambat laju aliran gas buang yang mengakibatkan semakin cepatnya laju reaksi reduksi dan oksidasi untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan.

Catalytic converter terbagi menjadi beberapa jenis antara lain *catalytic converter tipe two way*, dan *catalytic converter tipe three way*. *Catalytic converter tipe two way* dikenal sebagai *catalytic converter* dengan tipe dua jalan yang hanya bisa melakukan oksidasi gas buang CO dan HC dalam prosesnya. *Catalytic converter two way* dikenal dengan *catalytic converter* dua jalan karena dapat mereaksikan polutan CO dan HC dengan mengoksidasi gas CO menjadi CO₂ dan mengoksidasi HC menjadi CO₂ dan H₂O, tipe dua ini disebut reaksi oksidasi atau dikenal dengan oksidasi *catalytic converter* (Mukherjee, et al., 2016: 31). Reaksi oksidasi gas CO dan HC adalah sebagai berikut :

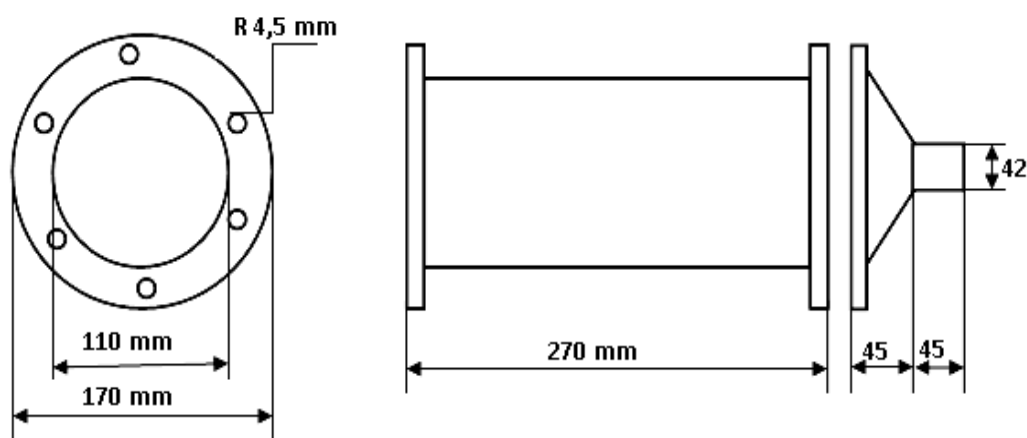


Catalytic converter tipe two way dikenal sebagai *catalytic converter tiga jalan* yang bisa mengoksidasi gas buang CO dan HC serta mereduksi gas buang NO_x. *Catalytic converter* tiga jalan memiliki manfaat melakukan goksidasi gas CO (karbon monoksida), gas HC (hidrokarbon), dan mereduksi NO_x (nitrogen oksida) secara bersamaan (Gupta, et al 2017: 97). Reaksi reduksi gas NO_x adalah sebagai berikut :



2.2.6.1 Desain *Catalytic Converter*

Desain *catalytic converter* tidak dibuat permanen akan tetapi dapat dibuka dan ditutup. Desain yang demikian berfungsi untuk memudahkan dalam pengambilan data penelitian emisi gas buang sebab dalam pengambilan data menggunakan bahan-bahan yang di variasikan.



Gambar 2.1 Desain *catalytic converter*

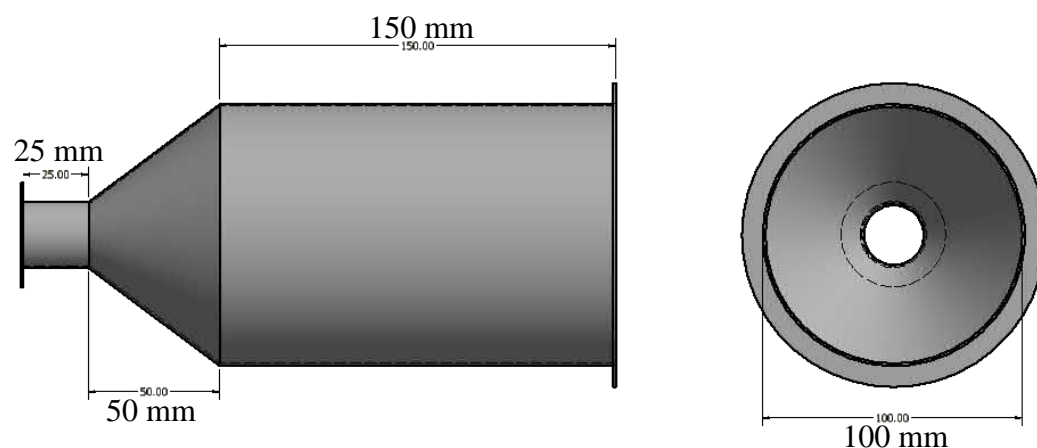
(Mokhtar dan Wibowo 2015: 4)

