

Bidang Fokus Penelitian*: Transportasi

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN PENGEMBANGAN PROTOTIPE INDUSTRI**



**JUDUL PENELITIAN:
PENGEMBANGAN KNALPOT SEPEDA MOTOR RAMAH LINGKUNGAN
BERTEKNOLOGI *METALLIC CATALYTIC CONVERTER* TITANIUM DIOKSIDA
(TiO₂) SEBAGAI PROTOTIPE INDUSTRI UNTUK MENDUKUNG PROGRAM
LANGIT BIRU (*BLUE SKY PROGRAM*) DAN SDGs**

TIM PENGUSUL:

Dr. Warju, S.Pd., S.T., M.T.

NIDN 0028038101

Novi Sukma Drastiawati, S.T., M.Eng.

NIDN 0024118402

**UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
NOVEMBER 2019**

HALAMAN PENGESAHAN PENELITIAN PENGEMBANGAN PROTOTIPE INDUSTRI

HALAMAN PENGESAHAN PENELITIAN PENGEMBANGAN PROTOTIPE INDUSTRI

Judul Penelitian	: Pengembangan Knalpot Sepeda Motor Ramah Lingkungan Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Titanium Dioksida (TiO_2) Sebagai Prototipe Industri Untuk Mendukung Program Langit Biru (<i>Blue Sky Program</i>) dan SDGs
Kode>Nama Rumpun Ilmu	: 431/Teknik Mesin (dan Ilmu Permesinan Lain)
Bidang Fokus Penelitian	: Transportasi
Ketua Peneliti	
a. Nama Lengkap	: Dr. Warju, S.Pd., S.T., M.T.
b. NIDN	: 0028038101
c. Jabatan Fungsional	: Lektor
d. Program Studi	: S1 Teknik Mesin
e. Nomor HP	: 081330670825
f. Alamat surel (e-mail)	: warju@unesa.ac.id
Anggota Peneliti (1)	
a. Nama Lengkap	: Novi Sukma Drastiawati, S.T., M.Eng.
b. NIDN	: 0024118402
c. Perguruan Tinggi	: Universitas Negeri Surabaya
Institusi Mitra	
a. Nama Institusi Mitra	: Bengkel Randim Jaya (Spesialis Knalpot)
b. Alamat	: Jl. Tidar No. 178 Surabaya
c. Penanggung Jawab	: Candra Adi Pratama
Lama Penelitian Keseluruhan	: 3 tahun
Usulan Penelitian Tahun ke-	: 1
Biaya Penelitian Keseluruhan	: Rp. 450.000.000,-
Biaya Penelitian	:
- Didanai oleh LPPM UNESA	: Rp. 80.000.000,-
- dana institusi mitra	: Rp. - / in kind tuliskan: - (jika ada)

Surabaya, 26 November 2019

Ketua Peneliti,



Dr. Warju, S.Pd., S.T., M.T.
NIP. 198103282006041001



RINGKASAN

Sepeda motor merupakan moda transportasi yang paling banyak diminati oleh masyarakat karena murah, praktis dan ekonomis. Namun, di samping memberikan sarana transportasi yang sangat berguna bagi masyarakat, sepeda motor juga merupakan penyumbang utama polusi udara akibat emisi gas buang yang ditimbulkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan knalpot sepeda motor ramah lingkungan berteknologi *metallic catalytic converter* titanium dioksida (TiO_2) sebagai prototipe industri. Teknologi ini merupakan salah satu alternatif solusi terhadap masalah emisi gas buang kendaraan bermotor untuk mendukung program langit biru (*blue sky program*) dan tujuan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development goals/SDGs*), khususnya tujuan global ke-13 yaitu mengatasi perubahan iklim dan dampaknya (*combat climate change and its impact*).

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Obyek penelitian adalah sepeda motor Yamaha Vixion tahun perakitan 2013. Standar pengujian emisi gas buang berdasarkan SNI 09-7118.3-2005. Standar pengujian performa mesin berdasarkan SAE J1349. Standar pengujian konsumsi bahan bakar berdasarkan SNI 7554:2010. Sedangkan standar pengujian tingkat kebisingan knalpot berdasarkan SAE J1287. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah knalpot standar dan knalpot eksperimen berteknologi *metallic catalytic converter* TiO_2 . Variabel kontrol adalah putaran mesin, temperatur oli mesin, temperatur dan kelembaban udara ambient, serta bahan bakar Pertamina. Sedangkan variabel terikat adalah emisi gas buang, performa mesin (torsi, daya efektif dan konsumsi bahan bakar), serta tingkat kebisingan kendaraan. Teknik analisis data menggunakan metode deskriptif kuantitatif.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap reduksi emisi CO, HC, CO_2 , konsumsi bahan bakar dan tingkat kebisingan pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2013. Selain itu, dapat meningkatkan torsi dan daya mesin sepeda motor. *Catalytic converter* TiO_2 variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO_2 mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi CO masing-masing sebesar 86,96%, 39,13%, dan 33,91% dibandingkan dengan emisi CO knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. *Catalytic converter* TiO_2 variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO_2 mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi HC masing-masing sebesar 75,12%, 72,64%, dan 69,65% dibandingkan dengan emisi HC knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. *Catalytic converter* TiO_2 variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO_2 mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi CO_2 masing-masing sebesar 23,69%, 18,70%, dan 13,68% dibandingkan dengan emisi CO_2 knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. *Catalytic converter* TiO_2 variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO_2 mendapatkan perubahan peningkatan torsi masing-masing sebesar 14,58%, 10,94%, dan 10,61% dibandingkan dengan torsi knalpot standar dengan MCC Pt & Rh. *Catalytic converter* TiO_2 variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO_2 mendapatkan

perubahan peningkatan daya masing-masing sebesar 14,46%, 10,90%, dan 9,63% dibandingkan dengan daya knalpot standar dengan MCC Pt & Rh. *Catalytic converter* TiO₂ variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr mendapatkan persentase penurunan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar -18,73%, -14,88%, dan -13,48% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. *Catalytic converter* TiO₂ variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr mendapatkan persentase penurunan tingkat kebisingan masing-masing sebesar -3,41%, -3,18%, dan -3,01% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.

Kata kunci: *Metallic catalytic converter*, tembaga, TiO₂, emisi gas buang, performa mesin.

PRAKATA

Segala puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan akhir Penelitian Pengembangan Prototipe Industri Tahun 2019 ini dengan baik dan lancar.

Laporan akhir Penelitian Pengembangan Prototipe Industri ini disusun sebagai bentuk pertanggungjawaban atas pelaksanaan penelitian dana PNBPN Unesa tahun 2019 yang berjudul “Rancang Bangun Knalpot Sepeda Motor Ramah Lingkungan Berteknologi *Metallic Catalytic Converter* Titanium Dioksida Untuk Mendukung Program Langit Biru (*Blue Sky Program*) dan SDGs”.

Keberhasilan penyusunan laporan akhir Penelitian Pengembangan Prototipe Industri Tahun 2019 ini tentunya berkat bantuan dan dukungan semua pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Nurhasan, M.Kes. selaku Rektor Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendorong munculnya produk inovasi dan produk unggulan di Unesa.
2. Bapak Prof. Dr. Bambang Yulianto, M.Pd. selaku Wakil Rektor Bidang Akademik Unesa yang telah menyelenggarakan program penelitian dana PNBPN Unesa.
3. Ibu Prof. Dr. Darni, M.Hum. selaku Ketua LPPM Unesa yang selalu memfasilitasi kegiatan penelitian di Unesa.

4. Bapak Prof. Dr. Tukiran, M.Si selaku *reviewer* yang selalu memberikan masukan dan saran demi keberhasilan penelitian ini.
5. Ibu Prof. Dr. Titik Taufikurohmah, M.Si selaku *reviewer* yang selalu memberikan masukan dan saran demi keberhasilan penelitian ini.
6. Ibu Dr. Maspiyah, M.Kes. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendukung program penelitian.
7. Bapak Drs. Edy Sulisty, M.Pd. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendukung program penelitian.
8. Bapak Dr. Agus Wiyono, M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendukung pendanaan program penelitian.
9. Bapak Dr. Soeryanto, M.Pd. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendukung program penelitian.
10. Bapak Arya Mahendra Sakti, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendukung program penelitian.
11. Bapak Priyo Heru Adiwibowo, S.T., M.T. selaku Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendukung program penelitian.

12. Mas Sudirman Rizki Ariyanto, A.Md., S.Pd., M.Pd. selaku dosen luar biasa di Jurusan Teknik Mesin FT Unesa yang selalu membantu dalam kegiatan penelitian.
13. Mas Rio Adi Trisna selaku mahasiswa Prodi S1 Pendidikan Teknik Mesin-Otomotif di Jurusan Teknik Mesin FT Unesa yang selalu membantu dalam kegiatan penelitian.
14. Mas Ata Syifa' Nugraha selaku mahasiswa Prodi S1 Pendidikan Teknik Mesin-Otomotif di Jurusan Teknik Mesin FT Unesa yang selalu membantu dalam kegiatan penelitian.
15. Mas Dimas Dwi Utomo selaku mahasiswa Prodi DIII Teknik Mesin-Produksi di Jurusan Teknik Mesin FT Unesa yang selalu membantu dalam kegiatan penelitian, dan
16. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa laporan akhir penelitian pengembangan prototipe industri ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritikan dan saran dari para pembaca sangat diharapkan demi kesempurnaan laporan akhir ini di kemudian hari. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kita dan semoga laporan akhir penelitian pengembangan prototipe industri ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya. Aamiin YRA.

Surabaya, November 2019

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
A. Peneliti <i>Catalytic Converter</i> Sebelumnya	3
B. <i>Roadmap</i> Penelitian	6
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	8
A. Tujuan Penelitian	8
B. Manfaat Penelitian	8
BAB IV METODE PENELITIAN	9
A. Rancangan Knalpot Sepeda Motor Ramah Lingkungan Berteknologi <i>Metallic catalytic converter</i> Titanium Dioksida (TiO_2)	9
1. Desain Knalpot Eksperimen.....	9
2. Perancangan Aktif Metal Katalis (<i>Metallic catalytic converter</i>) Titanium Dioksida	10
3. Perancangan Penempatan Katalis pada Knalpot Eksperimen.....	11
B. Peralatan dan Instrumen Penelitian	13
C. Metode Pengujian	14
D. Tugas Personil	14
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	15
A. Data Hasil Penelitian	15
1. Emisi CO (Karbon Monoksida).....	15
2. Emisi HC (Hidrokarbon)	16
3. Emisi CO ₂ (Karbon Dioksida).....	16
4. Kadar O ₂ (Oksigen)	17
5. Lambda	18
6. Temperatur Gas Buang.....	19
7. Torsi.....	19
8. Daya.....	20
9. Konsumsi Bahan Bakar	21
10. Tingkat Kebisingan	21
11. Tekanan Balik (<i>Back Pressure</i>).....	22
B. Analisa dan Pembahasan	23
1. Perubahan Reduksi Emisi CO (Karbon Monoksida)	23
2. Perubahan Reduksi Emisi HC (Hidrokarbon).....	30
3. Perubahan Reduksi Emisi CO ₂ (Karbon Dioksida).....	36
4. Perubahan Torsi	40

