PENGARUH DESAIN BENTUK KATALIS KUNINGAN (CuZn)DALAM MENGURANGI EMISI GAS BUANG CO Dan HC PADA SEPEDA MOTOR

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Persyaratan Untuk Menyelesaikan Program Strata Satu
Pada Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Otomotif
Universitas Negeri Padang

Oleh :

AHMAD GUNAWAN HALIM

NIM : 1306472/2013

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF

JURUSAN TEKNIK OTOMOTIF

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2018

PERSETUJUAN SKRIPSI

PENGARUH DESAIN BENTUK KATALIS KUNINGAN (CuZn)DALAM MENGURANGI EMISI GAS BUANG CO Dan HC PADA SEPEDA MOTOR

Oleh

Nama	: Ahmad Gunawan Halim
NIM/BP	: 1306472/2013
Program Studi	: Pendidikan Teknik Otomotif
Jurusan	: Teknik Otomotif
Fakultas	: Teknik

Padang, 1 Februari 2018

Disetujui Oleh:

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Remon Lapisa, ST, MT, M.Sc	**Toto Sugiarto, S.Pd, M.Si**
NIP. 19770918 200812 1 001	NIP. 19730213 199903 1 005

Diketahui Oleh:
Ketua Jurusan Teknik Otomotif

Drs. Martias, M. Pd
NIP. 19640801 199203 1 003

PENGESAHAN SKRIPSI

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

Judul : **Pengaruh Desain Bentuk Katalis Kuningan (CuZn) Dalam Mengurangi Emisi Gas Buang CO Dan HC Pada Sepeda Motor**

Nama	: Ahmad Gunawan Halim
NIM/BP	: 1306472/2013
Program Studi	: Pendidikan Teknik Otomotif
Jenjang Program	: Strata 1
Jurusan	: Teknik Otomotif
Fakultas	: Teknik

Padang, 1 Februari 2018

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	**: Dr. Remon Lapisa, ST, MT, M.Sc.**	1
Sekretaris	**: Toto Sugiarto, S.Pd, M.Si**	2
Anggota	**: Drs. Erzeddin Alwi, M.Pd**	3
	: Irma Yulia Basri, S.Pd, M.Eng	4
	: Nuzul Hidayat, S.Pd, MT	5

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITASNEGERI PADANG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK OTOMOTIF
Jl Prof Dr HamkaKampus UNP Air Tawar Padang 25171
Telp (0751) 7055922 FT (0751)7055644,445118 Fax :7055644
E-mail : info@ft.unp.ac.id

SERAH PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Ahmad Gunawan Halim
Nim/BP	: 1306472/2013
Program Studi	: Pendidikan Teknik Otomotif
Jurusan	: Teknik Otomotif
Fakultas	: Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi/Tugas Akhir/Proyek Akhir saya dengan judul: " **Pengaruh Desain Katalis Kuningan (CuZn) Dalam Mengurangi Emisi Gas Buang CO dan HC pada Sepeda Motor"** adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di institusi UNP maupun di masyarakat dan negara.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 1 Februari 2018

Saya yang menyatakan

Ahmad Gunawan Halim

NIM/BP. 1306472/2013

ABSTRAK

Ahmad Gunawan Halim. 2018. "Pengaruh Desain Bentuk Katalis Kuningan (CuZn) Dalam Mengurangi Emisi Gas Buang CO dan HC Pada Sepeda Motor.

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor terus meningkat tiap tahun sehingga mempunyai dampak negatif terhadap kesehatan manusia, lingkungan hingga pemanasan global. Emisi gas buang terdiri dari gas yang tidak beracun seperti Nitrogen, Carbondioksida dan uap air dan gas beracun seperti Hidrocarbon, Carbon monoksida, Nitrogenoksida. Salah satu cara mereduksi konsentrasi emisi gas buang adalah dengan pemasangan *catalytic converter*.

Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun knalpot *catalytic converter* dengan bahan plat kuningan tiga model desain sebagai katalis yang terpasang pada saluran knalpot, lalu dilakukan pengujian pada sepeda motor Honda Beat 2015. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Pengujian dilakukan pada tanggal 16 Januari 2018 di Workshop Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang dengan menggunakan alat *four gas analyzer,* untuk pengujian emisi gas buang CO dan HC pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali pada setiap specimen. Pengujian dimulai dari sepeda motor tanpa menggunakan catalytic *converter,* menggunakan *catalytic converter* standar dan tiga tiga model desain katalis plat kuningan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh bahwa menggunakan katalis plat kuningan berpengaruh terhadap emisi gas buang Honda Beat 2015. Emisi gas CO terendah diperoleh sebesar 0,05% pada katalis model 2 putaran 1700 rpm, dan emisi gas HC terendah diperoleh sebesar 33,7 ppm pada putaran 1700 rpm.

Kata kunci : *catalytic converter*, katalis kuningan, emisi gas CO dan HC

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadirat Allah *Subhanahuwata'ala* atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini bisa selesai. Skripsi ini berjudul **"PENGARUH DESAIN BENTUK KATALIS KUNINGAN (CuZn) DALAM MENGURANGI EMISI GAS BUANG CO Dan HC PADA SEPEDA MOTOR".** Tujuan penulisan Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan di Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penulisan skripsi ini penulis banyak menerima bimbingan dan bantuan baik berupa moril maupun materil dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Fahmi Rizal, M.Pd, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
2. Bapak Drs. Martias, M.Pd selaku Ketua Jurusan Teknik Otomotif.
3. Bapak Dr. Remon Lapisa, ST, MT, M.Sc selaku Pembimbing I.
4. Bapak Toto Sugiarto, S.Pd, M.Si selaku Pembimbing II.
5. Bapak/Ibu Staf Pengajar dan Kepegawaian Jurusan Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang.
6. Kedua orang tua yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada peneliti baik berupa moril maupun materil.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Otomotif FT UNP 2013.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam penulisan skripsi ini, namun demikian penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan harapan. Hal tersebut disebabkan oleh keterbatasan kemampuan penulis sendiri. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak guna untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.

Akhir kata penulis berdo'a semoga amal dan dukungan yang telah diberikan mendapat imbalan yang setimpal dari Allah *Subhanahuwata'ala, Aamiin.*

Padang, 1 Februari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PENGESAHAN

ABSTRAK i

KATA PENGANTAR ii

DAFTAR ISI iv

DAFTAR GAMBAR vi

DAFTAR TABEL vii

DAFTAR LAMPIRAN viii

BAB I PENDAHULUAN 1

A. Latar Belakang Masalah 1
B. Identifikasi Masalah 6
C. Batasan Masalah 6
D. Rumusan Masalah 6
E. Tujuan Penelitian 7
F. Asumsi Peneltian 7
G. Manfaat Penelitian 7

BAB II KAJIAN PUSTAKA 9

A. Kajian Teori 9
   1. Proses Pembakaran 9
   2. Emisi Gas Buang CO dan HC Pada Kendaraan 13
   3. Knalpot Pada Kendaraan 19
   4. *Catalytic Converter* 23
   5. Katalis 27
   6. Kuningan (CuZn) 32
B. Penelitian Relevan 36
C. Kerangka Konseptual 38
D. Hipotesis 39

BAB III METODE PENELITIAN 40

A. Desain Penelitian 40
B. Desain Operasional 41
C. Variabel Penelitian 42
D. Objek Penelitian 43
E. Jenis Dan Sumber Data 43
F. Instrument Pengumpulan Data 44

G. Prosedur Penelitian 47
H. Teknik Pengumpulan Data 49
I. Teknik Analisa Data 50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 53
A. Hasil Penelitian 53
B. Deskripsi Hasil Penelitian HC dan CO 54
C. Analisa dan Pembahasan 62
D. Keterbatasan Penelitian 69
BAB V PENUTUP 70
A. Kesimpulan 70
B. Saran 70
DAFTAR PUSTAKA 72
LAMPIRAN 75

DAFTAR GAMBAR

Gambar **Halaman**

1. Gas Buang Yang Dihasilkan Antara Campuran Gemuk Dan Kurus 16
2. Knalpot Honda Beat Tahun 2015 Dan 2011 21
3. Header Knalpot 21
4. Saringan Knalpot 22
5. Silencer Knalpot 22
6. Letak *Catalytic Converter* Pada Knalpot Beat Yang Telah Didesain 23
7. Proses Kerja *Catalytic Converter* 26
8. Plat Kuningan 34
9. Kerangka Konseptual 38
10. Knalpot Standar Honda Beat Tahun 2011 44
11. Desain Knalpot Standar Honda Beat Tahun 2011 Yang Terpasang *Catalytic Converter* 44
12. Tampak Depan Bagian Chassing Dan Tampak Samping Desain Katalis Yang Akan Dipasang Pada Saluran Buang Knalpot Standar Honda Beat Tahun 2011 45
13. Tampak Bagian Depan Dan Samping Katalis Tipe 1 45
14. Tampak Bagian Depan Dan Atas Katalis Tipe 2 45
15. Tampak Bagian Depan Dan Samping Tipe 3 46
16. Tampak Bagian Dalam Konstruksi Tiga Bentuk Katalis Yang Telah Terpasang Pada *Chassing* 46
17. Grafik Rata-Rata Nilai Emisi Gas Buang HC Tanpa Katalis 55
18. Grafik Rata-Rata Nilai Emisi Gas Buang CO Tanpa Katalis 55
19. Grafik Rata-Rata Nilai Emisi Gas Buang HC Katalis Standar 56
20. Grafik Rata-Rata Nilai Emisi Gas Buang CO Katalis Standar 57
21. Grafik Rata-Rata Nilai Emisi Gas Buang HC Model 1 58
22. Grafik Rata-Rata Nilai Emisi Gas Buang CO Model 1 58
23. Grafik Rata-Rata Nilai Emisi Gas Buang HC Model 2 59
24. Grafik Rata-Rata Nilai Emisi Gas Buang CO Model 2 59
25. Grafik Rata-Rata Nilai Emisi Gas Buang HC Model 3 60
26. Grafik Rata-Rata Nilai Emisi Gas Buang CO Model 3 61
27. Grafik Perbedaan Rata-Rata Emisi Gas Buang HC 62
28. Grafik Perbedaan Rata-Rata Emisi Gas Buang CO 64
29. Hasil Pengukuran Aliran Udara Gas Buang Menggunakan Anemometer 68