Mokhtar, Ali dan Trenyu Wibowo (2015) pada penelitian ”*catalytic converter* jenis katalis *stainless steel* berbentuk sarang laba-laba untuk

mengurangi emisi kendaraan bermotor” menggunakan dimensi *cover catalytic converter* dengan panjang 270 mm, diameter dalam *casing* sebesar 110 mm. Pada bagian depan dan belakang *cover catalytic converter* dibuat tutup yang dapat di pasang tutup yang berfungsi untuk memasukkan dan mengeluarkan katalis dari *catalytic converter* dengan melepas tutup *catalytic converter*, dimensi tutup yang digunakan yaitu sepanjang 45 mm. Bagian tengah tutup dibuat saluran masuk dan keluar dengan diameter 42 mm. *Catalytic converter* dengan bahan kawat *stainless steel* berbentuk sarang laba-laba yang disusun secara berlapis menggunakan dimensi tersebut mampu menurunkan emisi paling signifikan sebesar 26,9% gas CO dan 35,2% gas HC.

Desain *catalytic converter* yang digunakan dalam pengujian emisi gas buang dengan menggunakan penelitian Mokhtar dan Wibowo adalah sebagai berikut :

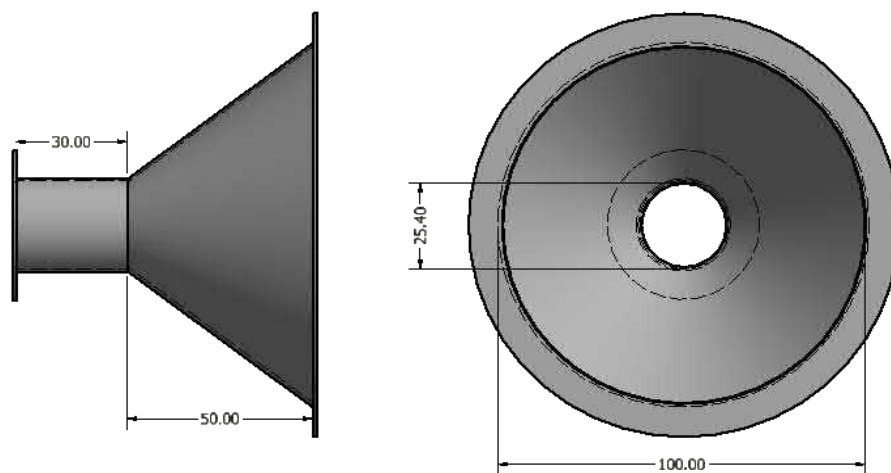
a. *Cover Catalytic Converter*



Gambar 2.2 *Cover catalytic converter*

Cover catalytic converter berfungsi sebagai tempat katalis dan dudukan katalis serta sebagai sambungan ke knalpot kendaraan. *Cover catalytic converter* terbuat *stainless steel* berbentuk silinder dengan dimensi panjang 250 mm dua tutup dengan panjang 50, sambungan tutup dengan panjang 30 mm, dan diameter lubang silinder 100 mm. *Cover catalytic converter* memiliki fungsi sebagai tempat katalis. Pada bagian ujung depan dan belakang berbentuk kerucut dan ada tambahan sambungan yang berfungsi untuk menyambungkan *cover catalytic converter* dengan pipa saluran gas buang. Pada bagian belakang terdapat klem yang memiliki lubang untuk menyambungkan *cover catalytic converter* dengan tutup *cover catalytic converter* menggunakan baut.