5. Perubahan Daya	45
6. Perubahan Tekanan Balik	47
7. Perubahan Konsumsi Bahan Bakar	50
8. Perubahan Tingkat Kebisingan	52
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
A. Simpulan.....	55
B. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Roadmap penelitian pengembangan prototipe industri tahun 2019-2021.....	7
Gambar 2. Modifikasi CAT <i>casing</i> untuk memaksimalkan aliran	9
Gambar 3. Gambar desain knalpot eksperimen Yamaha Vixion Lighting.....	9
Gambar 4. <i>Metallic catalytic converter</i> berbahan dasar plat tembaga.....	10
Gambar 5. Langkah-langkah pelapisan titanium dioksida (TiO ₂) pada plat tembaga	10
Gambar 6. <i>Metallic catalytic converter</i> di dalam knalpot eksperimen	11
Gambar 7. Desain <i>metallic catalytic converter casing</i>	11
Gambar 8. Dimensi <i>metallic catalytic converter casing</i> (dalam mm)	12
Gambar 9. Bagian-bagian knalpot eksperimen Yamaha Vixion.....	12
Gambar 10. Dimensi knalpot eksperimen Yamaha Vixion	13
Gambar 10. Skema instrumen penelitian	13
Gambar 12. Grafik emisi CO terhadap lambda.....	24
Gambar 13. <i>Catalytic converter</i> titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	26
Gambar 14. <i>Catalytic converter</i> titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	26
Gambar 15. <i>Catalytic converter</i> titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂	27
Gambar 16. Skema diagram energi reaksi CO menjadi CO ₂	28
Gambar 17. Skema tahapan reaksi katalis heterogen.....	29
Gambar 18. Proses reaksi CO menjadi CO ₂	30
Gambar 19. Grafik emisi HC terhadap lambda.....	31
Gambar 20. Proses reaksi komposisi gas buang	33
Gambar 21. Air yang keluar dari gas probe setelah pengujian emisi pada knalpot standar dengan MCC Pt & Rh dan tanpa MCC Pt & Rh	34
Gambar 22. Air yang keluar dari <i>gas probe</i> setelah pengujian emisi <i>Catalytic converter</i> titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	34
Gambar 23. Air yang keluar dari <i>gas probe</i> setelah pengujian emisi <i>Catalytic converter</i> titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	35
Gambar 24. Air yang keluar dari <i>gas probe</i> setelah pengujian emisi <i>Catalytic converter</i> titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂	36
Gambar 25. Grafik emisi CO ₂ terhadap lambda	37
Gambar 26. Grafik emisi O ₂ terhadap lambda	39
Gambar 27. Grafik torsi terhadap lambda.....	41
Gambar 28. Desain lubang <i>outlet pipe</i> knalpot eksperimen Cu berlapis titanium dioksida	42
Gambar 30. Grafik daya terhadap putaran mesin.....	46
Gambar 31. Grafik tekanan balik terhadap putaran mesin.....	48
Gambar 32. Grafik konsumsi bahan bakar terhadap putaran mesin	51

Gambar 33. Grafik tingkat kebisingan terhadap lambda	53
--	----

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian Tentang Teknologi <i>Catalytic Converter</i>	3
Tabel 5.1 Data Emisi CO	15
Tabel 5.2 Data Emisi HC	16
Tabel 5.3 Data Emisi CO ₂	16
Tabel 5.4 Data Emisi O ₂	17
Tabel 5.5 Data Lambda	18
Tabel 5.6 Data Temperatur Gas Buang.....	19
Tabel 5.7 Data Torsi.....	19
Tabel 5.8 Data Daya.....	20
Tabel 5.9 Data Konsumsi Bahan Bakar	21
Tabel 5.10 Data Tingkat Kebisingan	21
Tabel 5.11 Data Tekanan Balik.....	22
Tabel 5.12 Persentase Perubahan Emisi CO	23
Tabel 5.13 Pebandingan Hasil Emisi CO Terhadap Peraturan Pemerintah	25
Tabel 5.14 Pebandingan Hasil Emisi HC.....	30
Tabel 5.15 Pebandingan Hasil Emisi HC Terhadap Peraturan Pemerintah	32
Tabel 5.16 Persentase Perubahan Emisi CO ₂	37
Tabel 5.17 Persentase Perubahan O ₂	39
Tabel 5.18 Persentase Perubahan Torsi	41
Tabel 5.19 Persentase Perubahan Daya	45
Tabel 5.20 Persentase Perubahan Tekanan Balik	47
Tabel 5.21 Persentase Perubahan Konsumsi Bahan Bakar	50
Tabel 5.22 Persentase Perubahan Tingkat Kebisingan	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Lembar Pembahasan Seminar Hasil Penelitian	62
Lampiran 2. Lembar Pengesahan dari <i>Reviewer</i>	64
Lampiran 3. Produk Penelitian Pengembangan Prototipe Industri	65
Lampiran 3. SK Penelitian Kompetitif Dana PNBK Unesa Tahun 2019	67

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tujuan global ke-13 dari *the seventeen sustainable development goals* (SDGs) yang telah dicanangkan oleh PBB mulai tahun 2016-2030 adalah melakukan aksi nyata untuk mengatasi perubahan iklim dan dampaknya [1] [2] [3]. Kegiatan yang harus dilakukan adalah melakukan usaha-usaha strategis untuk mengurangi polusi udara khususnya emisi gas buang yang ditimbulkan dari asap gas buang kendaraan bermotor.

Oleh karena itu, diperlukan solusi cerdas untuk mengendalikan emisi gas buang kendaraan bermotor tersebut. Salah satu teknologi yang dapat diaplikasikan adalah *catalytic converter* yang dipasang pada knalpot kendaraan bermotor. Mengingat 65-85% emisi gas buang dikeluarkan oleh asap knalpot kendaraan bermotor [4], maka penerapan teknologi *catalytic converter* pada kendaraan bermotor adalah suatu hal yang mutlak.

Sayangnya teknologi *catalytic converter* sampai saat ini dirasa masih cukup mahal sehingga penggunaan teknologi ini di sepeda motor masih kurang populer. Mahalnya *catalytic converter* tersebut disebabkan karena bahan/material pembuatannya berasal dari logam mulia (*nobel metals*), seperti Platinum (Pt), Palladium (Pd), dan Rhodium (Rh) serta tingkat ketersediaannya di pasaran sedikit, namun dapat mereduksi emisi gas buang antara 98-99% [5]. Oleh karena itu, akhir-akhir ini banyak peneliti dari perguruan tinggi dan lembaga penelitian dan pengembangan mulai mengembangkan *catalytic converter* yang berasal dari logam transisi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Kalam et al. (2009) menggunakan bahan titanium dioksida (TiO_2) dan kobalt oksida (CoO) disimpulkan bahwa terjadi reduksi emisi NO_x , CO, dan HC masing-masing sebesar 90%, 89% dan 82% pada kendaraan berbahan bakar CNG (*compressed natural gas*) [6]. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Abdullah (2012) menggunakan bahan TiO_2 dan FeO dilakukan pada mobil berbahan bakar bensin menghasilkan penurunan emisi CO sebesar 2,67%-42,2%, dan HC sebesar 1,95%-27,61% [7]. Sedangkan penelitian lanjutan yang dilakukan oleh Wicaksono & Warju (2015) menggunakan bahan *stainless-steel wiremesh* berlapis TiO_2 mampu mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 20,96% dan 23,26% pada sepeda motor 4 langkah [8].

Oleh karena itu, dalam skema penelitian pengembangan prototipe industri ini akan dirancang dan dikembangkan inovasi baru teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga (Cu) berlapis titanium dioksida (TiO_2).

Lapisan TiO_2 pada plat tembaga sebagai *metallic catalytic converter* akan menjadikan katalis tersebut menjadi lebih berpori, semakin luas dan tahan temperatur tinggi sehingga permukaan katalis akan menjadi lebih efektif dalam mengoksidasi emisi CO dan HC menjadi CO_2 dan H_2O .

Tujuan khusus penelitian ini adalah: (1) menemukan desain dan produk knalpot sepeda motor ramah lingkungan berteknologi *metallic catalytic converter* tembaga berlapis TiO_2 untuk mendukung program langit biru dan SDGs, (2) diperolehnya HKI dalam bentuk paten knalpot sepeda motor ramah lingkungan (*granted*), dan (3) dihasilkannya sertifikat merek MCC = *Metallic catalytic converter*.

Urgensi penelitian didasarkan kenyataan bahwa pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor telah menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Efek gas rumah kaca yang ditimbulkan oleh gas karbondioksida (CO_2) hasil pembakaran minyak bumi akan meningkatkan temperatur udara di bumi yang menyebabkan pemanasan global. Di sisi lain, emisi gas buang yang dikeluarkan oleh asap gas buang kendaraan bermotor seperti CO, HC, NO_x , Pb, SO_x , dan PM akan menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Penyakit asma, bronchitis, hipertensi, terganggunya saraf pusat, mata pedih, kanker, menyebabkan pingsan, dan bahkan menimbulkan kematian merupakan dampak negatif dari emisi gas buang yang mutlak harus segera diselesaikan [9].

B. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas, maka rumusan masalah yang diangkat adalah:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida terhadap reduksi emisi CO, HC, dan CO_2 pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2013?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida terhadap peningkatan torsi pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2013?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida terhadap peningkatan daya pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2013?
4. Bagaimana pengaruh penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida terhadap reduksi konsumsi bahan bakar pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2013?
5. Bagaimana pengaruh penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida terhadap reduksi tingkat kebisingan pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2013?

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Peneliti *Catalytic Converter* Sebelumnya

Hasil penelitian sebelumnya tentang penggunaan teknologi *catalytic converter* untuk mereduksi emisi CO, CO₂, HC, dan NO_x menggunakan berbagai bahan/material katalis dari sejumlah peneliti baik dari dalam maupun luar negeri, disajikan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1.1 Penelitian Tentang Teknologi *Catalytic Converter*

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Bahan <i>Catalytic Converter</i>	Hasil Penelitian
1	Warju & Muhaji (2005) [10]	<i>Eksperimen tentang pengaruh penggunaan catalytic converter kuningan (Cu+Zn) berlapis krom (Cr) terhadap emisi gas buang mesin Toyota Kijang tipe 4K</i>	Tembaga (Cu)	• Reduksi emisi CO rata-rata sebesar 88,41%. • Reduksi emisi HC rata-rata sebesar 39,84%.
2	Warju & Sungkono (2006) [11]	<i>Pengaruh penggunaan catalytic converter tembaga berlapis mangan terhadap kadar polutan gas buang motor bensin empat langkah</i>	Tembaga (Cu) berlapis mangan (Mn)	• Reduksi emisi CO rata-rata sebesar 91,03%.
3	Warju (2008) [12]	<i>Unjuk kemampuan catalytic converter dengan katalis tembaga dalam mereduksi konsentrasi emisi gas buang Toyota Kijang Innova</i>	Tembaga (Cu)	• Reduksi emisi CO rata-rata sebesar 20,6%. • Reduksi emisi HC rata-rata sebesar 29,7%.
4	Warju & Muliatna (2013) [13]	<i>Pengaruh penggunaan metallic catalytic converter tembaga terhadap kadar emisi CO dan HC sepeda motor 4 langkah</i>	Tembaga (Cu) dan tembaga berlapis krom (Cu+Cr)	• Reduksi emisi CO dan HC dengan <i>catalytic converter</i> Cu rata-rata sebesar 46,30% dan 38,56%. • Reduksi emisi CO dan HC dengan <i>catalytic converter</i> Cu+Cr rata-rata sebesar 24,30%-30,57% dan 34,82%-63,61%. • Peningkatan torsi rata-rata sebesar 4,6%-8%.