DAFTAR TABEL

Tabel **Halaman**

1. Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Sepeda Motor Lama 2
2. Titik Cair Standar Kuningan 33
3. Pola Penelitian..... 39
4. Pengujian Kandungan Emisi Gas Buang HC Dan CO Knalpot Tidak Menggunakan *Catalytic Converter* 49
5. Pengujian Kandungan Emisi Gas Buang HC Dan CO Knalpot Standar .. 50
6. Pengujian Kandungan Emisi Gas Buang HC Dan CO Menggunakan Katalis Model 1 50
7. Pengujian Kandungan Emisi Gas Buang HC Dan CO Menggunakan Katalis Model 2 50
8. Pengujian Kandungan Emisi Gas Buang HC Dan CO Menggunakan Katalis Model 3 50
9. Pengujian Konsentrasi Emisi Gas Buang HC Dan CO Knalpot Tidak Menggunakan Katalis..... 53
10. Pengujian Konsentrasi Emisi Gas Buag HC Dan CO Knalpot Standar.... 53
11. Pengujian Konsentrasi Emisi Gas Buag HC Dan CO Katalis Model 1 54
12. Pengujian Konsentrasi Emisi Gas Buag HC Dan CO Katalis Model 2 54
13. Pengujian Konsentrasi Emisi Gas Buag HC Dan CO Katalis Model 3 54
14. Rata-Rata Nilai HC 62
15. Rata-Rata Nilai CO 64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran **Halaman**

Lampiran 1 Surat Pernyataan Pemakaian Workshop 75

Lampiran 2 Surat Bukti Penelitian 77

Lampiran 3 Hasil Data Penelitian 79

Lampiran 4 Hasil Pengujian Four Gas Analyzer 80

Lampiran 5 Mean Dan Persentase Emisi HC Dan CO 85

Lampiran 6 Dokumentasi Penelitian 106

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor terus meningkat tiap tahun sehingga mempunyai dampak negatif terhadap kesehatan manusia, lingkungan hingga pemanasan global (data.go.id/dataset/jumlah-kendaraan-bermotor). Seperti yang kita ketahui bahwa penyumbang polusi udara di dominasi oleh kendaraan bermotor, namun kebakaran hutan dan industri juga turut berperan. Dalam hal ini terdapat beberapa gas buang yang tidak berbahaya dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Umumnya gas buang tersebut terdiri dari gas yang tidak beracun seperti N_2 (Nitrogen), CO_2 (Carbondioksida) dan H_2O (uap air) sebagian yang lainnya merupakan gas beracun antara lain : HC (Hidrocarbon), CO (Carbon monoksida), NOx (Nitrogenoksida).

Gas HC dan CO merupakan salah satu gas beracun berbahaya bagi kesehatan tubuh manusia, HC dapat menyebabkan mata pedih, sakit tenggorokan, sakit paru-paru, dan penyakit lain dan bahkan mungkin dapat menyebabkan kanker. Gas CO lebih berbahaya dibanding dengan HC, dimana gas ini tidak berwarna dan tidak berbau. CO dapat menyebabkan pusing kepala, mual, gangguan pernapasan, dan bahkan dapat mematikan apabila terlalu lama di dalam ruangan yang mengandung banyak gas CO. Emisi gas buang HC menunjukkan adanya bensin yang tidak terbakar dan terbuang bersama sisa pembakaran. Apabila suatu senyawa hidrokarbon terbakar sempurna (bereaksi dengan oksigen) maka hasil reaksi pembakaran tersebut

adalah CO_2 dan H_2O. Sedangkan pada gas CO dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna akibat dari pencampuran bahan bakar dan udara yang terlalu kaya. CO sangat tergantung dari perbandingan campuran bahan bakar dan udara yang masuk dalam ruang bakar.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor untuk kendaraan bermotor tipe L (sepeda motor) yang bertujuan agar dapat mengetahui batas maksimum pencemar udara yang boleh dikeluarkan oleh saluran buang sepeda motor. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 1. Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Sepeda Motor

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 Nomor 05 Tahun 2006

Bahayanya gas buang HC dan CO ini perlu usaha untuk penanggulangan dampak negatifnya, salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan pencemaran udara yang disebabkan oleh emisi gas buang kendaraan bermotor ini adalah dengan melakukan modifikasi *Catalytic converter* pada saluran gas buang. *Catalytic converter* merupakan alat yang digunakan sebagai kontrol emisi gas buang yang diletakkan setelah *exhaust*

manifold pada sistem pembuangan kendaraan bermotor. Pada *catalytic converter* terdapat bahan material berupa katalis, menurut Bayu (2010:12) Katalis adalah zat yang ditambahkan ke dalam suatu reaksi untuk mempercepat laju reaksi. Katalis ikut terlibat dalam reaksi tetapi tidak mengalami perubahan kimiawi yang permanen dengan kata lain pada akhir reaksi katalis akan dijumpai kembali dalam bentuk dan jumlah yang sama seperti sebelum reaksi.

Berbagai macam bahan material atau logam mulia yang dipakai sebagai katalis untuk mereduksi emisi gas buang CO dan HC antara lain : paladium, platinum, rhodium, iridium, kobalt, tembaga, mangan, besi, nikel dan kuningan. Masing-masing bahan material ini dapat digunakan sebagai katalis untuk mereduksi emisi gas buang pada kendaraan.

Umumnya kendaraan yang telah terpasang *catalytic converter* menggunakan bahan logam mulia berupa platinum, paladium dan rhodium merupakan kendaraan roda empat yang digunakan di setiap mobil baru di Indonesia yang dimulai pada tahun 2007 (otomotif.kompas.com). Logam mulia ini memaksimalkan penurunan emisi gas buang NOx, CO dan HC. Lalu, tipe *catalytic converter* yang digunakan adalah tipe *Three Way Catalyst* yaitu untuk mengurangi gas-gas polutan NOx, CO dan HC yang keluar dari gas buang dan diubah menjadi gas buang N_2 (Nitrogen), CO_2 (karbon dioksida), dan H_2O (uap air). Pada kendaraan roda dua yang telah menggunakan teknologi EFI juga memaksimalkan penurunan emisi gas buang dengan menambahkan sistem pengaturan emisi berupa *catalytic converter*. Dengan menggunakan bahan logam mulia tersebut emisi gas buang berbahaya yang dihasilkan oleh

kendaraan tahun 2007 keatas dapat diturunkan secara optimal dan telah memenuhi syarat sebagai kendaraan yang ramah lingkungan.

Catalytic converter berupa katalisator yang dipasang di ruang saluran buang ini dibuat dengan harga yang tidak murah. Pasalnya, bahan logam mulia dari *catalytic converter* dibuat dengan bahan platinum, rhodium dan paladium. Untuk itu peneliti mencoba mencari alternatif bahan logam mulia yang dapat dijadikan sebagai katalisator dengan harga yang tidak terlalu mahal namun dapat menghasilkan penurunan nilai emisi gas buang yang signifikan.

Penelitian sebelumnya menggunakan bahan material berupa tembaga sebagai katalisatornya. Dalam penelitian tersebut terdapat penurunan kadar emisi gas buang HC yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan katalis tembaga, penurunan kadar emisi gas HC yang paling banyak terdapat pada lilitan 180 kawat tembaga, yang mana penurunannya sebesar 78,3% pada putaran 2000 Rpm jika dibandingkan dengan lilitan 60 dan 120 kawat tembaga (Ikhsan, 2014). Penelitian yang dilakukan oleh Ikhsan menggunakan bahan material kawat tembaga sebagai katalis dikonstruksi dalam satu bentuk yaitu berupa lilitan kawat tembaga saja untuk melihat seberapa besar pengaruh banyak lilitan terhadap penurunan emisi gas buang.

Penelitian yang akan diteliti pada penelitian ini menggunakan plat kuningan dengan kandungan Cu sebesar 85% dan Zn 15% dengan *melting point* berkisar 1185-1200 ^{o}C. Harga plat kuningan terbilang cukup terjangkau untuk dijadikan sebagai alternatif katalisator. Peneliti mencoba melakukan tiga rancangan kontruksi pada plat kuningan untuk melihat seberapa besar pengaruh

dari tiga bentuk desain terhadap hasil penurunan nilai emisi gas buang pada sepeda motor Honda Beat tahun 2015. Emisi gas buang yang dihasilkan oleh Honda Beat 2015 sudah berada diatas standar euro 3. Knalpot sepeda motor Honda Beat tahun 2015 telah dilengkapi dengan sistem pengaturan emisi *catalytic converter* standar pabrik. Hasil uji yang dilakukan oleh balai pengujian layak jalan dan sertifikasi kendaraan bermotor tercatat nilai emisi gas buang dari sepeda motor Honda Beat tahun 2015 dengan nilai CO dibawah 2.1 g/km dan HC dibawah 0.8 g/km. Pada penelitian ini peneliti akan membandingkan knalpot yang menggunakan *catalytic converter* yang dimodifikasi dengan bahan katalis berupa logam mulia kuningan (CuZn) dengan knalpot yang menggunakan *catalytic converter* standar pabrik untuk melihat perbandingan penurunan nilai emisi gas buang dari kedua knalpot tersebut sehingga mendapatkan hasil penurunan emisi sesuai standar euro 3.