b. Tutup *Cover Catalytic Converter*

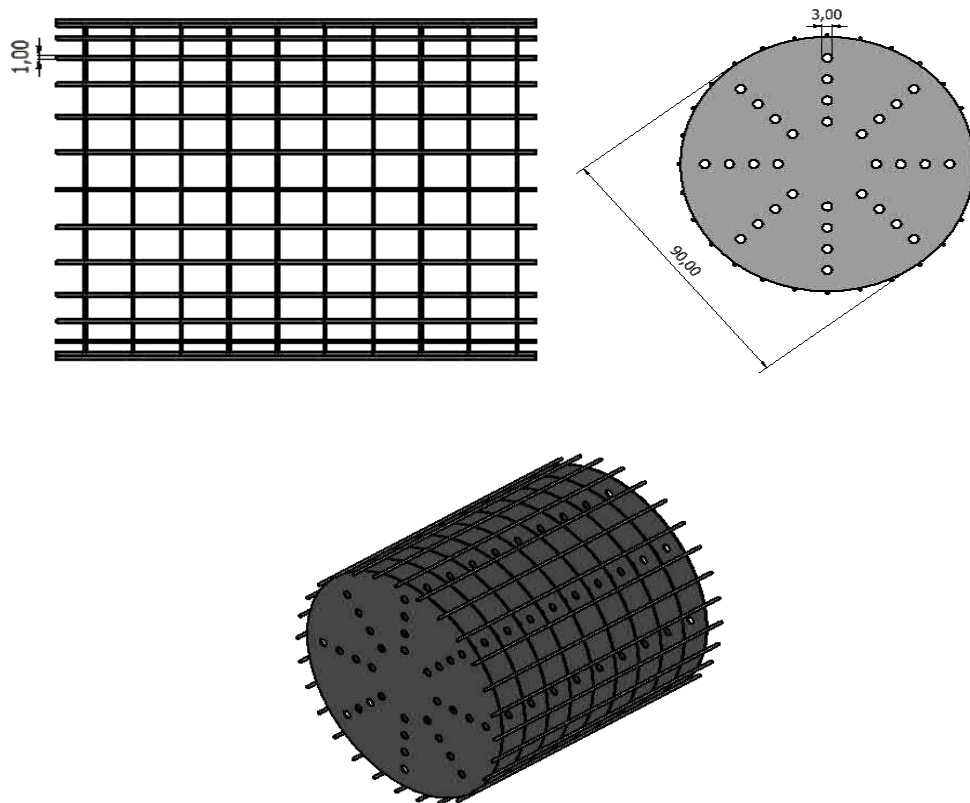


Gambar 2.3 Tutup *cover catalytic converter*

Tutup *cover catalytic converter* berfungsi untuk menutup *cover catalytic converter*. Tutup *catalytic converter* berbentuk kerucut dengan panjang 50 mm, bagian depan berbentuk pipa dengan panjang 30 mm dan diameter lubang 25,4 mm, bagian ini berfungsi untuk menyambungkan *catalytic converter* dengan

knalpot kendaraan. Bagian belakang tutup *cover catalytic converter* terdapat klem yang memiliki lubang baut untuk menyambungkan tutup *catalytic converter* dengan *cover catalytic converter*.

c. Dudukan dan Katalis *Catalytic Converter*



Gambar 2.4 Dudukan dan katalis *catalytic converter*

Dudukan *catalytic converter* berfungsi untuk menempatkan katalis *catalytic converter* agar memudahkan dalam penggantian bahan *catalytic converter* saat dilakukan pengujian. Katalis *catalytic converter* terbuat dari bahan plat *stainless steel* dan *stainless steel* berlapis *chrome* dengan diameter 90 mm dan tebal 0,5 mm. Pada permukaan katalis dibuat berlubang dengan diameter 3 mm yang disusun tidak teratur agar pada saat gas buang melewati katalis akan terjadi

tumbukan yang dapat meningkatkan laju reaksi dalam proses oksidasi gas buang dari kendaraan, selain itu lubang pada katalis juga berfungsi untuk melancarkan aliran gas buang agar katalis dapat bekerja dengan maksimal dan tidak mengganggu reaksi yang terjadi pada katalis.