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Bahan Catalytic Converter	Hasil Penelitian
				• Peningkatan daya efektif rata-rata sebesar 6,4%-11,5%. • Reduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 12,71%-14,31%.
5	Amin, Chavda & Gadhia (2013) [14]	<i>Exhaust analysis of four stroke single cylinder diesel engine using copper based catalytic converter</i>	Wiremesh yang dilapisi dengan tembaga (Cu)	Reduksi emisi CO dan HC masing-masing sebesar 30% dan 66%.
6	Wicaksono & Warju (2015) [8]	<i>Pengaruh catalytic converter titanium dioksida terhadap emisi gas buang sepeda motor Yamaha Vixion Lightning</i>	<i>Stainless-steel wiremesh</i> yang dilapisi titanium dioksida (TiO ₂)	• Reduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 20,96% dan 23,26%. • Peningkatan torsi dan daya mesin rata-rata sebesar 7,15% dan 6,13%. • Reduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 3,70% - 11,09%.
7	Warju & Muliatna (2015) [15]	<i>The performance of copper metallic catalytic converter as catalyst to reduce exhaust emission from Yamaha Vega motorcycle</i>	Tembaga (Cu)	Reduksi emisi CO 14,23%-46,30%.
8	Karthikeyan, Saravanan & Gunasekaran (2016) [16]	<i>Performance analysis of catalytic converters in spark ignition engine emission reduction</i>	Zeolit	Reduksi emisi CO, HC, dan NO _x masing-masing sebesar 85%, 80%, dan 60% dengan sudut 35 dan 40 derajat.
9	Nisa, Ratnaningrum, Megawati, and Widyastuti (2016) [17]	<i>Design innvation of motorcycle muffler by applying catalytic converter based on non-noble material to reduce exhaust emission</i>	Tembaga (Cu) dan kuningan (CuZn)	• Reduksi emisi CO & HC dengan katalis Cu sebesar 46,61% dan 47,13%. • Reduksi emisi CO & HC dengan katalis CuZn sebesar 47,71% dan 55,34%.
10	Warju, Sakti, Muliatna, &	<i>Produk knalpot sepeda motor ramah lingkungan berteknologi metallic catalytic converter.</i>	Kuningan (CuZn) berlapis nikel	• Reduksi emisi CO dan HC dengan <i>catalytic converter</i> CuZn+Ni

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Bahan Catalytic Converter	Hasil Penelitian
	Wijanarko (2017) [18]		(Ni) dan tembaga (Cu)	rata-rata sebesar 22,05%-31,69% dan 24,85%-35,26%. • Peningkatan torsi dan daya efektif dengan <i>catalytic converter</i> CuZn+Ni rata-rata sebesar 4,30%-4,78% dan 5,23%-5,45%. • Reduksi emisi CO dan HC dengan <i>catalytic converter</i> Cu rata-rata sebesar 30,57%-46,30% dan 34,88%-63,61%. • Peningkatan torsi dan daya efektif dengan <i>catalytic converter</i> Cu rata-rata sebesar 4,6%-8% dan 4%-11,5%. • Reduksi konsumsi bahan bakar dengan <i>catalytic converter</i> Cu rata-rata sebesar 11,28%-17,44%.
11	Mahadeven & Sendilvelan (2017) [19]	<i>Temperature analysis of dynamic catalytic convertor system with pre-catalyst in a multi cylinder spark ignition engine to reduce light-off time</i>	<i>Dynamic catalytic converter system</i> (DCCS)	Reduksi emisi CO dan HC dengan DCCS yang terdiri dari sejumlah pipa dengan diameter berbeda-beda yang disusun secara bertingkat masing-masing sebesar 60% dan 57%.
12	Warju, Harto, & Soenarto (2017) [20]	<i>The performance of chrome-coated copper as metallic catalytic converter to reduce exhaust gas emissions from spark-ignition engine</i>	Tembaga (Cu) berlapis krom (Cr)	• Reduksi emisi CO rata-rata sebesar 95,35%. • Reduksi emisi HC rata-rata sebesar 79,28%.
13	Kumar, Singh, and Kaur (2017) [21]	<i>Emission testing of catalytic converter using zirconium oxide (ZrO) and cobalt oxide (CoO) as catalyst</i>	Wiremesh yang dilapisi dengan Zirconium Oxide (ZrO) dan Cobalt Oxide (CoO)	• Reduksi emisi CO sebesar 48%. • Reduksi emisi HC sebesar 66%. • Reduksi emisi CO₂ sebesar 52%. • Reduksi emisi NO_x sebesar 73%.

B. Roadmap Penelitian

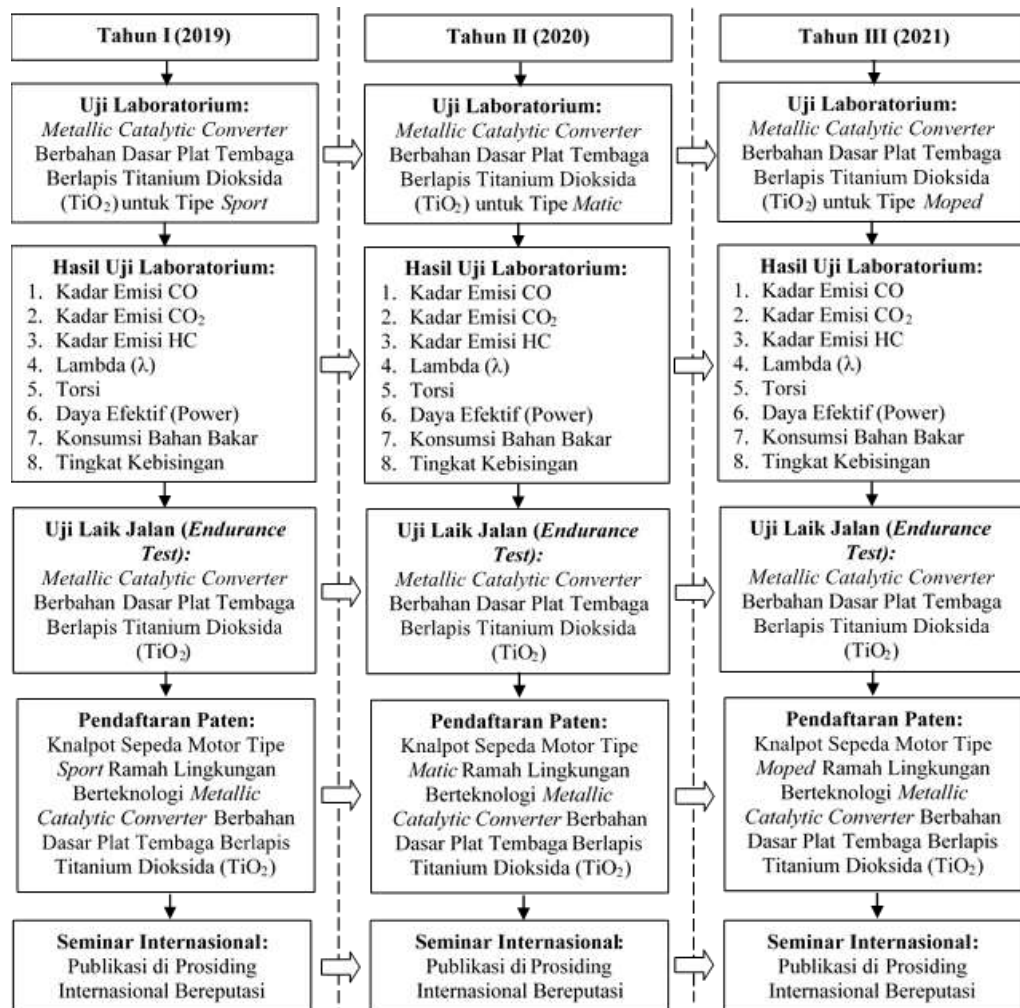
Pada skema pendanaan Calon Perusahaan Pemula Berbasis Teknologi (CPPBT) tahun 2017, tim peneliti telah berhasil merancang bangun *metallic catalytic converter* pada knalpot sepeda motor tipe *moped* (bebek) berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr). *Metallic catalytic converter* ini mampu mereduksi kadar emisi CO sebesar 24,30-30,57% dan emisi HC rata-rata sebesar 34,82-63,61%. Knalpot sepeda motor ramah lingkungan ini telah memenuhi ambang batas emisi gas buang berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama [22]. Selain itu, knalpot sepeda motor berteknologi *metallic catalytic converter* tersebut juga mampu meningkatkan performa mesin seperti torsi dan daya efektif rata-rata sebesar 4,6-8% dan 6,4-11,5%. Knalpot sepeda motor ramah lingkungan ini telah mendapatkan sertifikat paten (*granted*) dari Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual (DJKI), Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia dengan No. Paten: IDP000053363 tanggal 12 September 2018 [23]. Merek knalpot yaitu MCC = *Metallic catalytic converter* juga telah didaftarkan mereknya dengan No. Permohonan: D002017064428 Tanggal 6 Desember 2017 sehingga siap untuk dikomersialkan [24].

Sedangkan pada penelitian terapan tahun 2015, tim peneliti telah berhasil mengembangkan produk knalpot sepeda motor ramah lingkungan untuk Yamaha Vixion Lightning berteknologi *catalytic converter* berbahan dasar *stainless-steel wire mesh* berlapis TiO_2 . Knalpot ini mampu mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 20,96% dan 23,26%, meningkatkan performa mesin (torsi dan daya) rata-rata sebesar 7,15% dan 6,13%, serta mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 3,70%. Namun, knalpot ini cenderung meningkatkan tingkat kebisingan rata-rata sebesar 1,7%. Selain itu, penggunaan *stainless-steel wire mesh* dalam jangka panjang akan menimbulkan persoalan, yaitu menumpuknya deposit karbon di ujung depan *catalytic converter* yang akan menghambat aliran gas buang.

Melihat fenomena tersebut, melalui skema penelitian pengembangan prototipe industri ini mulai tahun 2019-2021 akan dikembangkan teknologi baru yaitu *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis titanium dioksida (TiO_2). Penggunaan *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis TiO_2 akan dihasilkan katalis yang berpori yang akan memperluas permukaan katalis sehingga dapat mereduksi emisi CO dan HC secara signifikan. Setelah itu, akan dilakukan uji laik jalan (*endurance test*) sehingga dapat diketahui efektivitas pemakaian (umur) katalis tersebut. Sehingga nantinya akan dihasilkan paten knalpot sepeda motor ramah

lingkungan berteknologi *metallic catalytic converter* TiO_2 dengan harga knalpot yang terjangkau oleh masyarakat luas untuk mendukung program langit biru dan SDGs, khususnya upaya untuk mengatasi perubahan iklim dan dampaknya.

Roadmap penelitian pengembangan prototipe industri selama 3 tahun (2019-2021) dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Roadmap penelitian pengembangan prototipe industri tahun 2019-2021.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

A. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latarbelakang masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menemukan desain dan produk knalpot sepeda motor ramah lingkungan berteknologi *metallic catalytic converter* tembaga berlapis TiO_2 untuk mendukung program langit biru dan SDGs.
2. Memperoleh HKI dalam bentuk paten knalpot sepeda motor ramah lingkungan (*granted*).
3. Memperoleh sertifikat merek MCC = *Metallic catalytic converter*.

B. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat diantaranya sebagai berikut.

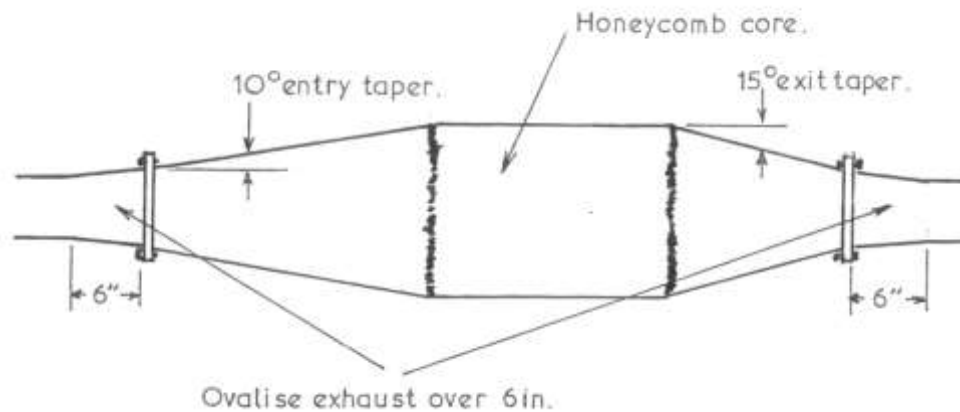
1. Sebagai salah satu solusi dalam mereduksi konsentrasi emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor, khususnya emisi kendaraan sepeda motor empat langkah.
2. Sebagai alternatif bahan katalis yang lebih murah selain yang sudah ada di pasaran.
3. Dihasilkan desain baru *catalytic converter* titanium dioksida.