Berdasarkan uraian diatas, emisi gas buang CO dan HC yang berasal dari kendaraan bermotor sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Usaha yang dilakukan untuk mengurangi emisi gas buang ini adalah dengan cara memasang *catalytic converter* pada saluran buang. Dari banyaknya bahan material atau logam mulia yang ada dipasaran maka plat kuningan yang memiliki sifat mudah dibentuk, tahan terhadap temperatur tinggi dan mempunyai tahanan korositas yang dapat dipakai sebagai katalis. Untuk itu penulis tertarik melakukan penelitian tentang “ Pengaruh Desain Bentuk Katalis Kuningan (CuZn) Dalam Mengurangi Emisi Gas Buang CO Dan HC Pada Sepeda Motor”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat diidentifikasikan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Meningkatnya volume kendaraan bermotor terutama pada sepeda motor yang signifikan mengakibatkan emisi gas buang meningkat pula.
2. Emisi gas buang berupa CO dan HC merupakan gas buang yang berbahaya dan dapat menimbulkan dampak buruk terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.
3. Mahalnya harga katalis berbahan logam mulia platinum, paladium dan rhodium mengaharuskan peneliti mencari bahan logam dengan harga terjangkau yang dapat dijadikan sebagai katalisator.
4. Belum dilakukannya penelitian dengan beberapa bentuk katalis berupa plat kuningan pada kendaraan sepeda motor *matic*.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, maka penulis perlu membatasi masalah pada pengukuran nilai CO dan HC sepeda motor *matic* yang menggunakan katalis berbahan kuningan dengan menggunakan knalpot standar pabrik.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah di atas, maka masalah dalam penelitian ini dirumuskan seberapa besarkah pengaruh desain bentuk katalis kuningan (CuZn) dalam mengurangi emisi gas buang CO dan HC pada sepeda motor Honda Beat Tahun 2015?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh desain bentuk katalis kuningan (CuZn) dalam mengurangi emisi gas buang CO dan HC pada sepeda motor Honda Beat Tahun 2015.

F. Asumsi Penelitian

Berikut beberapa asumsi yang perlu penulis kemukakan dalam penelitian yaitu :

1. Mesin kendaraan yang digunakan sebagai objek penelitian dalam kondisi normal dan sama baiknya pada setiap perlakuan pengujian.
2. Jenis kendaraan sama untuk pengujian yaitu, sepeda motor Honda Beat tahun 2015.
3. Bahan material yang digunakan untuk pengujian yaitu, katalis yang terbuat dari plat kuningan.
4. Bahan bakar yang digunakan adalah jenis bahan bakar premium yang sama kualitasnya untuk setiap perlakuan penelitian.
5. Alat ukur yang digunakan telah dikalibrasi sebelum digunakan pada setiap perlakuan penelitian.

G. Manfaat Penelitian

Berikut manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu :

1. Dapat mengetahui bahwa bahan material kuningan mampu mengurangi emisi gas berbahaya CO dan HC pada kendaraan bermotor

2. Memberikan informasi kepada pemilik kendaraan bermotor roda dua bahwa dengan menggunakan *catalytic converter* ini mampu mencegah penyakit yang ditimbulkan oleh gas berbahaya tersebut.
3. Memberikan informasi dan masukan kepada pemilik kendaraan roda dua tentang manfaat dari pemakaian *catalytic converter* berbahan kuningan
4. Sebagai bahan penelitian lanjutan

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Proses Pembakaran

Toyota Astra Motor (1988:2-2) mendefenisikan secara umum pembakaran sebagai reaksi kimia atau pesenyawaan bahan bakar dengan oksigen dengan diikuti oleh sinar dan panas. Mekanisme pembakaran sangat dipengaruhi oleh keadaan dari keseluruhan proses pembakaran di mana atom-atom dari komponen yang dapat bereaksi dengan oksigen dan membentuk produk yang berupa gas.

Menurut Daryanto (2008:1) pembakaran adalah proses kimia antara zat arang dan zat air bergabung dengan zat asam dalam udara, jika pembakaran berlangsung maka dibutuhkan : bahan bakar dan udara yang dimasukkan ke dalam motor dan bahan bakar dipanaskan hingga suhu nyala. Wardan (1989:248) menyatakan pembakaran di dalam silinder merupakan reaksi kimia antara unsur yang terkandung di dalam bahan bakar yaitu unsur HC atau hidrokarbon dengan udara atau oksigen, yang diikuti dengan timbulnya panas. Panas yang dilepaskan selama proses pembakaran inilah yang digunakan oleh motor untuk menghasilkan tenaga.

a. Pembakaran Sempurna (normal)

Toyota Astra Motor (1988: 2-2) dan Wardan (1989:248) mengemukakan pembakaran normal (sempurna), di mana bahan bakar dapat terbakar seluruhnya pada saat dan keadaan yang sesuai dengan yang dikehendaki. Mekanisme pembakaran normal dalam motor bensin

dimulai pada saat terjadinya loncatan bunga api pada busi. Selanjutnya api membakar gas bakar yang berada di sekelilingnya dan terus menjalar ke seluruh bagian sampai semua partikel terbakar habis dengan kecepatan relatif konstan.

Menurut Jalius dan Wagino (2008:247) menyatakan pada perbandingan campuran bahan bakar untuk dapat berlangsung pembakaran bahan bakar, maka dibutuhkan oksigen yang diambil dari udara. Udara mengandung 21 sampai 23% oksigen dan kira-kira 78% nitrogen. Untuk keperluan pembakaran, oksigen tidakdapat dipisahkan dari unsur lainnya tapi disertakan bersama-sama. Campuran bahan bakar dengan udara teoritis adalah terdiri dari 14,7 bagian udara dengan satu bagian bahan bakar dalam beratnya. Sebagai contoh apabila akan membakar satu gram bahan bakar, agar terbakar sempurna maka diperlukan 14,7 gram udara. Bahan bakar yang akan dibakar diambil hidrokarbon dengan rumus kimia C_6H_6 dan pembakarannya sempurna sehingga hasil pembakarannya menjadi CO_2 dan H_2O. Berikut perhitungan reaksi kimia :

$$C_6 H_6 + 7{,}5O_2 + 47N_2 \rightarrow 6CO_2 + 3H_2O + 47N_2$$

Karena kandungan nitrogen diudara setiap satu mole oksigen akan bersamaan dengan 3,76 mole nitrogen, maka didalam proses ini terdapat nitrogen juga yang jumlah dan balansnya adalah:

$$12^1/_2\,(3{,}76)\,N_2 \rightarrow 47N_2$$

b. Pembakaran Tidak Sempurna

Toyota Astra Motor (1988:2-2) mengemukakan pembakaran tidak sempurna (tidak normal), di mana sebagian bahan bakar tidak ikut terbakar, atau tidak terbakar secara keseluruhan pada saat dan keadaan yang kehendaki. Wardan (1989: 257) menjelaskan yang dimaksud dengan pembakaran tidak normal adalah pembakaran yang terjadi di dalam silinder dimana nyala api dari pembakaran ini tidak menyebar dengan teratur dan merata sehingga menimbulkan masalah atau bahkan kerusakan pada bagian-bagian dari motor dapat terjadi akibat dari pembakaran yang tidak sempurna ini.

Wardan (1989: 258-261) menjelaskan terdapat tiga bentuk pembakaran tidak normal yaitu detonasi, *preignition*, dan *dieseling.* Sebenarnya baik detonasi, *preignition* maupun *dieseling* adalah proses pembakaran yang tidak sesuai dengan yang dikehendaki sehingga tekanan di dalam silinder tidak bisa dikontrol, yang sering disebut dengan *autoignition.* Wardan (1989: 259) menyatakan *autoignition* adalah proses pembakaran di mana campuran bahan bakar dengan udara terbakar bukan karena nyala api yang dihasilkan oleh busi melainkan oleh panas yang lain, misalnya panas akibat kompresi, panas akibat arang yang membara dan sebagainya.

Toyota Astra Motor (1988: 2-3) detonasi atau *knocking* disebabkan oleh perbandingan kompresi yang tinggi, tekanan kompresi, suhu pemasangan campuran dan suhu silinder yang tinggi, masa

pengapian yang terlalu cepat putaran mesin rendah dan penyebaran api lambat. penempatan busi dan konstruksi ruang bakar tidak tepat, serta jarak penyebaran api terlampau jauh.

Wardan (1989: 260) menjelaskan detonasi terjadi akibat pembakaran bahan bakar dengan udara dimulai sebelum busi mengeluarkan bunga apinya. Terdapat dua buah sumber api yang masing-masing membakar campuran bahan bakar dengan udara yang sama-sama berada dalam satu silinder maka kedua nyala api tersebut yang masing-masing mempunyai kecepatan akan bertabrakan. Kejadian seperti ini sudah termasuk kategori detonasi yang akibatnya juga cukup bahaya apabila tumbukan yang terjadi cukup keras. Sedangkan *preignition* Wardan (1989: 260) menyatakan kejadian dimana campuran bahan bakar dengan udara terbakar bukan karena api yang ditimbulkan oleh busi.