2.3 Kerangka Pikir Penelitian

Pembakaran tidak sempurna yang terjadi pada ruang bakar dapat memicu timbulnya emisi gas buang kendaraan yang berpengaruh terhadap pencemaran udara. Emisi gas buang pada kendaraan mengandung senyawa dalam partikel kecil yang berbahaya bagi kesehatan diantaranya yaitu hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x) dan sulfur oksida (SO_x). Gas CO dan HC timbul akibat adanya pembakaran yang tidak sempurna karena kurangnya kandungan oksigen dalam campuran udara dan bahan bakar atau campuran bahan bakar dan udara yang terlalu gemuk. Gas NO_x timbul akibat temperatur yang tinggi dalam pembakaran serta campuran bahan bakar dan udara yang terlalu kurus. Timbulnya gas SO_x pada gas buang kendaraan tidak begitu besar sebab kontribusi terbesar sebagai sumber timbulnya gas SO_x berasal dari aktivitas industri. Ada beberapa upaya yang bisa dilakukan untuk mengurangi emisi gas buang dari kendaraan salah satunya adalah dengan melakukan *after treatment* menggunakan *catalytic converter*.

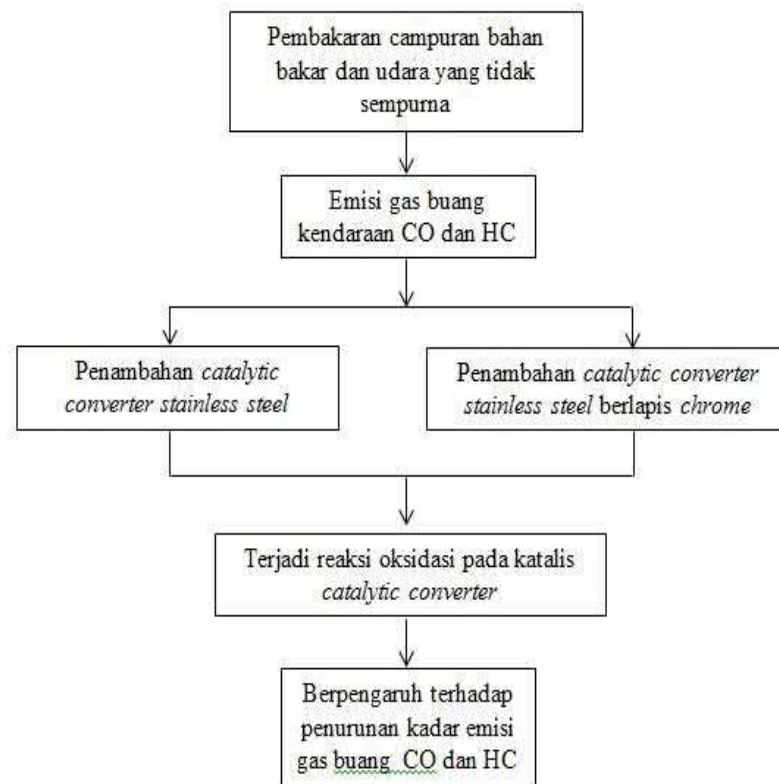
Catalytic converter merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mempercepat laju reaksi kimia dengan cara menambahkan katalis yang mampu melakukan reaksi reduksi dan oksidasi untuk mengurangi emisi gas buang dari kendaraan. Gas buang berupa HC, CO, dan NO_x yang keluar dari *exhaust*

manifold dengan temperatur tertentu akan mengenai permukaan katalis sehingga terjadi reaksi kimia yang mengakibatkan adanya pembakaran lanjut dari gas buang sepeda motor. Setelah melewati *catalytic converter* senyawa HC akan berubah menjadi CO₂ dan H₂O, CO berubah menjadi CO₂, NO_x menjadi N₂ dan O₂.

Katalis yang digunakan dalam *catalytic converter* adalah *stainless steel* yang dilapisi dengan *chrome*. *Stainless steel* merupakan baja anti karat paduan dari FeCr dengan komposisi minimal 10%. Unsur Fe dan Cr merupakan jenis logam yang termasuk dalam golongan katalis oksidasi, sehingga bahan katalis *stainless steel* dapat digunakan sebagai katalis oksidasi pada *catalytic converter*.