BAB IV METODE PENELITIAN

A. Rancangan Knalpot Sepeda Motor Ramah Lingkungan Berteknologi *Metallic catalytic converter* Titanium Dioksida (TiO_2)

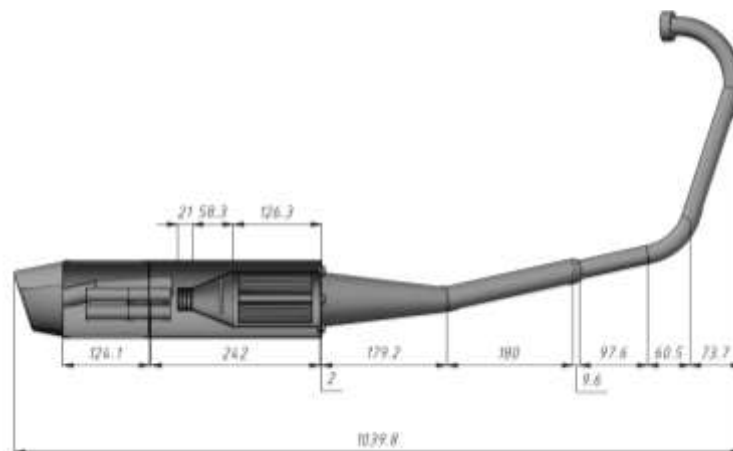
1. Desain Knalpot Eksperimen

Bentuk rancangan *metallic catalytic converter casing* dalam knalpot eksperimen mengacu pada desain yang telah dibuat oleh A. Graham Bell (2006:299) [25]. Dalam rancangan tersebut, diameter pipa sebelum dan sesudah katalis dibuat tirus, dimana untuk pipa inlet sudut kemiringan (*entry taper*) sebesar 10° dan sudut kemiringan pada pipa outlet (*exit taper*) sebesar 15° . Desain tersebut dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Modifikasi CAT casing untuk memaksimalkan aliran
Sumber: Bell (2006:299)

Dari perhitungan di atas dapat digambarkan desain knalpot eksperimen sebagai berikut.

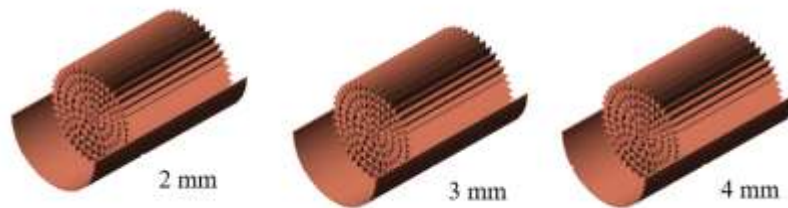


Gambar 3. Gambar desain knalpot eksperimen Yamaha Vixion Lighting

2. Perancangan Aktif Metal Katalis (*Metallic catalytic converter*) Titanium Dioksida

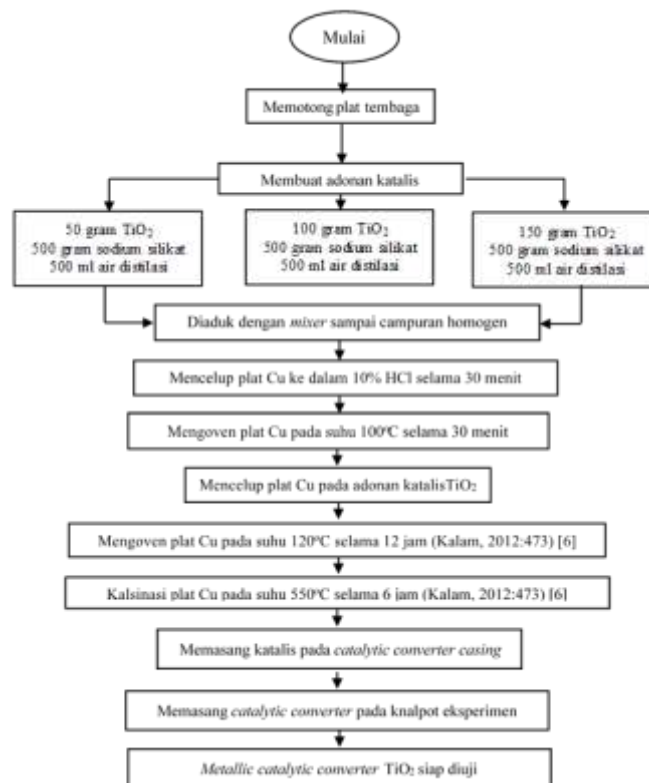
Cara pembuatan aktif metal katalis yaitu plat tembaga (Cu) berlapis titanium dioksida (TiO_2) disusun di dalam *casing* berbentuk silinder. Untuk mendapatkan luas permukaan yang maksimal, maka plat tembaga disusun berlipat dengan tinggi lekukan mulai dari 2 mm, 3 mm, dan 4 mm.

Perancangan bentuk *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga (Cu) dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. *Metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga

Langkah selanjutnya adalah melapisi plat tembaga (Cu) tersebut dengan titanium dioksida (TiO_2) dengan prosedur atau langkah-langkah seperti ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Langkah-langkah pelapisan titanium dioksida (TiO_2) pada plat tembaga

Sedangkan posisi penempatan *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis TiO_2 di dalam knalpot eksperimen dapat dilihat pada gambar 6 di bawah ini.



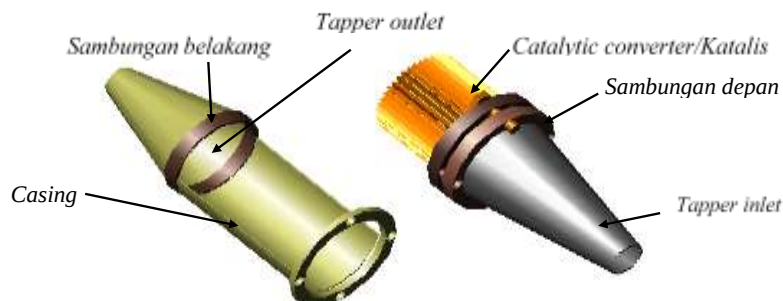
Gambar 6. *Metallic catalytic converter* di dalam knalpot eksperimen

3. Perancangan Penempatan Katalis pada Knalpot Eksperimen

Aktif metal katalis ditempatkan pada *CAT casing*. Desain *CAT casing* dibuat seperti gambar 2, kemudian *CAT casing* ditempatkan pada knalpot eksperimen. Penempatan *CAT casing* harus memperhatikan panjang pipa *exhaust*, kemiringan tabung *CAT* dan volume knalpot.

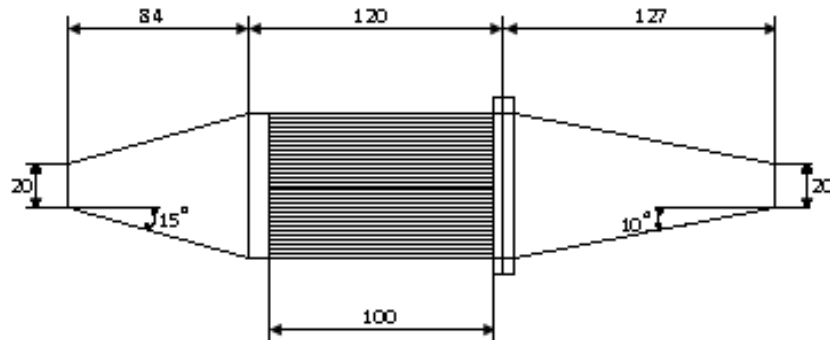
Pada *metallic catalytic converter casing* berisi plat tembaga berlapis titanium dioksida (TiO_2) dengan panjang katalis 100 mm dan diameter 65 mm dengan tinggi lekukan 2 mm, 3 mm, dan 4 mm.

Metallic catalytic converter casing didesain untuk bisa dibongkar-pasang (*completely-knock down/CKD*) secara praktis. Bertujuan untuk kemudahan mengganti apabila bahan metal aktif katalis sudah menurun aktifitas katalisnya. Dengan demikian *casing* didesain seperti gambar 7 di bawah ini.



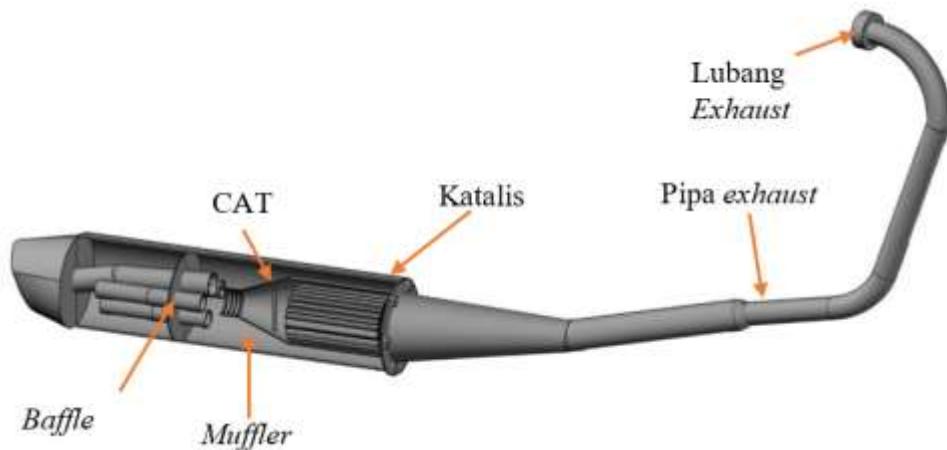
Gambar 7. Desain *metallic catalytic converter casing*

Untuk dimensi dari *casing* katalis ditunjukkan pada gambar 8 di bawah ini.

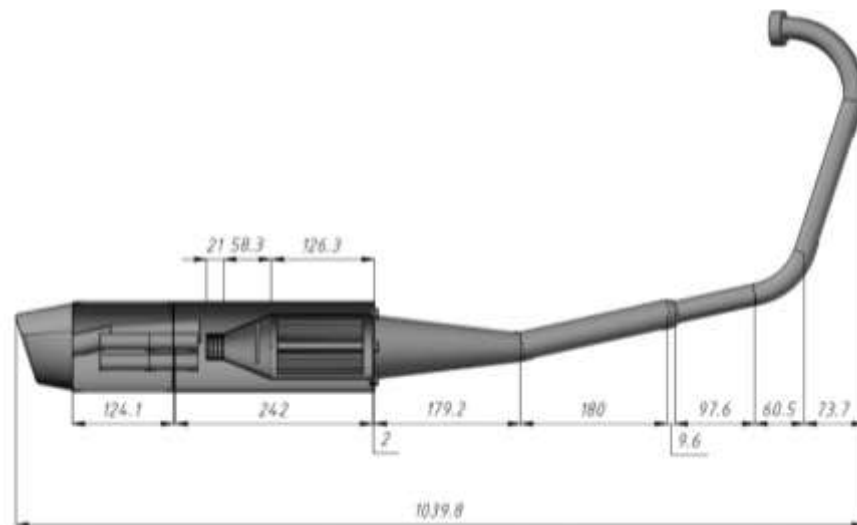


Gambar 8. Dimensi *metallic catalytic converter casing* (dalam mm)

Metallic catalytic converter (CAT) casing kemudian dipasang pada knalpot eksperimen. Perancangan knalpot eksperimen didesain untuk mengurangi tingkat kebisingan, oleh karena itu dipasang dua buah sekat (*baffle*) setelah CAT. Bagian-bagian dan dimensi knalpot eksperimen Yamaha Vixion Lighting ditunjukkan pada gambar 9 dan gambar 10 di bawah ini.