Menurut Toyota Astra Motor (1988:2-4) *preignition* peristiwanya hampir sama dengan *knocking* tetapi terjadi hanya pada saat busi belum memercikkan api. Di sini bahan bakar terbakar dengan sendirinya sebagai akibat dari tekanan dan suhu yang cukup tinggi sebelum terjadinya busi menyala. Tekanan dan suhu tadi dapat membakar gas bakar tanpa pemberian api dari busi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *preignition* adalah peristiwa pembakaran yang terjadi sebelum sampai pada saat yang dikehendaki.

c. Pembakaran tidak lengkap

Toyota Astra Motor (1988: 2-4) mengemukakan pembakaran yang normal pada motor bensin adalah dimulai ketika terjadinya percikan bunga api pada busi dan membakar semua hidrogen dan oksigen yang terkandung dalam campuran bahan bakar. Namun dalam pembakaran yang tidak lengkap yaitu pembakaran yang ada kelebihan atau kekurangan oksigen atau hidrokarbon. Contoh reaksi kelebihan oksigen :

$C_6H_6 + 8{,}5O_2 \rightarrow 6CO_2 + 3H_2O + O_2$

Jadi, di dalam persamaan reaksi di atas jelas ada kelebihan O_2 oksigen. Contoh reaksi kelebihan hidrokarbon :

$C_6H_6 + 3{,}75O_2 \rightarrow 3CO_2 + 3HC + 1.5H_2O$

Jadi, di dalam persamaan reaksi di atas masih ada HC yang tidak terbakar dan keluar bersama-sama dengan gas buang. Hal tersebut disebabkan karena kekurangan oksigen. Menurut Wardan (1989:251) mengemukakan bahwa proses pembakaran terjadi dengan campuran bahan bakar dengan udara tidak seperti campuran sesuai teoritis ini melainkan terlalu banyak udara atau kekurangan udara dimana biasa dikatakan campuran bahan bakar dengan udara gemuk (bila kandungan udaranya lebih kecil dari angka teoritis) atau campurannya kurus (kandungan udara di dalam campuran lebih banyak dari angka teoritis).

Dari persamaan di atas tampak bahwa kelebihan udara yang diberikan pada pembakaran akan tetap keluar sebagai udara yang tidak mempengaruhi pembakaran dalam arti hidrokarbon dapat diubah menjadi

karbondioksida dan uap air. Dengan adanya kenyataan ini maka karburator atau sistem injeksi bahan bakar dapat menghasilkan campuran yang relatif agak kurus untuk menghemat bahan bakar.

2. Emisi Gas Buang CO Dan HC Pada Kendaraan

a. Emisi Gas Buang

Rukaesih (2004:120) menyebutkan emisi gas buang pada kendaraan sebagai salah satu bentuk terjadinya pencemaran udara. Menurut peraturan NO. 29 Tahun 1986 menyebutkan bahwa masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke udara dan atau berubahnya tatanan udara oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga kualitas udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukkannya.

Menurut Wardan (1989:345) Siswantoro, Lagiyono, dan Siswiyanti (2012:77) emisi gas buang adalah polutan yang mengotori udara yang dihasilkan dari gas buang kendaraan. Ada empat emisi pokok yang dihasilkan oleh kendaraan. Ada pun keempat emisi tersebut adalah hidrokarbon atau HC, karbon monoksida atau CO, nitrogen oksida atau Nox, dan partikel-partikel yang keluar dari gas buang. Menurut Pulkrabek (2004) gas buang dari kendaraan merupakan salah satu kontributor utama masalah polusi udara di dunia.

Gas buang kendaraan yang dimaksud disini adalah gas sisa proses pembakaran yang dibuang ke udara bebas melalui saluran buang

kendaraan. Temperatur gas buang pada mesin penyalaan cetus (*Spark Ignition Engine*) bervariasi antara 300-400^{o}C pada putaran *idle*, sedangkan pada pengoperasian penuh dapat mencapai 900^{o}C, dan temperatur umum adalah 400-600^{o}C. Umumnya, pengoperasian mesin penyalaan cetus pada perbandingan campuran bahan bakar dan udara antara 0.9-1,2. Namun, terkadang pada kondisi pengoperasian tertentu terjadi pembakaran pada kondisi campuran miskin atau campuran kaya yang menyebabkan terbentuknya CO,HC, dan NOx (Heri Purnomo, 2013:3).

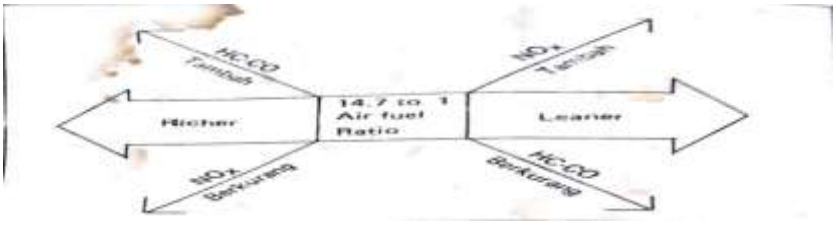
b. Emisi Gas Buang CO

Menurut Wardan (1989:345) menyatakan penyebab timbulnya gas CO karena adanya bahan bakar yang terbakar sebagian. Gas CO ini cukup berbahaya dibandingkan dengan HC, di mana gas ini tidak berwarna dan tidak berbau. Dampak kesehatan yang dirasakan bila seseorang terpapar gas CO adalah pusing kepala, mual, gangguan pernapasan, dan bahkan dapat mematikan bila seseorang tersebut terlalu lama di dalam ruangan yang mengandung banyak Gas CO. Timbulnya gas CO ini dalam proses pembakaran adalah jumlah udara yang masuk ke dalam silinder berkurang atau campuran bahan bakar dengan udara yang masuk kedalam silinder gemuk sehingga mengakibatkan kandungan CO pada gas buang akan bertambah.

Menurut Rukaesih (2004:122) menyatakan karbon monoksida atau CO terjadi akibat pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar

yang mengandung karbon dan oleh pembakaran pada tekanan dan suhu tinggi yang terjadi pada sebuah mesin. Jalius dan Wagino (2008:5) menyatakan efek buruk dari emisi gas buang CO merupakan racun, masuk ke dalam paru-paru melalui pernafasan yang dapat mematikan manusia.

Menurut Putri Riski, 2013 menjelaskan bila seseorang terpapar atau terhirup gas CO ke dalam paru-paru maka gas ini akan beredar bersamaan dengan darah dan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan oleh tubuh. Hal ini karena gas CO bersifat racun, ikut bereaksi secara metabolis dengan darah (Hb). Ikatan karbon monoksida dengan darah (karbonsihaemaglobin), sehingga darah menjadi lebih mudah menangkap gas CO dan fungsi vital darah sebagai pengangkut pun menjadi bermasalah. Efek yang dirasakan tubuh manusia yaitu pusing, rasa tidak enak dimata, sakit kepala dan mual jika konsentrasi gas CO rendah. Akan sangat berbahaya bila konsentrasi gas CO tinggi, maka efek yang ditimbulkan adalah detak jantung meningkat, rasa tertekan di dada, sulit bernafas, kelemahan otot, serangan jantung dan berujung pada kematian.



Gambar 01. Menunjukkan gas buang yang dihasilkan antara campuran gemuk dan kurus
Sumber : Wardan, 1989 : 346

Toyota Astra Motor (1988:2-11) memaparkan rumusan persamaan reaksi pada CO yaitu bila udara tidak cukup atau kurang akan terjadi proses pembakaran tidak sempurna sehingga karbon di dalam bahan bakar terbakar dalam suatu proses sebagai berikut:

$$C + {}^{1}/_{2}O_2 \rightarrow CO$$

Pada kenyataannya gas CO yang dikeluarkan oleh mesin dipengaruhi oleh perbandingan campuran dari jumlah udara dan bahan bakar yang dihisap oleh mesin. Uraian di atas dapat disimpulkan bahwa emisi gas buang berupa CO timbul akibat dari bahan bakar yang terbakar tidak seluruhnya atau sebagian saja. Gas ini lebih berbahaya dibandingkan dengan gas buang HC sebab gas CO tidak berwarna dan tidak berbau jadi sulit untuk di deteksi oleh manusia untuk menghindarinya, ditambah dengan efek pada kesehatan manusia mulai dari gejala ringan hingga berujung pada kematian, salah satu cara untuk mendapatkan nilai CO menjadi rendah adalah dengan ditambahnya penggunaan *catalytic converter* pada saluran buang.

c. Emisi Gas Buang HC

Menurut Wardan (1989:345) emisi gas buang HC timbul karena bahan bakar yang belum terbakar namun sudah keluar bersama-sama gas buang menuju atmosfer. Hal ini dapat dimengerti sebab bahan bakar yang dipakai pada motor bensin adalah bahan bakar yang terbuat dari hidrokarbon. Timbulnya gas HC ini karena pembakaran yang kurang sempurna sehingga bahan bakar yang belum terbakar dan keluar masih

dalam bentuk hidrokarbon, atau dapat juga disebabkan karena penguapan dari bahan bakar.

Toyota Astra Motor (1988:2-11) menyatakan gas buang HC terbagi menjadi bahan bakar yang tidak terbakar dan keluar menjadi gas mentah dan bahan bakar terpecah karena reaksi panas berubah menjadi gugusan HC yang lain yang keluar bersama gas buang.

Di bawah ini adalah sebab-sebab utama timbulnya HC:

1) Dinding-dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah dapat menyebabkan sebagian bahan bakar tidak mampu melakukan pembakaran.
2) Missing (missingfire).
3) Adanya *overlap intake valve* (kedua valve sama-sama terbuka) yang merupakan gas pembilas/pembersih.