Chrome merupakan jenis logam yang biasa digunakan dalam proses pelapisan untuk melindungi logam lainnya dan menambahkan nilai dekoratif. Pelapisan *chrome* pada katalis *stainless steel* berfungsi untuk mempercepat laju reaksi oksidasi yang terjadi pada katalis sebab temperatur kerja pada katalis yang dilapisi *chrome* terjadi lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan katalis logam tanpa pelapisan *chrome*. Kandungan *chrome* pada katalis *stainless steel* mempengaruhi tingkat oksidasi dari katalis, semakin tinggi kandungan *chrome* pada katalis *stainless steel* maka semakin tahan juga terhadap reaksi oksidasi yang terjadi pada katalis. Apabila terdapat Cr (kromium) di permukaan, maka gas CO dapat dioksidasi menjadi CO₂ sedangkan gas NO hanya mengikat permukaan tanpa reaksi lebih lanjut (Kaltner, et al., 2009:126). Reaksi oksidasi pada katalis berfungsi untuk mengurangi kandungan gas CO dan HC yang terdapat pada gas buang kendaraan yang berasal dari pembakaran tidak sempurna menjadi gas yang

tidak berbahaya. Penggunaan bahan plat *stainless steel* dikarenakan luas penampang yang akan terkena gas buang lebih banyak sehingga mampu berpengaruh terhadap penyerapan emisi gas CO dan HC yang terkandung di dalam emisi gas buang kendaraan. Plat *stainless steel* akan dibuat berlubang secara acak setiap lapisan yang satu dengan yang lainnya dengan tujuan untuk meningkatkan terjadi tumbukan gas yang mengakibatkan gas tertahan oleh katalis sehingga proses reaksi oksidasi terjadi lebih lama dan berpengaruh terhadap penyerapan emisi gas buang. Penelitian menambahkan *catalytic converter* dengan bahan *stainless steel* dan *stainless steel* berlapis *chrome* pada knalpot sepeda motor dengan harapan mampu menurunkan emisi gas buang CO dan HC melalui reaksi oksidasi.



Gambar 2.5 Kerangka pikir penelitian

2.4 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan kerangka pikir penelitian dan kajian penelitian yang relevan maka didapatkan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

Seberapa besar pengaruh penggunaan bahan *catalytic converter stainless steel* dan *stainless steel* berlapis *chrome* terhadap kandungan emisi gas CO dan HC pada sepeda motor?

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

Ada pengaruh penggunaan *catalytic converter* berbahan *plat stainless* dan *plat stainless steel* berlapis *chrome* terhadap pengurangan emisi gas buang CO dan HC yang dihasilkan oleh sepeda motor Vario Techno 125 cc.

Emisi gas buang yang dihasilkan knalpot dengan tambahan *catalytic converter* dengan bahan *stainless steel* 10 lapis sebesar 0,199%. Emisi gas buang yang dihasilkan knalpot dengan tambahan *catalytic converter* dengan bahan *stainless steel* berlapis *chrome* sebanyak 10 lapis sebesar 0,172%. Data pengujian menunjukkan penggunaan *catalytic converter* dengan bahan *stainless steel* sebanyak 5 lapis mengalami penurunan emisi gas buang CO sebesar 56,4% dan sebesar 64,9% pada bahan *stainless steel* sebanyak 10 lapis. Sedangkan *catalytic converter* dengan bahan *stainless steel* berlapis *chrome* sebanyak 5 lapis mengalami penurunan emisi CO sebesar 67% dan sebesar 69,9% Pada bahan *stainless steel* berlapis *chrome* sebanyak 10 lapis.