Gambar 9. Bagian-bagian knalpot eksperimen Yamaha Vixion



Gambar 10. Dimensi knalpot eksperimen Yamaha Vixion

B. Peralatan dan Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian adalah alat ukur dan alat uji yang digunakan untuk mendapatkan data penelitian. Peralatan dan instrumen penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *inertia chassis dynamometer*, *fuel flow meter*, *stopwatch*, *termocouple*, *digital thermometer*, *sound level meter*, *U-tube manometer*, *exhaust gas analyzer*, dan *blower* yang terdapat di Lab. Pengujian Performa Mesin Jurusan Teknik Mesin FT UNESA.

Secara lengkap, peralatan dan instrumen penelitian yang akan digunakan seperti tampak pada gambar 11 berikut ini.



Gambar 11. Skema instrumen penelitian

C. Metode Pengujian

Untuk mendapatkan data penelitian yang valid dan reliabel, metode pengujian dilakukan berdasarkan standar nasional dan internasional, antara lain:

1. Pengukuran emisi gas buang sepeda motor berdasarkan SNI 09-7118.3-2005 [26].
2. Pengukuran performa mesin berdasarkan SAE J1349, yaitu *Engine Power Test Code-Spark Ignition and Compression Ignition-Net Power Rating* [27].
3. Pengukuran konsumsi bahan bakar berdasarkan SNI 7554:2010 [28].
4. Pengukuran tingkat kebisingan berdasarkan SAE J1287 yaitu *Surface Vehicle Standard "Measurement of Exhaust Sound Levels of Stationary Motorcycles"* [29]

D. Tugas Personil

Tugas ketua peneliti adalah: (1) membuat proposal penelitian, (2) menggambar desain knalpot eksperimen dan *metallic catalytic converter*, (3) presentasi proposal penelitian, (4) membuat catatan harian (*logbook*), (5) belanja peralatan penunjang dan bahan habis pakai, (6) membuat knalpot eksperimen, (7) membuat *metallic catalytic converter* TiO_2 , (8) mengambil data, (9) menganalisis data, (10) membuat draft laporan akhir, (11) membuat draft artikel ilmiah, (12) membuat draft paten, (13) submit artikel ilmiah ke jurnal internasional bereputasi, (14) seminar internasional, dan (15) mendaftarkan paten ke DJKI, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia. Sedangkan tugas anggota peneliti adalah: (1) membuat proposal penelitian, (2) menggambar desain knalpot eksperimen dan *metallic catalytic converter*, (3) belanja peralatan penunjang dan bahan habis pakai, (4) membuat knalpot eksperimen, (5) membuat *metallic catalytic converter* TiO_2 , (6) mengambil data, (7) menganalisis data, (8) membuat draft laporan akhir, (9) membuat draft artikel ilmiah, dan (10) membuat draft paten.

Proses pengambilan data juga akan melibatkan mahasiswa yang ada di Lab. Pengujian Performa Mesin Jurusan Teknik Mesin FT Unesa untuk memberikan pengalaman penelitian kepada mereka.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Penelitian

1. Emisi CO (Karbon Monoksida)

Tabel 5.1 Data Emisi CO

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (% Vol)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (% Vol)	Emisi CO Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (% Vol)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	4,61	0,23	2,37	2,35	2,32	2,44	2,41	2,39	2,98	2,96	2,94
2000	4,27	0,21	2,33	2,30	2,28	2,40	2,38	2,36	2,95	2,93	2,89
2500	3,95	0,21	2,24	2,23	2,21	2,38	2,30	2,25	2,93	2,90	2,88
3000	3,84	0,16	2,23	2,21	2,19	2,35	2,28	2,24	2,90	2,89	2,88
3500	3,32	0,15	2,19	2,16	2,14	2,30	2,26	2,24	2,81	2,77	2,66
4000	3,14	0,13	2,14	2,13	2,12	2,25	2,23	2,14	2,78	2,71	2,60
4500	3,02	0,13	2,12	2,11	2,10	2,21	2,19	2,13	2,72	2,68	2,60
5000	2,97	0,12	1,12	1,11	1,11	1,35	1,26	1,13	1,79	1,65	1,59
5500	2,84	0,10	1,11	1,10	1,09	1,28	1,21	1,11	1,71	1,60	1,59
6000	2,67	0,10	1,10	1,09	1,09	1,22	1,18	1,11	1,63	1,56	1,48
6500	2,51	0,10	1,10	1,09	1,08	1,18	1,15	1,10	1,55	1,48	1,40
7000	2,13	0,09	1,09	1,08	1,08	1,15	1,12	1,09	1,43	1,39	1,34
7500	1,96	0,08	1,08	1,08	1,07	1,13	1,11	1,09	1,40	1,34	1,30
8000	1,78	0,08	1,08	1,07	1,07	1,12	1,11	1,09	1,38	1,29	1,24
8500	1,55	0,06	0,35	0,27	0,18	0,88	0,85	0,80	0,99	0,95	0,92
9000	1,39	0,06	0,30	0,24	0,17	0,86	0,81	0,78	0,95	0,91	0,88
9500	1,27	0,05	0,28	0,21	0,16	0,82	0,77	0,75	0,88	0,85	0,83
10.000	1,15	0,05	0,20	0,17	0,15	0,78	0,74	0,70	0,82	0,79	0,76

2. Emisi HC (Hidrokarbon)

Tabel 5.2 Data Emisi HC

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (ppm Vol)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (ppm Vol)	Emisi HC Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (ppm Vol)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	425	77	107	105	102	115	109	104	130	125	110
2000	399	71	104	101	98	112	106	101	128	111	106
2500	320	62	97	95	77	104	98	80	120	106	96
3000	275	52	90	89	68	90	94	75	99	97	95
3500	245	50	81	78	64	88	85	73	97	95	91
4000	213	48	76	73	62	85	79	71	89	91	88
4500	179	45	72	68	58	81	75	65	90	88	81
5000	138	37	69	63	55	78	72	61	88	84	76
5500	106	15	58	58	42	61	53	36	81	77	71
6000	87	13	55	40	18	58	45	20	75	69	50
6500	66	12	41	31	15	47	34	17	58	47	32
7000	75	16	48	33	20	51	37	22	43	32	33
7500	81	18	41	38	24	44	40	26	58	48	39
8000	94	19	49	43	26	61	55	28	65	59	46
8500	108	24	58	51	30	68	63	35	70	67	52
9000	129	33	68	65	34	77	71	37	79	77	53
9500	145	35	73	68	48	79	74	52	85	80	59
10.000	201	42	79	73	50	82	77	55	88	85	61

3. Emisi CO₂ (Karbon Dioksida)

Tabel 5.3 Data Emisi CO₂

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (% Vol)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (% Vol)	Emisi CO ₂ Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (% Vol)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	4,15	6,44	6,03	6,08	6,11	5,62	5,77	5,89	5,24	5,33	5,47
2000	4,68	6,57	6,18	6,21	6,27	5,87	5,98	6,04	5,30	5,48	5,51
2500	5,43	7,59	7,21	7,25	7,28	6,97	7,08	7,19	6,09	6,17	6,22
3000	5,87	8,60	8,09	8,15	8,21	7,49	7,55	7,61	7,06	7,21	7,27
3500	6,12	9,80	9,02	9,08	9,12	7,58	7,66	7,69	7,19	7,27	7,31

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (% Vol)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (% Vol)	Emisi CO2 Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (% Vol)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO2
4000	6,78	9,87	9,43	9,50	9,62	8,19	8,23	8,46	7,54	7,65	7,73
4500	7,18	10,02	9,78	9,92	9,98	9,28	9,35	9,47	8,68	8,71	8,76
5000	7,99	11,12	10,92	10,98	11,03	10,48	10,51	10,66	9,75	9,82	9,87
5500	8,23	12,26	11,88	11,95	12,11	11,50	11,59	11,67	10,54	10,67	10,88
6000	10,58	13,59	13,27	13,31	13,36	12,88	13,09	13,11	11,69	11,76	11,85
6500	10,60	13,74	13,30	13,36	13,41	13,01	13,13	13,25	12,19	12,24	12,30
7000	11,07	13,87	13,47	13,53	13,61	13,14	13,19	13,26	12,69	12,87	12,96
7500	11,18	14,06	13,61	13,75	13,88	13,16	13,24	13,32	12,98	13,01	13,03
8000	11,63	14,83	14,25	14,58	14,61	13,65	13,73	13,86	13,36	13,44	13,57
8500	11,76	14,99	14,74	14,77	14,80	14,56	14,66	14,71	14,05	14,09	14,12
9000	10,45	12,89	12,34	12,55	12,63	11,89	12,00	12,01	11,36	11,41	11,46
9500	9,36	11,96	11,41	11,45	11,48	11,16	11,25	11,37	10,09	10,13	10,17
10.000	9,21	11,38	11,21	11,24	11,28	11,08	11,15	11,19	10,03	10,05	10,08

4. Kadar O₂ (Oksigen)

Tabel 5.4 Data Emisi O₂

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (% Vol)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (% Vol)	Emisi O ₂ Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (% Vol)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	4,5	2,1	3,0	2,9	2,7	3,3	3,1	3,0	3,5	3,2	3,1
2000	4,9	2,4	3,1	3,0	2,8	3,7	3,3	3,2	3,7	3,5	3,3
2500	5,3	2,6	3,3	3,1	3,0	3,9	3,8	3,7	4,2	4,1	4,0
3000	6,2	2,8	3,4	3,3	3,0	4,0	3,9	3,8	4,7	4,5	4,4
3500	6,3	3,0	3,7	3,6	3,4	4,3	4,2	4,1	4,9	4,8	4,7
4000	6,6	3,2	3,9	3,6	3,4	4,5	4,4	4,2	4,9	4,8	4,7
4500	6,6	3,4	4,0	3,7	3,5	4,8	4,7	4,6	5,0	4,9	4,7
5000	6,9	3,5	4,1	3,8	3,6	4,9	4,8	4,7	5,2	5,0	4,9
5500	7,1	3,5	4,2	3,9	3,8	5,0	4,9	4,7	5,4	5,2	4,9
6000	7,1	3,7	4,4	4,0	3,8	5,0	4,9	4,8	5,4	5,2	5,0
6500	7,1	3,7	4,4	4,1	3,9	5,2	5,0	4,9	5,5	5,3	5,0
7000	7,2	3,8	4,5	4,2	3,9	5,3	5,1	5,0	5,6	5,3	5,1
7500	7,2	3,9	4,7	4,5	4,0	5,4	5,3	5,0	5,8	5,5	5,3
8000	7,4	4,1	4,9	4,7	4,2	5,4	5,3	5,0	6,0	5,9	5,7

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (% Vol)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (% Vol)	Emisi O ₂ Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (% Vol)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
8500	7,4	4,2	5,0	4,8	4,3	5,5	5,4	5,1	6,1	6,0	5,9
9000	7,5	4,2	5,5	5,1	4,3	5,6	5,4	5,2	6,5	6,0	5,9
9500	7,5	4,3	5,7	5,2	4,3	5,7	5,5	5,4	6,9	6,4	6,3
10.000	7,6	4,5	6,1	5,8	4,7	6,1	5,8	5,5	7,7	7,5	7,4