Menurut Tjitra Ardi, 2005 menyatakan bensin merupakan senyawa hidrokarbon, jadi setiap HC yang didapat pada gas buang kendaraan menunjukkan adanya bensin yang tidak terbakar dan terbuang bersama dengan sisa pembakaran. Apabila suatu senyawa hidrokarbon terbakar sempurna maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O).

Wardan (1989:345) menyatakan bila seseorang terhirup gas HC ini bisa menyebabkan mata pedih, sakit tenggorokan, sakit paru-paru, dan penyakit lain dan bahkan mungkin dapat menyebabkan kanker. Toyota Astra Motor (1988:2-10) menyebutkan beberapa dampak yang

ditimbulkan bila terhirup gas HC ini, salah satunya bila kepekatan HC-nya bertambah tinggi akan merusak sistem pernafasan manusia (tenggorokan) terutama yang beracun adalah benzena dan Toruene, hidrokarbon aktif seperti susunan (Olefine dan sebagainya) akan menyebabkan photo chemical smoke (smoke yang dimaksud disini adalah suatu kumpulan gugusan antara CO, HC dan N_2 yang bila terkena sinar matahari akan menimbulkan mata pedas.

3. Knalpot Pada Kendaraan

a. Pengertian Knalpot

Menurut Jalius dan Wagino (2008:299) menyatakan gas buang sepeda motor dikeluarkan melalui knalpot ke udara luar. Pada bagian dalam knalpot dikonstruksi sedemikian rupa sehingga di samping menampung gas buang, knalpot juga dapat meredam suara (silincer). Biasanya panjang dan diameter telah disesuaikan sehingga jika dilakukan perubahan (modifikasi) dapat mempengaruhi kemampuan sepeda motor.

Menurut Daryanto (1995:88) menjelaskan bila gas bekas dilepas di udara luar secara langsung tanpa menggunakan peredam suara gelombang suara dengan frekuensi yang tinggi akan terjadi, sehingga terdengar suara keras yang bising sekali. Jika melalui peredam suara atau knalpot, denyutan-denyutan gas diubah menjadi aliran gas yang rata dan tekanannya dikurangi dengan tingkat yang dapat diterima sebelum ke luar ke udara bebas. Berdasarkan hukum Bernaoulli menyatakan apabila di dalam sebuah pipa horizontal, semakin besar kecepatan aliran fluida,

maka semakin kecil tekanannya, dan begitu juga sebaliknya. Daryanto (2008:45) menguatkan bahwa pipa buang mengalirkan gas-gas dari saluran buang ke muffler/peredam suara. Pipa yang terbuat dari baja ini mengalirkan gas ke bawah dan ditempatkan di bawah kendaraan. Pipa ini menghubungkan saluran *manifold* ke peredam atau ke *muffler*.

Toyota Astra Motor (3-43) menyatakan Gas bekas (exhaust gas) dikeluarkan dari mesin dengan tekanan yang tinggi (3-5 kg/cm^2) dan temperaturnya sekitar 600-800^oC. Temperatur tinggi ini telah memenuhi standar suhu kerja pada katalis. Besarnya panas ini kira-kira 34% dari energi panas yang dihasilkan oleh mesin. Bila gas bekas dengan panas dan tekanan yang tinggi seperti ini langsung ditekan ke udara luar, maka gas tersebut akan mengembang dengan cepat sekali, menyebabkan timbulnya suara ledakan yang keras. Muffler digunakan untuk mencegah terjadinya hal tersebut. Gas bekas dikurangi tekanannya dan didinginkan melalui muffler.

Dalam penelitian ini terdapat dua buah knalpot yang akan diuji yaitu knalpot Honda Beat Tahun 2011 yang belum menggunakan *catalytic converter* dan knalpot Honda Beat Tahun 2015 yang telah terpasang *catalytic converter*. Desain ukuran dan bentuk kedua knalpot sama.

Gambar 02. Knalpot Honda Beat tahun 2015 dan 2011

b. Bagian-Bagian pada Knalpot

1) Header Knalpot

Dalam motorjogja.com menjelaskan header knalpot adalah bagian yang menghubungkan antara silinder dengan seluruh bagian knalpot untuk membuang gas-gas sisa hasil pembakaran. Pada bagian header knalpot ini langsung terhubung ke exhaust manifold dan menyesuaikan dengan konstruksi pada bagian pembuangan emisi gas buang. Menurut Yes Rafles, 2017 menyatakan header knalpot adalah bagian yang menghubungkan antara silinder dengan seluruh bagian knalpot untuk pembuangan gas sisa pembakaran.

Gambar 03. Header knalpot

2) Resonator Knalpot Motor

Resonator knalpot atau saringan knalpot yang terdapat pada knalpot sepeda motor berfungsi sebagai pengolah bunyi bising yang dihasilkan oleh hasil pembakaran mesin. Dengan adanya resonator ini kebisingan yang dihasilkan oleh pembakaran mesin dapat diredam oleh resonator knalpot ini. Pada header knalpot terdapat resonator knalpot atau saringan knalpot yang berfungsi sebagai menyaring suara hasil pembakaran mesin yaitu sebagai peredam suara mesin yang keras (Yes Rafles, 2017).

Gambar 04. saringan knalpot
Sumber: *bikersindo.wordpress.com/category/knalpot*

3) *Silencer* Knalpot

Fungsi *silencer* knalpot untuk mengurangi suara knalpot yang terlalu keras atau sebagai saringan udara pada knalpot motor (Yes Rafles, 2017). *Silencer* knalpot terletak pada bagian ujung knalpot yang memiliki fungsi hampir sama dengan resonator yaitu meminimalkan kebisingan suara dari mesin motor.

Gambar 05. *Silencer* knalpot

4. Catalytic Converter

a. Pengertian *Catalytic Converter*

Menurut Toyota Astra Motor (1996:3-43) menyatakan *catalytic converter* merupakan komponen *muffler* dari *emission control* sistem yang bertujuan untuk mengurangi jumlah CO (*Carbon Monoxide*), HC (*Hydrocarbon gas*) dan Nox (*Oxide of Nitrogen*) yang terkandung dalam gas hasil dari pembakaran dalam mesin. Menurut Halderman (2005:318) menyatakan pipa buang terhubung ke *manifold* atau *header* untuk mengalirkan gas bekas melalui *catalytic converter* dan kemudian ke *muffler* atau *silencer*. *Catalytic converter* dipasang antara *exhaust manifold* dan *muffler* untuk membantu mengurangi emisi gas buang.

Gambar 06. Letak *catalytic converter* pada knalpot Beat yang telah didesain

Menurut Bagus dan Subri (2005:90) *catalytic converter* merupakan alat yang digunakan sebagai kontrol emisi gas buang yang diletakkan setelah *exhaust manifold* pada system pembuangan kendaraan bermotor. Menurut Heri Purnomo (2013:3) *catalytic converter* merupakan salah satu alternatif teknologi yang dapat digunakan untuk menurunkan polutan dari emisi kendaraan bermotor.

b. Tipe-Tipe *Catalytic Converter*

Menurut Toyota New Step 1 (1996:3-43) terdapat dua tipe *catalytic converter*, tipe *catalyst* yang terkenal adalah : tipe pellet dan tipe monolithic. Tipe monolithic lebih banyak digunakan pada kendaraan, sebab mempunyai tahanan gas buang yang kecil, lebih ringan dan membantu mempercepat pemanasan pada mesin dibandingkan dengan tipe pellet. Sebuah *catalytic converter* terdiri atas salah satu dari dua catalist yaitu: *OC (Oxidation Catalyst)* dan *TWC (Three Way Catalyst)*. OC terdiri dari platinum dan palladium, yang dapat mengurangi CO dan HC. TWC mengandung platinum dan Rhodium yang dapat mengurangi CO dan HC terutama Nox.

Berdasarkan penjelasan diatas peneliti akan mengacu pada tipe *catalytic converter* monolithic yang lebih banyak digunakan pada kendaraan-kendaraan saat ini. Pada *catalytic converter* yang akan dirancang akan dimodifikasi dan disesuaikan dengan bentuk dari *chassing* katalis tersebut. Dalam jurnal ilmiah yang dilakukan oleh Heri Purnomo (2013:3) mengatakan terdapat tiga tipe *catalytic converter* sebagai berikut:

1) *Catalytic Converter* Oksidasi

Catalytic converter oksidasi atau *single bed oxidation catalytic converter* beroperasi pada keadaan udara berlebih dan mengubah HC dan CO menjadi H_2O dan CO_2. Namun *catalytic converter* ini tidak memberikan pengaruh terhadap Nox. Untuk

diketahui bahwa oksidasi HC pada fase tanpa katalis dibutuhkan waktu lebih 50ms dan temperatur lebih dari 600^{o}C. Untuk oksidasi CO dibutuhkan temperatur lebih besar 700^{o}C (Heisler, 1995:698).

2) *Catalytic Converter* Dua Jalan

Sistem ini terdiri dari dua sistem katalis yang dipasang segaris. Dimana gas buang pertama mengalir melalui *catalytic* reduksi dan kemudian *catalytic* oksidasi. Sistem pada bagian depan merupakan katalis reduksi yang berfungsi untuk menurunkan emisi Nox. Sedangkan sistem yang kedua (bagian belakang) merupakan katalis oksidasi yang dapat menurunkan emisi HC dan CO. Namun, sistem ini tidak optimal dalam mengkonversikan gas NOx.