Persentase penurunan emisi gas buang dengan penambahan *catalytic converter* yang dihasilkan oleh sepeda motor Vario Techno 125cc dengan tambahan *catalytic converter* dengan bahan *stainless steel* 5 lapis sebesar 691 ppm atau mengalami kenaikan sebesar 5%. Emisi gas buang yang dihasilkan knalpot dengan tambahan *catalytic converter* dengan bahan *stainless steel* berlapis

chrome sebanyak 5 lapis sebesar 635 ppm atau mengalami penurunan emisi gas buang HC sebesar 3%. Persentase penurunan emisi gas buang dengan tambahan *catalytic converter* dengan bahan *stainless steel* sebanyak 10 lapis menghasilkan emisi gas buang HC sebesar 605,6 ppm atau mengalami penurunan emisi sebesar 7,77%. Emisi gas buang yang dihasilkan knalpot dengan tambahan *catalytic converter* dengan bahan *stainless steel* berlapis *chrome* sebanyak 10 lapis menghasilkan emisi gas buang HC sebesar 297,3 ppm atau 54,7%.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengendara sepeda motor sebaiknya menggunakan katalis *stainless steel* berlapis *chrome* dengan jumlah katalis sebanyak 10 lapis karena lebih efektif dalam menurunkan emisi gas buang CO dan HC.
2. Perlu adanya perlakuan yang lain dengan menambahkan jumlah lapisan dan variasi jumlah maupun penempatan lubang yang digunakan sebagai katalis.

DAFTAR PUSTAKA

- Antoni, D., M.B.R. Wijaya, A. Septiyanto. 2017. Pengaruh Variasi Larutan Water Ijecton Pada Intake Manifold Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor. *Jurnal Sain dan Teknologi* 15(2): 137-145.
- Badan Pusat Statistik. 2016. *Statistik Transportasi Darat*. Jakarta : Badan Pusat Statistik.
- Cahyono, A., M. Razif, dan M. Mursid. 2004. Pengaruh Katalis Oksida Tembaga + Krom terhadap Emisi Gas CO, CO₂, dan HC Pada Kendaraan Bermotor. *Jurnal Purifikasi* 5(1): 37-42.
- Cholilulloh, M.S. dan Warju. 2014. Pengaruh Metallic Catalytic Converter Tembaga Berlapis Krom dan Air Induction System (AIS) Terhadap Emisi Gas Buang Yamaha New Jupiter MX. *JTM* 3(2): 104-113.
- Choudhury, P. dan S. Deo. 2014. An Innovative Approach for Emission Control Using Copper Plate Catalytic Converter. *International Journal of Advanced Science, Engineering and Technology* 3(2): 19-23
- Ellyanie. 2011. Pengaruh Pnggunaan Three Way Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang pada Kendaraan Toyota Kijang Innova. *Prosiding Seminar Nasional Avoer*. Hal. 437-445.
- Fatkhuniam, A., M.B.R. Wijaya, dan A. Septiyanto. 2018. Perbandingan Penggunaan Filter Udara Standard dan Racing Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang Mesin Sepeda Motor Empat Langkah. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin* 3(2): 130-137.
- Gupta, V., K. Chaturvedi, M. Dubey, dan N.M. Rao. 2017. Catalytic Converter For Treatment Of Exhaust Gas Emission In Automobile: A Review. *International Journal Of Scientific & Engineering Research* 8(2): 95-99.
- Inaguma, T., Y. Tsumura, dan S. Kawasoe, S. Konya, M. Omizu, M. Kasuya. 2017. Development of Newly Advancedmetal Substrates for Catalytic Converter. Technical Report. Page 15-22.
- Irawan, R.M.B. dan M. Subri. 2005. Unjuk Kemampuan Catalytic Converter dengan Katalis Kuningan untuk Mereduksi Gas Hidro Carbon Motor Bensin. *Jurnal Traksi* 3(2): 90-97.
- Irawan, R.M.B., Purwanto, dan Hardiyanto. 2012. Modifikasi Catalytic Converter Menggunakan Tembaga Berlapis Mangan Untuk Mereduksi Emisi Gas Carbon Monoksida Motor Bensin. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. Hal. 65-74.
- Ismiyati, D. Marlita dan D. Saidah. 2014. Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasidan Logistik (JMTransLog)* 1(3): 241-248.