5. Lambda

Tabel 5.5 Data Lambda

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (λ)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (λ)	Lambda Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (λ)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	0,606	0,881	0,845	0,848	0,852	0,812	0,815	0,818	0,704	0,713	0,798
2000	0,775	0,888	0,866	0,871	0,875	0,862	0,859	0,852	0,821	0,832	0,835
2500	0,805	0,893	0,911	0,913	0,916	0,888	0,892	0,898	0,847	0,851	0,857
3000	0,872	1,003	1,099	1,097	1,096	0,902	0,913	0,921	0,640	0,873	0,876
3500	0,878	1,009	1,087	1,083	1,079	0,966	0,968	0,973	0,960	0,952	0,957
4000	0,890	1,013	1,080	1,055	1,040	0,975	0,979	0,981	0,965	0,969	0,978
4500	0,918	1,022	1,076	1,043	1,039	0,978	0,981	0,985	0,955	0,964	0,971
5000	0,928	1,032	1,064	1,039	1,037	0,888	0,889	0,991	0,977	0,978	0,982
5500	0,976	1,018	1,051	1,029	1,023	0,981	0,984	0,999	0,983	0,994	0,997
6000	0,981	1,002	1,025	1,018	1,004	1,098	1,086	1,079	0,989	0,991	0,995
6500	1,100	1,001	1,015	1,011	1,002	1,085	1,071	1,047	1,098	1,089	1,059
7000	1,372	1,072	1,009	1,007	1,001	1,038	1,032	1,029	1,085	1,077	1,074
7500	1,404	1,013	1,025	1,022	1,019	1,053	1,048	1,043	1,071	1,078	1,080
8000	1,410	1,004	1,012	1,009	1,006	1,018	1,011	1,009	1,056	1,024	1,011
8500	1,412	1,001	1,011	1,008	1,005	1,009	1,007	1,004	1,019	1,014	1,008
9000	1,424	1,110	1,160	1,158	1,140	1,183	1,172	1,164	1,187	1,183	1,177
9500	1,429	1,112	1,276	1,263	1,245	1,283	1,279	1,274	1,298	1,295	1,291
10.000	1,449	1,224	1,323	1,312	1,302	1,389	1,377	1,372	1,399	1,392	1,384

6. Temperatur Gas Buang

Tabel 5.6 Data Temperatur Gas Buang

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (°C)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (°C)	Temperatur Gas Buang Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (°C)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO2
1500	29,6	39,6	98,3	55,9	51,8	46,7	48,6	50,4	42,0	47,0	40,4
2000	31,5	42,1	108,3	60,6	79,2	69,5	59,5	71,5	48,2	59,7	49,6
2500	36,6	47,7	149,9	78,1	117,4	121,2	87,2	111,1	55,8	84,7	69,8
3000	41,3	53,5	170,5	88,4	149,0	168,8	113,4	142,7	80,4	112,2	92,4
3500	43,4	69,5	281,3	131,4	184,4	223,9	161,2	164,7	97,1	141,0	117,1
4000	54,8	81,3	284,9	140,3	226,7	260,8	206,9	196,7	134,2	179,3	156,6
4500	61,8	100,9	320,6	161,1	270,9	311,6	257,4	227,3	176,0	220,2	206,4
5000	71,2	127,0	359,6	186,0	308,6	351,1	315,1	263,3	214,1	264,2	220,8
5500	77,5	145,8	381,0	201,4	356,7	404,5	338,9	301,8	261,7	300,8	227,6
6000	86,7	166,9	411,2	221,6	408,8	427,8	363,9	333,3	297,4	331,6	237,0
6500	100,0	188,5	429,1	239,2	464,7	438,7	383,8	357,4	306,5	349,2	253,0
7000	110,6	211,1	481,2	267,7	522,9	449,8	388,1	375,0	307,6	356,9	259,0
7500	119,4	230,5	585,3	311,7	588,1	467,7	397,4	381,2	312,5	363,7	264,9
8000	131,2	244,7	633,4	336,4	608,7	485,2	405,1	396,3	317,0	372,8	277,5
8500	143,0	270,9	655,0	356,3	616,3	516,1	463,4	403,0	355,5	407,3	293,3
9000	153,0	288,3	671,8	371,0	625,7	546,3	553,6	424,0	390,1	455,9	328,5
9500	162,5	307,6	682,0	384,0	641,3	572,8	575,9	449,2	408,1	477,7	370,3
10.000	171,8	322,8	692,3	395,6	659,0	599,1	587,5	465,1	424,5	492,4	412,4

7. Torsi

Tabel 5.7 Data Torsi

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (N.m)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (N.m)	Torsi Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (N.m)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO2
3000	2,68	1,96	4,38	3,38	2,66	3,24	3,09	3,00	3,11	3,07	3,06
3500	10,02	10,27	11,31	9,27	9,56	9,96	9,60	9,71	9,75	9,69	9,72
4000	11,45	9,86	11,98	11,54	11,46	11,33	11,44	11,41	11,39	11,42	11,41
4500	10,53	9,26	11,37	11,46	10,75	10,77	10,99	10,84	10,87	10,90	10,87
5000	10,46	9,42	11,67	11,47	10,85	10,93	11,08	10,96	10,99	11,01	10,99
5500	10,85	10,01	12,07	11,80	11,59	11,77	11,72	11,69	11,73	11,71	11,71

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (N.m)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (N.m)	Torsi Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (N.m)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
6000	11,24	10,96	12,59	11,87	12,15	12,24	12,09	12,16	12,16	12,14	12,15
6500	11,90	11,85	12,81	12,16	12,62	12,62	12,46	12,57	12,55	12,53	12,55
7000	12,65	11,86	12,61	11,92	12,59	12,58	12,36	12,51	12,48	12,45	12,48
7500	12,85	11,53	12,19	11,73	12,36	12,28	12,12	12,25	12,22	12,20	12,22
8000	12,36	11,11	11,53	11,35	11,82	11,75	11,64	11,74	11,71	11,70	11,72
8500	11,84	10,60	10,45	10,60	11,23	11,07	10,97	11,09	11,04	11,03	11,05
9000	11,16	9,70	9,64	9,63	10,26	10,11	10,00	10,13	10,08	10,07	10,09
9500	10,22	8,67	8,34	8,71	9,30	9,11	9,04	9,15	9,10	9,10	9,12
10.000	8,16	7,68	7,87	6,09	7,29	7,63	7,00	7,31	7,31	7,21	7,27

8. Daya

Tabel 5.8 Data Daya

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (HP)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (HP)	Daya Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (HP)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
3000	1,23	0,87	1,90	1,53	1,20	1,43	1,77	1,27	1,53	1,40	1,23
3500	4,93	5,03	5,57	4,57	4,70	4,90	4,47	4,27	3,93	4,97	4,80
4000	6,43	5,57	6,73	6,47	6,47	6,37	6,43	6,50	6,30	6,47	6,37
4500	6,70	5,87	7,20	7,27	6,83	6,80	6,73	6,97	6,83	6,83	6,73
5000	7,40	6,67	8,23	8,07	7,67	7,70	7,67	7,70	7,57	7,70	7,63
5500	8,40	7,77	9,37	9,17	9,00	9,10	9,10	9,00	8,63	9,13	9,10
6000	9,50	9,27	10,67	10,07	10,30	10,37	10,37	10,30	9,73	10,33	10,33
6500	10,93	10,87	11,73	11,13	11,57	11,60	11,60	11,47	11,00	11,60	11,57
7000	12,47	11,73	12,47	11,77	12,43	12,43	12,40	12,30	12,03	12,63	12,37
7500	13,60	12,20	12,97	12,43	13,07	13,03	13,00	12,87	12,87	13,23	12,93
8000	14,07	12,57	13,07	12,83	13,37	13,30	13,23	13,20	13,27	13,53	13,20
8500	14,23	12,73	12,80	12,73	13,50	13,33	13,30	13,37	13,33	13,60	13,23
9000	14,20	12,37	12,27	12,30	13,07	12,87	12,87	12,90	13,03	13,20	12,70
9500	13,73	11,67	11,23	11,70	12,53	12,27	12,27	12,30	12,33	12,73	12,17
10.000	11,57	10,77	10,92	8,67	10,33	10,73	9,83	8,47	10,47	10,60	9,53

9. Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 5.9 Data Konsumsi Bahan Bakar

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (kg/jam)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (kg/jam)	Konsumsi Bahan Bakar Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (kg/jam)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	0,81	0,81	0,76	0,76	0,76	0,77	0,78	0,78	0,76	0,76	0,77
2000	0,85	0,82	0,76	0,77	0,76	0,77	0,78	0,78	0,77	0,76	0,78
2500	0,85	0,83	0,77	0,77	0,77	0,77	0,78	0,78	0,78	0,76	0,80
3000	0,88	0,85	0,77	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79	0,80	0,77	0,80
3500	0,89	0,86	0,77	0,79	0,79	0,78	0,79	0,79	0,80	0,78	0,80
4000	0,90	0,86	0,77	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,80	0,78	0,80
4500	0,91	0,87	0,78	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80	0,81	0,79	0,81
5000	0,93	0,88	0,78	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80	0,82	0,79	0,81
5500	0,94	0,89	0,78	0,81	0,80	0,80	0,80	0,81	0,82	0,79	0,82
6000	0,94	0,91	0,78	0,81	0,81	0,80	0,81	0,81	0,82	0,79	0,82
6500	0,95	0,91	0,78	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,82	0,79	0,82
7000	0,96	0,91	0,79	0,82	0,82	0,81	0,81	0,83	0,83	0,80	0,82
7500	0,96	0,91	0,79	0,82	0,84	0,83	0,81	0,83	0,84	0,81	0,83
8000	0,97	0,92	0,79	0,83	0,84	0,84	0,82	0,83	0,84	0,83	0,83
8500	0,98	0,92	0,79	0,83	0,84	0,84	0,82	0,84	0,85	0,83	0,84
9000	0,98	0,93	0,79	0,84	0,84	0,84	0,83	0,84	0,85	0,83	0,85
9500	1,00	0,95	0,79	0,84	0,85	0,84	0,83	0,84	0,85	0,84	0,85
10.000	1,01	0,97	0,81	0,85	0,85	0,86	0,86	0,84	0,86	0,86	0,85

10. Tingkat Kebisingan

Tabel 5.10 Data Tingkat Kebisingan

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (dB)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (dB)	Tingkat Kebisingan Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (dB)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	78,8	78,0	76,5	73,4	73,9	72,4	73,5	73,8	76,5	74,6	72,9
2000	83,6	81,9	77,8	75,8	75,9	76,2	76,0	75,8	77,1	76,3	77,2
2500	85,0	83,9	80,6	80,1	77,9	79,7	80,0	78,9	78,8	79,2	79,5
3000	84,9	84,7	81,4	80,5	80,8	80,6	81,3	80,0	81,4	80,9	80,2
3500	85,4	85,6	81,9	80,8	81,5	81,4	81,6	81,8	82,0	81,8	81,1

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (dB)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (dB)	Tingkat Kebisingan Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (dB)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
4000	86,5	86,9	83,6	83,5	83,4	83,3	82,5	85,3	83,9	83,9	83,6
4500	89,1	89,0	85,6	87,2	88,1	87,5	87,1	87,7	85,1	86,6	84,7
5000	91,2	90,8	89,3	89,2	89,3	89,2	88,8	89,6	88,5	89,0	88,7
5500	92,4	92,2	90,8	89,9	90,2	90,5	90,1	90,4	90,1	90,2	90,7
6000	93,3	93,3	93,5	92,2	91,5	92,3	91,9	91,9	91,7	91,8	92,2
6500	94,1	95,0	93,8	93,2	93,2	94,4	93,2	93,0	93,3	93,2	93,4
7000	95,9	97,1	96,7	95,0	94,7	97,1	94,7	95,2	94,6	94,8	96,2
7500	99,0	100,4	99,5	96,6	98,4	98,0	97,4	98,6	96,7	97,6	98,3
8000	100,2	101,2	100,4	99,1	99,5	98,6	99,5	99,9	98,3	99,2	99,4
8500	101,4	101,8	100,7	100,8	101,1	101,2	100,6	101,5	101,3	101,1	100,7
9000	103,9	103,3	102,8	103,9	105,6	105,0	105,6	105,9	106,0	105,9	104,8
9500	108,3	108,7	103,8	106,3	107,4	106,2	106,9	108,1	106,5	107,2	107,4
10.000	109,8	106,8	105,7	106,6	108,8	106,9	108,7	109,6	107,8	108,7	107,8