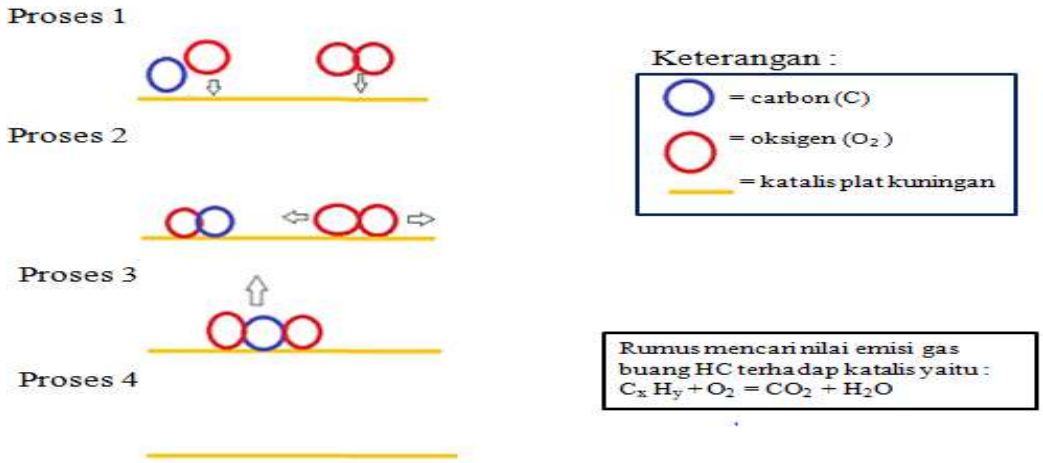
3) *Catalytic Converter* Tiga Jalan

Sistem ini dirancang untuk mengurangi gas-gas polutan, seperti CO,HC, NOx yang keluar dari sistem gas buang dengan cara mengubahnya melalui reaksi kimia menjadi CO_2, uap (H_2O), dan nitrogen (N_2), terdapat tiga reaksi simultan.

Uraian mengenai tipe-tipe pada *catalytic converter* diatas peneliti akan menerapkan tipe *catalytic converter* oksidasi atau *single bed oxidation catalytic converter* dimana pada katalitik tipe ini memaksimalkan dalam mengurangi emisi gas CO dan HC menjadi CO_2 dan H_2O.

c. Cara Kerja *Catalytic Converter*

Proses kerja *catalytic converter* pada alat penelitian dalam hal ini menggunakan katalis plat kuningan yang akan dijadikan sebagai *catalytic converter*. Untuk lebih jelasnya peneliti akan mengilustrasikan proses kerja *catalytic converter* dengan tipe oksidasi sebagai berikut :



Gambar 07. Proses kerja *catalytic converter*

Molekul gas CO dan HC yang terdapat pada emisi gas buang belum bersentuhan atau terjadi kontak dengan katalis sehingga belum terjadi reaksi-reaksi kimia antara molekul gas dengan katalisator seperti yang terlihat pada proses 1. Reaksi-reaksi kimia mulai terjadi pada proses 2 saat molekul gas karbon bersentuhan dengan katalis maka molekul karbon akan ditarik oleh oksigen yang lebih kuat gaya tariknya terhadap katalisator sehingga antara molekul gas karbon dan oksigen akan menempel menjadi gas CO, berikutnya ikatan antara oksigen dengan oksigen akan lebih kuat gaya tarik menarik terhadap katalisator sehingga akan menempel pada katalis. Namun gaya tarik menarik antar oksigen dengan oksigen menjadi lemah sehingga terlepas dari ikatannya dibandingkan dengan gaya tarik

menarik antar karbon dan oksigen, salah satu dari ikatan oksigen yang terlepas akan tertarik oleh molekul CO sehingga membentuk produk baru berupa gas CO_2 seperti yang terlihat pada proses 3.

Setelah proses terbentuknya CO_2, gaya tarik katalisator terhadap gas CO_2 menjadi lemah dibandingkan gaya tarik menarik gas CO terhadap katalisator. sehingga CO_2 akan terlepas dari katalisator lalu katalisator akan menjadi kosong kembali dan siap untuk melakukan reaksi berikutnya dari proses pembakaran yang terjadi pada *engine* seperti yang terihat pada proses 4.

5. Katalis

a. Pengertian Katalis

Menurut Bagus dan Subri (2010:50) menyatakan katalis merupakan suatu zat yang dapat mempengaruhi kecepatan reaksi-reaksi kimia pada suhu tertentu tetapi tidak dikonsumsi dalam reaksi dan tidak mempengaruhi kesetimbangan kimia pada akhir reaksi. Menurut Emi dan Dyah (2004:20) menyatakan katalis merupakan zat yang dapat mempercepat laju reaksi, tetapi tidak mengalami perubahan kimia yang permanen. Menurut Wardan (1989:358) menyatakan katalis merupakan bahan untuk mempercepat reaksi kimia dengan tanpa merubah katalis itu sendiri. Septian dan Warju (2014:7) mengemukakan dalam jurnal ilmiahnya suhu kerja katalis agar mampu menurunkan emisi gas buang berbahaya adalah 349^{o}C dan tekanan yang terjadi pada gas buang yang dikeluarkan melalui knalpot sebesar 3-5kg/cm^2. Konstruksi katalis akan

dibentuk sedemikian rupa agar tidak menghambat laju aliran dari gas buang yang akan dikeluarkan ke udara bebas namun tetap mampu menurunkan emisi gas buang CO dan HC.

b. Tipe Katalis

Menurut pendapat Heri Purnomo (2013:4) dalam jurnal ilmiahnya menyatakan terdapat 2 tipe katalis, yaitu sebagai berikut:

1) Katalis Homogeneous

Menurut Heri Purnomo (2013:4) menjelaskan katalis tipe ini tertuju pada proses dengan sedikitnya satu reaktan dalam larutan yang bersifat sebagai katalis. Menurut Windi (2017:3) menyatakan katalis homogen yakni katalis yang mempunyai fasa sama dengan reaktan dan produk.

2) Katalis Heterogeneous

Heri Purnomo (2013:4) menjelaskan katalis ini terdiri dari satu phase, umumnya phase katalisnya adalah padat sedangkan reaktan dan produk adalah phase cair atau gas. Menurut Windi (2017:4) menyatakan katalis heterogen merupakan katalis yang tidak sama dengan fase reaktan dan/atau fase produk reaksi (atau: fase katalis ≠ fase reaksi). Sifat-sifat katalis heterogen adalah mudah dipisahkan dari campuran reaksi, tahan dan stabil terhadap suhu relatif tinggi dan konstruksi yang sederhana.

c. Bahan Material Katalis

Menurut Wardan (1989:358) mengatakan terdapat tiga bahan material seperti platinum, paladium, rhodium yang dapat dijadikan bahan katalis. Menurut jurnal ilmiah yag dilakukan oleh Heri Purnomo (2013:3) bahan dasar dari *catalytic converter* adalah logam katalis. Logam katalis yang biasa digunakan adalah platinum (Pt) dan Rhodium (Rh). Dalam beberapa jurnal ilmiah yang lainnya membahas mengenai bahan katalis yang dapat dijadikan *catalytic converter* adalah tembaga, kuningan, mangan, besi, dan nikel.

d. Proses Adsorpsi Pada Katalis Heterogen

Menurut Lienda (1995:204) menyatakan adsorpsi adalah suatu proses pemisahan bahan dari campuran gas atau cair, bahan yang harus dipisahkan ditarik oleh permukaan adsorben padat dan diikat oleh gaya-gaya yang bekerja pada permukaan tersebut. Menurut Muhammad Husin (2012:6) menyatakan adsorpsi merupakan fenomena fisik yang terjadi antara molekul-molekul fluida (gas atau cair) yang dikontakkan dengan suatu permukaan padat. Peristiwa adsorpsi disebabkan oleh adanya tarik menarik molekul-molekul dipermukaan adsorben (Sukardjo, 1990:290) Adsorben adalah material yang akan memisahkan dan menarik molekul-molekul gas atau cair (adsorbat) yang akan di adsorpsi, adsorbat adalah molekul-molekul yang akan dipisah dan ditarik biasanya dalam bentuk

gas. Dari penjelasan di atas terdapat beberapa fakor-faktor yang mempengaruhi proses sentuhan gas buang terhadap desain pada katalis :

1) Durasi sentuhan, durasi sentuhan atau waktu terjadi kontak merupakan suatu hal yang sangat menentukan dalam proses sentuhan gas buang terhadap adsorben. Waktu kontak memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik.
2) Karakteristik Adsorben, ukuran partikel merupakan syarat yang penting dari suatu katalis untuk digunakan sebagai adsorben. Ukuran partikel arang mempengaruhi kecepatan dimana adsorpsi terjadi. Kecepatan adsorpsi meningkat dengan menurunnya ukuran partikel.
3) Luas Permukaan, semakin luas adsorben, semakin banyak adsorbat yang diserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Semakin kecil ukuran diameter adsorben maka semakin luas permukaannya. Kapasitas adsorpsi total dari suatu adsorbat tergantung pada luas permukaan total adsorbennya.
4) Kelarutan Adsorbat, agar adsorpsi dapat terjadi suatu molekul harus terpisah dari larutan. Senyawa yang mudah larut mempunyai afinitas yang kuat untuk larutannya dan karenanya lebih sukar untuk teradsorpsi dibandingkan senyawa yang sukar larut. Akan tetapi ada perkecualian karena banyak senyawa yang dengan kelarutan rendah sukar diadsorpsi, sedangkan beberapa senyawa

yang sangat mudah larut diadsorpsi dengan mudah. Usaha-usaha untuk menemukan hubungan kuantitatif antara kemampuan adsorpsi dengan kelarutan hanya sedikit yang berhasil.