- Kaltner, W., M.V. Heijman, A. Jentys, dan J.A. Lercher. 2009. Effect of Chromium Migration from Metallic Supports on The Activity of Diesel Exhaust Catalys. *Applied Catalysys B: Environmental* 89: 123-127.
- Kasmadi dan G. Luhbandjono. 2014. *Kimia Dasar II*. Cetakan Keempat. Semarang : CV Swadaya Manunggal.
- Katara, P. 2016. Review Paper on Catalytic Converter for Automobile Exhaust Emission. *International Journal of Science and Research (IJSR)* 5(9): 30-33.
- Krisdianto, D., A. Purwanto, dan Sumarna. 2011. Profil Perubahan Tekanan Gas Terhadap Suhu pada Volume Tetap. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA*. Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta: F207-F212.
- Kusuma, I.G.B.W. 2002. Alat Penurun Emisi Gas Buang pada Motor, Mobil, Motor Tempel, dan Mesin Pembakaran Tak Bergerak. *Jurnal Makara Teknologi* 6(3): 95-101.
- Makwana, N.R., C.M. Amin, dan S.K. Dhahi. 2013. Development and Performance Analysis Of Nickel Based Catalytic Converter. *International Journal of Advanced Engineering Technology* 4(2): 10-13.
- Maleiva, L.T.N., B. Sitorus, dan D.R. Jati. 2015. Penurunan Konsentrasi Gas Kabon Monoksida dari Kendaraan Bermotor Menggunakan Absorben Zeloit Alam. *JKK* 4(1): 35-42.
- Martuti, N.K.T. 2011. Tingkat Kualitas Udara di Jalan Protokol Semarang. *Jurnal Saintekno* 9(2): 111-120.
- Maryanto, D., S.A. Mulasari, D. Suryani. 2009. Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) Dengan Penambahan Arang Aktif pada Kendaraan Bermotor di Yogyakarta. *Jurnal KESMAS* 3(3): 198-205.
- Mokhtar, A. 2012. *Catalytic Converter* Jenis Katalis Plat Tembaga Berlubang Untuk Mengurangi Emisi Kendaraan Bermotor. *Jurnal GAMMA* 8(1): 125-131
- Mokhtar, A. dan T. Wibowo. 2015. Catalytic Converter Jenis Katalis Stainless Steel Berbentuk Sarang Laba-Laba Untuk Mengurangi Emisi Kendaraan Bermotor. *Seminar Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)*. Hal. 1- 6 ISBN: 978-979-796-238-6.
- Mukherjee, A., K. Roy, J. Bagachi, K. Mondal. 2016. Catalytic Converter In Automobile Ecxhaust Emission. *Journal For Research* 2(10): 29-33.
- Niam, M.Y.A., H. Purwanto, dan S. M. B. Respati. 2017. Pengaruh Waktu Pelapisan Elektro Nikel-Khrom Dekoratif Terhadap ketebalan, Kekerasan, dan Kekasaran Lapisan. *Jurnal Momen* 13(1): 7-10.

- Octaviani, R., M. Irsyad, I.K. Reksowardoyo. 2010. Pengaruh Penambahan Bioetanol Terhadap Konsentrasi Emisi Gas HC, CO, dan CO₂ pada Motor 2 Langkah. *Jurnal Teknik Lingkungan* 16(2): 173-184.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 tahun 2006 tentang *Ambang Batas Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Simanungkalit, R. dan T.B. Sitorus. 2013. Performansi Mesin Sepeda Motor Satu Silinder Berbahan Bakar Premium dan Pertamina Plus dengan Modifikasi Rasio Kompresi. *Jurnal E-Dinamis* 5(1): 29-36.
- Sunardi, P.T. Iswanto, dan Mudjijana. 2015. Peningkatan ketahanan Korosi Pada Material Biomedik Plat Penyambung Tulang SS 304 dengan Gabungan Metode Shot Peening dan Electroplating Ni-Cr. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika* 18(2): 160-167.
- Twiggs, M.V. 2011. Catalytic Control of Emission from Cars. *Catalysis Today* 163: 33-41.
- Wicaksono, Y.A. dan Warju. 2014. Pengaruh Catalytic Converter Titanium Oksida terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor Honda Supra X 125. *Jurnal Teknik Mesin* 3(2): 197-206.
- Wiratmaja, I.G. 2010. Analisa Unjuk Kerja Motor Bensin Akibat Pemakaian Biogasoline. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra* 4(1): 16-25.