11. Tekanan Balik (*Back Pressure*)

Tabel 5.11 Data Tekanan Balik

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (kPa)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (kPa)	Tekanan Balik Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (kPa)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	0,96	1,93	1,76	1,81	1,88	0,91	1,16	1,21	0,77	0,84	0,87
2000	1,62	2,87	2,09	2,14	2,82	1,57	1,82	1,87	1,21	1,36	1,45
2500	2,53	3,35	3,08	3,13	3,30	2,48	2,88	2,93	2,11	2,16	2,28
3000	3,13	4,93	4,22	4,27	4,88	3,08	3,81	3,86	2,52	2,71	2,98
3500	3,86	5,62	4,95	5,00	5,57	3,81	4,17	4,22	3,19	3,33	3,56
4000	4,77	7,82	6,82	6,87	7,78	4,72	5,68	5,73	3,31	4,52	4,60
4500	6,15	8,65	7,45	7,50	8,60	6,10	6,58	6,63	5,45	5,72	5,90
5000	7,67	10,67	9,10	9,15	10,62	7,62	8,93	8,98	7,18	7,26	7,43
5500	8,80	12,05	10,45	10,50	12,00	8,75	9,26	9,31	7,42	7,64	7,90
6000	9,65	13,36	11,62	11,67	13,31	9,60	10,10	10,15	8,48	8,67	8,88
6500	10,80	13,88	12,25	12,30	13,83	10,75	11,60	11,65	9,56	9,77	9,89
7000	11,62	14,36	12,96	13,01	14,31	11,57	11,90	11,95	10,65	10,78	10,91
7500	12,05	14,69	13,18	13,23	14,64	12,00	12,65	12,70	11,14	11,35	11,67
8000	13,23	15,78	14,82	14,87	15,73	13,18	13,64	13,69	12,20	12,49	12,78

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (kPa)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (kPa)	Tekanan Balik Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (kPa)								
			Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
8500	14,00	16,75	15,29	15,34	16,70	13,50	14,45	14,50	13,09	13,15	13,30
9000	14,78	17,89	15,98	16,03	17,84	14,73	15,10	15,15	13,65	13,88	13,97
9500	15,30	18,33	16,50	16,55	18,28	15,25	15,77	15,82	14,42	14,61	14,76
10.000	17,78	20,41	19,96	20,01	20,36	17,78	18,60	18,65	15,49	15,87	15,96

B. Analisa dan Pembahasan

1. Perubahan Reduksi Emisi CO (Karbon Monoksida)

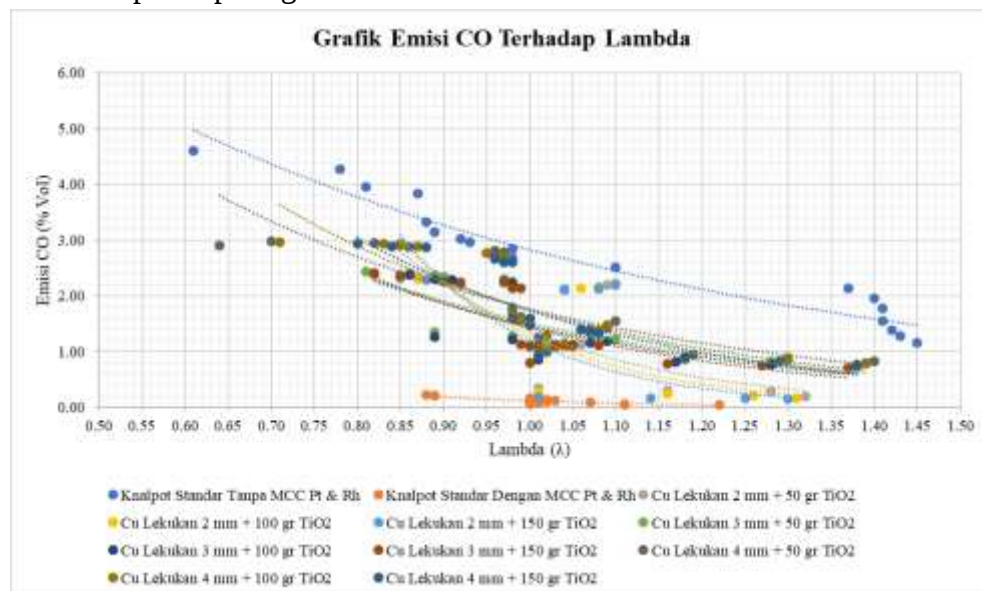
Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida dapat mempengaruhi perubahan reduksi emisi CO. Untuk mengetahui seberapa besar persentase perubahan reduksi emisi CO dengan menggunakan *catalytic converter* titanium dioksida dapat dilihat pada tabel 5.12 di bawah ini.

Tabel 5.12 Persentase Perubahan Emisi CO

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (%)	Persentase Perubahan Emisi CO Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (%)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	95,01	48,59	49,02	49,67	47,07	47,72	48,16	35,36	35,79	36,23
2000	95,08	45,43	46,14	46,60	43,79	44,26	44,73	30,91	31,38	32,32
2500	94,68	43,29	43,54	44,05	39,75	41,77	43,04	25,82	26,58	27,09
3500	95,83	41,93	42,45	42,97	38,80	40,63	41,67	24,48	24,74	25
4000	95,48	34,04	34,94	35,54	30,72	31,93	32,53	15,36	16,57	19,88
4500	95,86	31,85	32,17	32,48	28,34	28,98	31,85	11,46	13,69	17,20
5000	95,70	29,80	30,13	30,46	26,82	27,48	29,47	9,93	11,26	13,91
5500	95,96	62,29	62,63	62,63	54,55	57,58	61,95	39,73	44,44	46,46
6000	96,48	60,92	61,27	61,62	54,93	57,39	60,92	39,79	43,66	44,01
6500	96,25	58,80	59,18	59,18	54,31	55,81	58,43	38,95	41,57	44,57
7000	96,02	56,18	56,57	56,97	52,99	54,18	56,18	38,25	41,04	44,22
7500	95,77	48,83	49,30	49,30	46,01	47,42	48,83	32,86	34,74	37,09
8000	95,92	44,90	44,90	45,41	42,35	43,37	44,39	28,57	31,63	33,67
8500	95,51	39,33	39,89	39,89	37,08	37,64	38,76	22,47	27,53	30,34
9000	96,13	77,42	82,58	88,39	43,23	45,16	48,39	36,13	38,71	40,65
9500	95,68	78,42	82,73	87,77	38,13	41,73	43,88	31,65	34,53	36,69
10.000	96,06	77,95	83,46	87,40	35,43	39,37	40,94	30,71	33,07	34,65

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (%)	Persentase Perubahan Emisi CO Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (%)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
Rata-rata	95,65	82,61	85,22	86,96	32,17	35,65	39,13	28,70	31,30	33,91

Dari data pada tabel 5.12 di atas, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti gambar berikut ini.



Gambar 12. Grafik emisi CO terhadap lambda

Data pada tabel 5.12 dan gambar 12 menunjukkan bahwa, pada putaran *idle* emisi CO knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh yang terukur pada *gas analyzer* sebesar 4,61 % Vol. Sedangkan ketika menggunakan knalpot standar dengan MCC Pt & Rh, Cu lekukan 2 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 100 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 150 gr TiO₂ masing-masing sebesar 0,23 % Vol, 2,37 % Vol, 2,35 % Vol, 2,32 % Vol, 2,44 % Vol, 2,41 % Vol, 2,39% Vol, 2,98 % Vol, 2,96 % Vol, dan 2,94 % Vol.

Dari data tersebut apabila dianalisis lebih lanjut, maka pada kondisi putaran *idle catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi knalpot standar dengan MCC Pt & Rh, Cu lekukan 2 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan

2 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 100 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 150 gr TiO₂ masing-masing dapat mereduksi emisi CO rata-rata sebesar 95,65%, 82,61%, 85,22%, 86,96%, 32,17%, 35,65%, 39,13%, 28,70%, 31,30%, 33,91%.

Hasil di atas jika dikaitkan dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 4 tahun 2009 tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor untuk kendaraan bermotor tipe L (sepeda motor) dapat dilihat pada tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Pebandingan Hasil Emisi CO Terhadap Peraturan Pemerintah

Knalpot	Hasil	Ambang Batas	Lulus/Tidak Lulus
Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh	4,61 % Vol	4,5 % Vol	Tidak Lulus
Knalpot Standar dengan MCC Pt & Rh	0,23 % Vol	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	2,37 % Vol	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	2,35 % Vol	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	2,32 % Vol	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	2,44 % Vol	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	2,41 % Vol	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	2,39 % Vol	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	2,98 % Vol	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	2,96 % Vol	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂	2,94 % Vol	4,5 % Vol	Lulus

Jadi, dapat disimpulkan bahwa emisi CO yang terukur pada 10 dari 11 variasi knalpot eksperimen masuk pada kategori lulus uji emisi untuk gas CO berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup. Namun, untuk knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh masih masuk dalam kategori tidak lulus uji emisi karena emisi yang dihasilkan masih belum memenuhi ambang batas minimal yakni sebesar 4,61 % Vol.

Pada *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi CO masing-masing sebesar 82,61%, 32,17%, dan 28,70% dibandingkan dengan emisi CO knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Perubahan reduksi emisi terbaik pada terdapat pada Cu lekukan 2, persentase reduksi ini tergolong baik karena jumlah katalis titanium dioksida yang dilapiskan ke permukaan plat tembaga (Cu) relatif sedikit, yaitu 50 gram dan mampu mereduksi emisi CO hingga 82,61%.. Agar lebih jelas gambar *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu

lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO₂

Pada *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi CO masing-masing sebesar 85,22%, 35,65%, dan 31,30% dibandingkan dengan emisi CO knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Perubahan reduksi emisi terbaik pada terdapat pada Cu lekukan 2, persentase reduksi ini tergolong baik karena jumlah katalis titanium dioksida yang dilapiskan ke permukaan plat tembaga (Cu) relatif sedikit, yaitu 100 gram dan mampu mereduksi emisi CO hingga 85,22%. Agar lebih jelas gambar *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 100 gr TiO₂

Pada *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ mendapatkan

persentase perubahan reduksi emisi CO masing-masing sebesar 86,96%, 39,13%, dan 33,91% dibandingkan dengan emisi CO knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Perubahan reduksi emisi terbaik pada terdapat pada Cu lekukan 2, persentase reduksi ini tergolong yang paling baik bila dibandingkan dengan knalpot eksperimen titanium dioksida lainnya. Dalam hal ini jumlah katalis titanium dioksida yang dilapiskan ke permukaan plat tembaga (Cu) relatif banyak, yaitu 150 gram dan mampu mereduksi emisi CO hingga 86,96%. Agar lebih jelas gambar *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ dapat dilihat pada gambar 15.



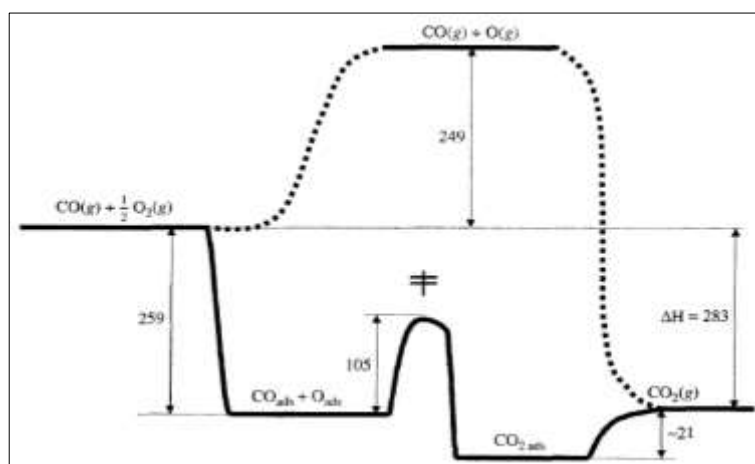
Gambar 15. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 150 gr TiO₂

Berdasarkan data persentase perubahan reduksi dan analisa emisi CO dari sembilan variasi knalpot eksperimen, diketahui bahwa tinggi dan rendahnya lekukan plat tembaga (Cu) sangat berpengaruh terhadap hasil reduksi emisi CO. Faktor penting lain yang mempengaruhi hasil reduksi emisi CO adalah banyaknya kadar katalis titanium dioksida yang dilapiskan pada permukaan tembaga (Cu). Hasil tersebut dibuktikan dari hasil reduksi emisi CO pada variasi Cu lekukan 2 mm + 150 gr TiO₂ dengan tingkat reduksi emisi CO mencapai 86,96%.