5) Ukuran Molekul Adsorbat, ukuran molekul adsorbat benar-benar penting dalam proses adsorpsi ketika molekul masuk ke dalam mikropori suatu partikel katalis untuk diserap. Adsorpsi paling kuat ketika ukuran pori-pori adsorben cukup besar sehingga memungkinkan molekul adsorbat untuk masuk.

6) Temperatur, temperatur di mana proses adsorpsi terjadi akan mempengaruhi kecepatan dan jumlah adsorpsi yang terjadi. Kecepatan adsorpsi meningkat dengan meningkatnya temperatur, dan menurun dengan menurunnya temperatur. Namun demikian, ketika adsorpsi merupakan proses eksoterm, derajat adsorpsi meningkat pada suhu rendah dan akan menurun pada suhu yang lebih tinggi.

Proses adsorpsi yang terjadi pada katalis heterogen adalah proses kimia dimana adsorpsi yang terjadi adanya reaksi antara molekul adsorbat dan adsorben, yang membentuk ikatan kovalen dengan ion. Adsorpsi bersifat tidak *reversible* dan hanya membentuk lapisan. Umumnya terjadi pada suhu tinggi, sehingga panas adsorpsi tinggi. Adsorpsi ini terjadi dengan pembentukan senyawa kimia, sampai ikatannya lebih kuat (Sukardjo, 1985). Salah satu contoh-contoh adsorpsi

adalah pemisahan bahan mengandung racun atau yang berbau busuk dari udara buang.

Menurut Misri (2006:1) prinsip adsorpsi adalah dengan memanfaatkan besarnya difusivitas/aliran molekul-molekul gas pada larutan tertentu. Kecepatan adsorpsi tidak hanya tergantung pada perbedaan konsentrasi dan luas permukaan adsorben, melainkan juga pada suhu, tekanan (untuk gas), ukuran partikel dan porositas adsorben (Lienda, 1995:204). Adsorpsi biasanya dapat dilakukan pada gas-gas atau cairan yang relatif berkonsentrasi rendah.

6. Kuningan (CuZn)

a. Pengertian kuningan

Menurut Sukarmin (2004:32) menyatakan campuran logam dengan logam yang lain sehingga membentuk campuran yang homogen. Pencampuran logam dilakukan dengan melelehkan logam-logam tersebut. Campuran logam dengan dengan logam lain dinamakan paduan logam. Menurut Asmara (2015:16) dan Supriyanto (2010:50) menyatakan kuningan merupakan logam campuran dari tembaga (Cu) dan seng (Zn). Tembaga adalah komponen utama dari kuningan yang diklasifikasikan sebagai paduan tembaga dan kuningan pada dasarnya adalah paduan tembaga dengan seng sebagai unsur paduan utama.

b. Pengaruh kuningan sebagai katalis terhadap gas CO dan HC

Menurut Sukarmin (2004:31) mengemukakan ciri-ciri terjadinya suatu reaksi kimia dapat diketahui dari perubahan yang diakibatkan oleh

reaksi tersebut. Beberapa perubahan tersebut adalah terbentuknya endapan, perubahan warna, terbentuknya gas dan adanya perubahan suhu. Imam (2010:3) menyatakan senyawa adalah zat-zat yang terbentuk dari unsur-unsur melalui suatu reaksi kimia. Sifat-sifat suatu senyawa sangat berbeda dengan sifat-sifat unsur pembentuknya. Seperti air (H_2O) merupakan senyawa yang terbentuk dari unsur-unsur hidrogen dan oksigen. Namun sifat air tidak sama dengan sifat hidrogen dan oksigen sebab air berwujud cair sementara hidrogen dan oksigen berwujud gas pada suhu kamar. Gas hidrogen mudah terbakar sedangkan air mustahil terbakar.

Campuran merupakan hasil penggabungan dari beberapa zat-zat tanpa terjadinya reaksi kimia. Oleh sebab itu, suatu campuran dapat dipisahkan dengan cara filtrasi (penyaringan), kristalisasi (penghabluran), destilasi (penyulingan), ekstraksi (pemisahan), adsorpsi (penyerapan). Sifat kimia adalah ciri-ciri suatu zat yang menyatakan apakah suatu zat dapat mengalami perubahan kimia tertentu. Sedangkan ciri fisika adalah ciri-ciri suatu materi yang dapat diamati tanpa mengubah zat-zat yang menyusun materi tersebut.

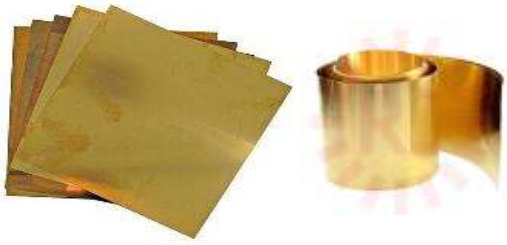
Reaksi padatan CuZn terhadap gas buang HC dan CO bereaksi secara heterogen. Gaya tarik menarik antar partikel zat lebih kuat campuran padatan CuZn dibandingkan dengan senyawa gas HC dan CO, lalu pada proses yang terjadi antar CuZn dan gas HC dan CO adalah proses adsorpsi (pengikatan) dipermukaan logam CuZn. Padatan CuZn

menyerap dan mengikat gas HC dan CO sehingga terperangkap dalam padatan tersebut kemudian pada akhir proses adsorpsi padatan CuZn akan melepaskan emisi gas buang tidak berbahaya yaitu H_2O dan CO_2 yang disebut dengan proses desorpsi (pelepasan). Pada jurnal ilmiah yang dilakukan oleh Heri Purnomo (2013:7) menuliskan persamaan reaksi kimia yang terjadi pada suatu pembakaran sempurna terhadap katalis tembaga (Cu) berlapis manganese (Mn) terhadap konsentrasi CO_2. pembakaran sempurna terjadi bila seluruh benzena (C_6H_6) dapat bereaksi seluruhnya menjadi CO_2 dan H_2O. Persamaan reaksi kimia pembakaran sempurna benzena (C_6H_6) adalah sebagai berikut:

$$C_6\,H_6 + 7{,}5O_2 + 47N_2 \rightarrow 6CO_2 + 3H_2O + 47N_2$$

c. Jenis kuningan yang digunakan sebagai katalis

Paduan logam tembaga dan logam seng memiliki kadar tembaga 60-96%, jenis kuningan pada plat kuningan (*brass wire*) kadar tembaga antara 60-90%. Jenis kuningan ini memiliki ketebalan yang bervariasi yaitu mulai dari 0,15-5 mm.



Gambar 08. Plat Kuningan
Sumber : *www.indotrading.com/kuningan_4830*

Titik cair dari sebuah benda padat adalah suhu benda tersebut akan berubah bentuk menjadi cair, menurut Asmara (2015:16) pada logam

kuningan memiliki titik cair yang bervariasi tergantung pada jumlah paduan komposisi bahan Cu dan Zn. Berikut tabel titik cair standar kuningan.

Tabel 2. Titik cair standar kuningan

Komposisi bahan	Titik cair
85% Cu – 15%Zn	1150-1200
60% Cu – 40% Zn	1030-1080
70% Cu – 30% Zn	1080-1130

Sumber : Asmara, 2015:16

Semakin tinggi konduktivitas termal dan *melting point* pada kuningan (CuZn), maka semakin baik pula bahan tersebut untuk dijadikan sebagai katalis. Penelitian pada knalpot yang menggunakan lilitan tembaga sebagai katalis didapatkan penurunan nilai emisi gas buang HC sebesar 78,23% dengan jumlah lilitan kawat tembaga sebanyak 180 lilitan (Rahmat,2014). Penelitian yang dilakukan oleh (Septian dan Warju,2014) yang menggunakan kuningan berlapis nikel sebagai katalisatornya mampu menurunkan emisi gas buang CO dan HC yang cukup signifikan. Penurunan tertinggi CO terjadi pada putaran mesin menengah disebabkan adanya teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan berlapis nikel yang sudah mampu mereduksi emisi CO karena suhu kerja pada katalis 349^{o}C.

Penggunaan plat kuningan (CuZn) sebagai pengganti bahan katalis berdasarkan beberapa faktor yaitu, material ini mudah didapatkan di

pasaran, harga relatif murah, memiliki sifat mudah dibentuk, konduktor panas yang baik dan tahan terhadap temperatur tinggi dan mempunyai tahanan korositas.

Uraian di atas dapat disimpulkan bahwa kuningan merupakan paduan dua logam yaitu antara tembaga (Cu) dan seng (Zn). Penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini menggunakan plat kuningan dengan kandungan Cu sebesar 85% dan Zn 15% dengan titik cairnya 1150-1200^{o}C dan dengan ketebalan plat sebesar 0,6mm ukuran 30 x 120 cm lalu plat tersebut dipotong dan dibentuk disesuaikan dengan bentuk chasing yang akan dipasang pada saluran buang, maka sangat memungkinkan untuk digunakan sebagai katalis pada saluran buang sepeda motor tanpa harus khawatir logam tersebut akan mencair.

B. Penelitian Relevan

Penelitian yang relevan diambil untuk mendukung atau mempertegas teori-teori yang telah di kemukakan dalam kajian teori ini, peneliti mengambil kesimpulan dari penelitian-penelitian yang peneliti anggap relevan dengan penelitian ini yaitu:

1. Rahmat Ikhsan (2014) dalam penelitiannya yang berjudul "Pengaruh Penggunaan Tembaga Sebagai Katalis pada Saluran Buang Sepeda Motor Yamaha Vega ZR Terhadap Emisi Gas Buang HC". Hasil penelitian menunjukkan terdapat penurunan kadar emisi gas buang HC yang disebabkan pengaruh penggunaan katalis tembaga, penurunan kadar gas HC yang paling banyak terdapat pada lilitan 180 kawat tembaga, yang mana

penurunannya sebesar 78.23% pada putaran 2000 Rpm jika dibandingkan dengan lilitan 60 dan 120 kawat tembaga.

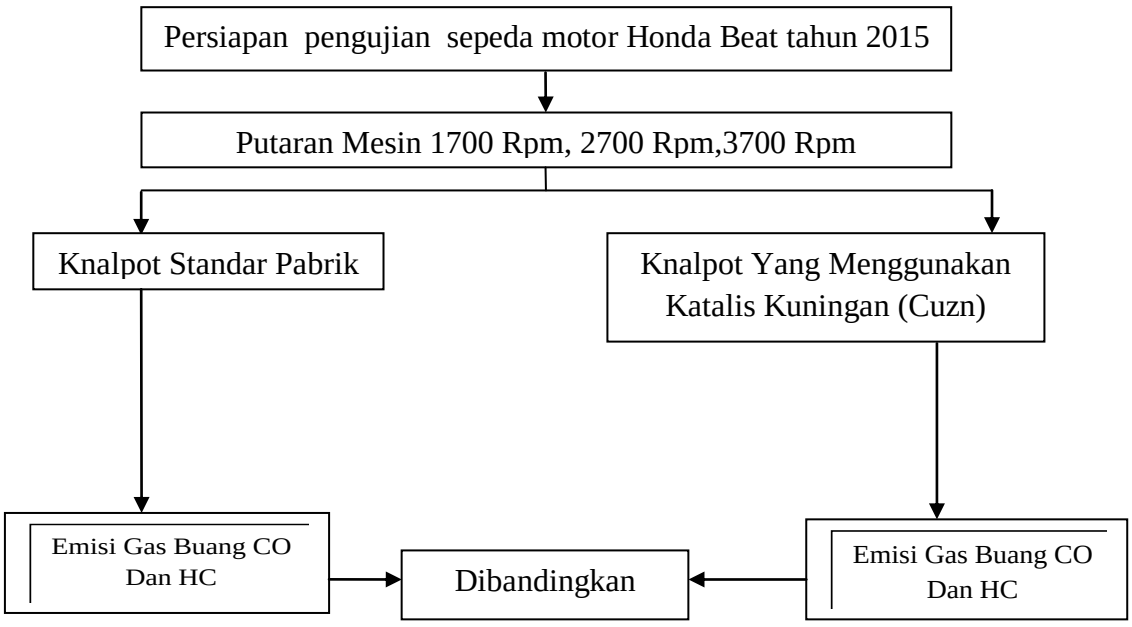
2. Iwil (2015) dalam penelitiannya yang berjudul "Perbedaan HC pada Kendaraan Menggunakan Knalpot Katalis Pipa Kuningan Dengan Knalpot Standar". Hasil penelitian menunjukkan perbedaan rata-rata kadar emisi gas buang HC pada kendaraan menggunakan knalpot standar terendah pada putaran mesin 2600 Rpm nilai HC sebesar 195 ppm dan pada 1400 Rpm sebesar 521,667. Penggunaan katalis pipa kuningan pada Rpm 2600 didapat rata-rata sebesar 136,333 ppm dan pada Rpm 1400 sebesar 331,667.
3. Heri Purnomo (2013) dalam penelitiannya berjudul "Analisa Pengaruh Knalpot *Catalytic Converter* Dengan Katalis Tembaga (Cu) Berlapis Mangan (Mn) Terhadap Gas Buang Pada Honda Supra X 100 CC". Hasil penelitian menunjukkan perbedaan rata-rata kadar emisi gas buang HC dari 229.50 menjadi 177,67. Lalu, pada kadar emisi CO dari rata-rata konsentrasi 8.17% menjadi 4,28%.
4. Ali Mokhtar (2014) dalam penelitiannya yang berjudul "*Catalytic Converter* Jenis Katalis Plat Tembaga Berbentuk Sarang Lebah Untuk Mengurangi Emisi Kendaraan Bermotor". Hasil penelitian menunjukkan penurunan emisi paling signifikan terjadi pada CO dan HC masing-masing sebesar 41,85% dan 29,16%, baru disusul CO_2 sebesar 12,88%.

Beberapa penelitian di atas menunjukkan adanya pengaruh dari masing-masing logam mulia yang digunakan sebagai katalisator untuk menurunkan gas buang HC maupun CO. Namun, dari penelitian di atas

hanya melakukan penelitian pada sepeda motor jenis bebek dan *engine stand* yang mana pada *engine stand* tidak sesuai dengan aturan standard untuk melakukan pengujian emisi gas buang serta melakukan percobaan katalisator hanya pada satu model saja. Untuk itu penelitian ini akan dicobakan dengan tiga model desain katalis yang akan dipasang sebagai katalisator untuk menurunkan emisi gas buang HC dan CO pada sepeda motor *matic* Honda Beat tahun 2015.

C. Kerangka Konseptual

Berdasarkan kajian pustaka dan penelitian yang relevan di atas, maka kerangka konseptual pada penelitian ini adalah dengan melakukan pengujian emisi gas buang CO dan HC sepeda motor Honda Beat tahun 2015 menggunakan knalpot standar pabrik dan knalpot yang menggunakan katalis.



Gambar 09. Kerangka Konseptual

D. Hipotesis

Berdasarkan uraian masalah dan deskripsi teori di atas maka hipotesis dalam penelitian ini adalah terdapat perbedaan yang signifikan nilai CO dan HC pada sepeda motor Honda Beat tahun 2015 menggunakan knalpot katalis kuningan (CuZn) dengan knalpot standar pabrik.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian ini disimpulkan bahwa pemasangan *catalytic converter* berbahan logam mulia plat kuningan (CuZn) sangat berpengaruh pada pengurangan konsentrasi gas buang, secara umum dengan pemasangan *catalytic converter* ini diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Dengan pemasangan *catalytic converter* berhasil menurunkan kadar emisi CO rata-rata sebesar 0,35% menjadi 0,05% pada knalpot tanpa katalis dengan katalis tipe 2 putaran 1700 rpm, yang berarti katalis bekerja dengan baik.
2. Dengan pemasangan *catalytic converter* berhasil menurunkan kadar emisi HC rata-rata sebesar 369,3 ppm menjadi 33,7 ppm pada putaran 1700 rpm, yang berarti *catalytic converter* bekerja dengan baik.
3. Dari hasil yang didapatkan terdapat hasil yang fluktuatif dikarenakan beberapa faktor yang dipengaruhi oleh suhu dari mesin sepeda motor, pemasangan katalis, desain dari bentuk katalis dan jumlah katalis yang dimasukkan dalam *chassing*.

B. Saran

1. Untuk sepeda motor yang belum dilengkapi teknologi pengontrol emisi gas buang sangat baik bila mencoba dan menggunakan katalis plat kuningan guna mengurangi polusi udara yang semakin meningkat.
2. Untuk penelitian selanjutnya yang sejenis sangat baik kalau dianalisa faktor-faktor lain yang mempengaruhi tentang penurunan emisi gas buang HC dan CO pada kendaraan bermotor.

3. Bagi peneliti yang akan mengadakan penelitian yang relevan di masa yang akan datang sangat baik bila mencoba memiih bahan lain sebagai katalis sebab dalam penelitian ini peneliti hanya menggunakan kuningan sebagai katalis.

DAFTAR PUSTAKA

Asmara. 2015. "Dasar Teori Kuningan". *Jurnal Ilmiah.* Hlm 16.

Bagus Irawan dan Muhammad Subri. 2005. "Unjuk Kemampuan Catalytic Converter Dengan Katalis Kuningan Untuk Mereduksi Gas Hidro Carbon Motor Bensin". *Jurnal Litbang UNIMUS*. Hlm 90.

Bagus Irawan dan Muhammad Subri. 2010. "Unjuk Kemampuan Catalytic Converter Dengan Material Substrat Kuningan (Paduan Cuzn) Untuk Mereduksi Gas Buang Motor Bensin*". Jurnal Litbang UNIMUS*. Hlm 50.

Bayu Ardiansah. 2010. " Studi Kimia Antarmuka Pada Reaksi Hidrogenasi Gasolin Dengan Katalis Ni/Al_2O_3". *Olimpiade Sains Nasional Pertamina UI.* Hlm 12

Daryanto. 1995. *Teknik Otomotif*. Jakarta: Bumi Aksara.

Daryanto. 2008. *Motor Bakar Untuk Mobil.* Jakarta: Rineka Cipta.

Daryanto. 2008. *Pengetahuan komponen mobil*. Jakarta: Bumi Aksara.

Gaikindo. 2015. "Mengenal Standar Emisi Euro". https://www.gaikindo.or.id diakses tanggal 7 Januari 2018.

Ganesan V. 2004. *Internal combustion engines Second Edition*. Singapore: McGraw-Hill.

Gozan Misri. 2006. *Absorpsi, Leaching, dan Ekstraksi Pada Industri Kimia*. Jakarta: UI-Press.

Handojo Lienda. 1995. *Teknologi Kimia 2*. Jakarta: PT Pradoya Paramita.

Heisler, Heinz. 1995. *Advanced Engine Techonology*. Edward Arnold, London

Heri Purnomo. 2013. "Analisa Pengaruh Knalpot Catalytic Converter Dengan Katalis Tembaga (Cu) Berlapis Mangan (Mn) Terhadap Gas Buang Pada Honda Supra X 100 CC". *Jurnal Ilmiah*. Hlm 3-4.

Jalius Jama, dkk. 2008. *Teknik Sepeda Motor Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Jalius Jama dan Wagino. 2008. *Teknik Sepeda Motor Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar Dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.