Hasil tersebut sejalan dengan pendapat Berzelius dalam Warju (2013), yang menjelaskan bahwa reaksi katalitik pada katalis padat terjadi pada permukaan katalis, dan semakin luas permukaan katalis semakin cepat laju reaksinya. Sehingga konsentrasi produk yang dihasilkan semakin rendah. Reduksi emisi CO yang dilakukan oleh *catalytic converter* titanium dioksida selain disebabkan oleh luas permukaan juga dipengaruhi oleh faktor temperatur.

Emisi CO dapat berubah menjadi CO₂ dengan cara bereaksi dengan O₂ atau NO_x, namun hal tersebut akan membutuhkan temperatur yang lebih

tinggi, yaitu 700°C. Temperatur maksimal yang paling efektif mereduksi CO didapat pada knalpot eksperimen Cu lekukan 2 mm + 50 gr TiO₂, dengan suhu 692,3°C, sehingga tidak memerlukan suhu terlalu tinggi untuk mengoksidasi CO menjadi CO₂. Pernyataan sejalan dengan teori Somorjai (1994) yang menyatakan bahwa sejumlah energi minimum yang dibutuhkan untuk mendukung terjadinya reaksi kimia, disebut energi aktivasi. Sehingga proses oksidasi dari CO + ½O₂ menjadi CO₂ pada gambar 16 di bawah menjadi lebih cepat tercapai. Akibatnya, terjadi reduksi emisi CO yang cukup signifikan pada *catalytic converter* titanium dioksida jika dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Gambar 16 di bawah ini adalah skema diagram energi oksidasi CO menjadi CO₂.

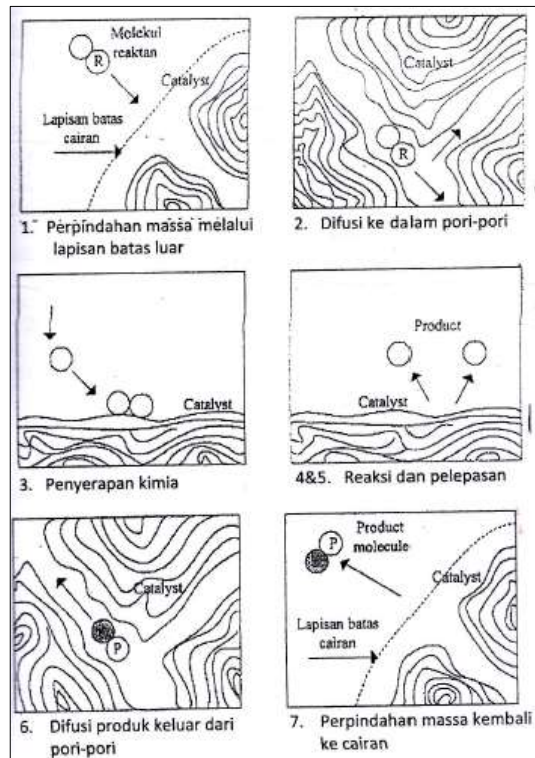


Gambar 16. Skema diagram energi reaksi CO menjadi CO₂
Sumber: G. Ertl (1983:245)

Pada gambar 16 di atas dapat dilihat bahwa, katalis memfasilitasi reaksi dengan memberikan energi aktivasi yang lebih rendah (alur garis utuh) untuk memisahkan molekul oksigen menjadi atom oksigen. Sedangkan untuk mereaksikan molekul CO dan atom O dibutuhkan energi 105 kJ mol⁻¹ dan desorpsi molekul CO₂ pada akhir reaksi hanya 21 kJ mol⁻¹. Alur reaksi tanpa katalis (garis putus-putus) secara ekstrim menunjukkan bahwa untuk mereaksikan CO menjadi CO₂ dibutuhkan energi yang lebih tinggi, yaitu 249 kJ mol⁻¹.

Jika kita bandingkan antara reaksi tanpa katalis dan dengan katalis, dapat dilihat bahwa reaksi akan sulit dilakukan jika tanpa katalis karena membutuhkan energi aktivasi yang lebih tinggi. Katalis mampu memisahkan molekul O₂ menjadi atom O. Hal inilah yang menyebabkan molekul CO mudah direaksikan dengan atom O untuk membentuk CO₂.

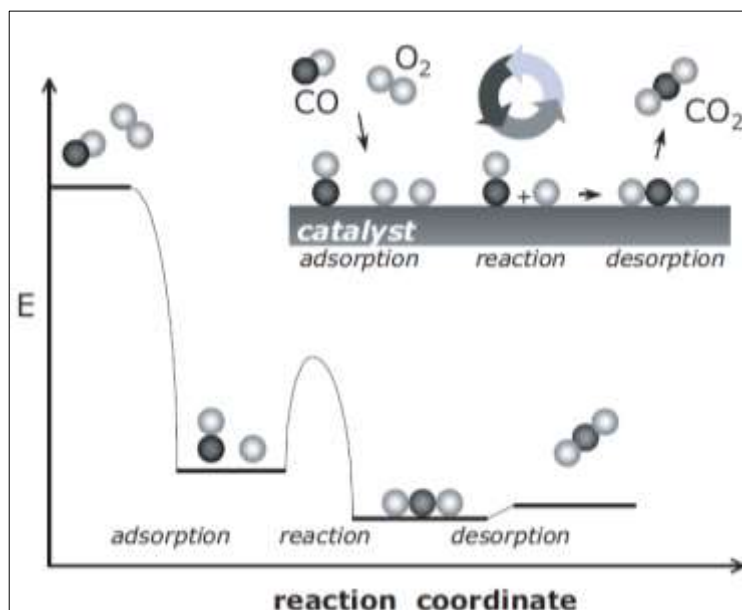
Catalytic converter titanium dioksida merupakan salah satu jenis katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang terdiri lebih dari satu fase. Pada umumnya fase katalis adalah padat sedangkan reaktan dan produknya adalah cair atau gas. Dalam hal ini titanium dioksida sebagai katalis padat, CO dan HC dan O₂ sebagai reaktan dan CO₂, H₂O sebagai produknya. Untuk proses reaksi tahapan reaksi katalis heterogen dapat dilihat pada gambar 17 di bawah ini.



Gambar 17. Skema tahapan reaksi katalis heterogen
Sumber: Somorjai (1994)

Tahapan reaksi katalis heterogen diawali dengan perpindahan massa melalui lapisan batas luar dan molekul reaktan masuk ke pori-pori katalis. Kemudian reaktan berdifusi ke dalam pori-pori dan diserap oleh katalis. Katalis mereaksikan reaktan menjadi produk. Produk kemudian keluar dari pori-pori dan reaksi berakhir dengan perpindahan massa kembali ke batas luar katalis.

Sedangkan gambar 18 di bawah ini adalah skema tahapan reaksi CO menjadi CO₂ menurut Chorkendorff (2007:3).



Gambar 18. Proses reaksi CO menjadi CO₂

Gambar 18 di atas adalah proses reaksi CO menjadi CO₂ yang difasilitasi oleh katalis. Reaksi diawali dengan adsorpsi (pengikatan) molekul CO dan O₂ oleh katalis. Kemudian CO direaksikan dengan O₂ menjadi CO₂. Setelah reaksi selesai maka katalis akan melakukan desorpsi molekul CO₂ keluar lapisan katalis.

2. Perubahan Reduksi Emisi HC (Hidrokarbon)

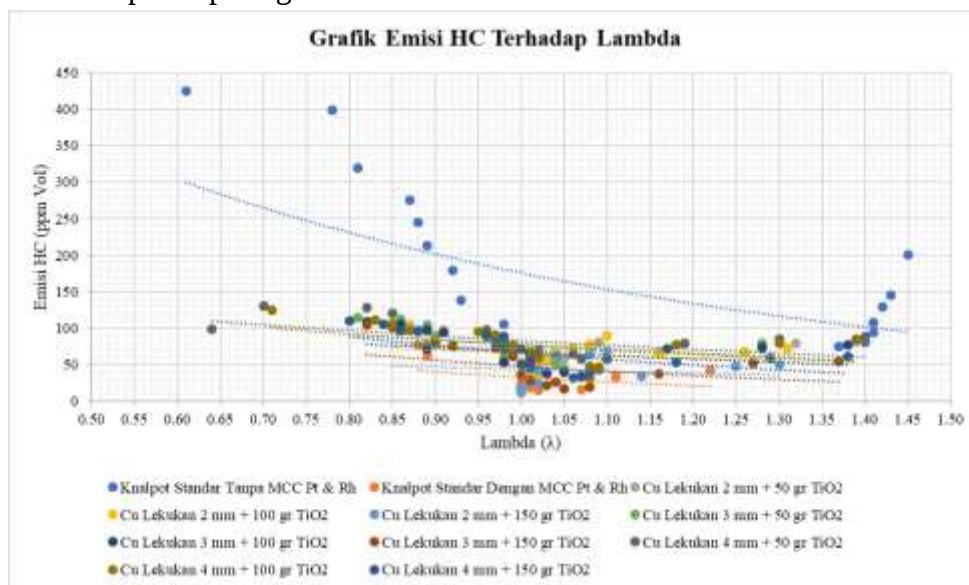
Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida dapat mempengaruhi perubahan reduksi emisi HC. Untuk mengetahui seberapa besar rata-rata persentase perubahan reduksi emisi HC dengan menggunakan *catalytic converter* titanium dioksida dapat dilihat pada tabel 5.14 di bawah ini.

Tabel 5.14 Pebandingan Hasil Emisi HC

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (%)	Persentase Perubahan Emisi HC Knalpot Eksperimen Berteknologi Metallic Catalytic Converter Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (%)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	81,88	74,82	75,29	76	72,94	74,35	75,53	69,41	70,59	74,12
2000	82,21	73,93	74,69	75,44	71,93	73,43	74,69	67,92	72,18	73,43
2500	80,63	69,69	70,31	75,94	67,50	69,38	75	62,50	66,88	70
3500	81,09	67,27	67,64	75,27	67,27	65,82	72,73	64	64,73	65,45

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (%)	Persentase Perubahan Emisi HC Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (%)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
4000	79,59	66,94	68,16	73,88	64,08	65,31	70,20	60,41	61,22	62,86
4500	77,46	64,32	65,73	70,89	60,09	62,91	66,67	58,22	57,28	58,69
5000	74,86	59,78	62,01	67,60	54,75	58,10	63,69	49,72	50,84	54,75
5500	73,19	50	54,35	60,14	43,48	47,83	55,80	36,23	39,13	44,93
6000	85,85	45,28	45,28	60,38	42,45	50	66,04	23,58	27,36	33,02
6500	85,06	36,78	54,02	79,31	33,33	48,28	77,01	13,79	20,69	42,53
7000	81,82	37,88	53,03	77,27	28,79	48,48	74,24	12,12	28,79	51,52
7500	78,67	36	56	73,33	32	50,67	70,67	42,67	57,33	56
8000	77,78	49,38	53,09	70,37	45,68	50,62	67,90	28,40	40,74	51,85
8500	79,79	47,87	54,26	72,34	35,11	41,49	70,21	30,85	37,23	51,06
9000	77,78	46,30	52,78	72,22	37,04	41,67	67,59	35,19	37,96	51,85
9500	74,42	47,29	49,61	73,64	40,31	44,96	71,32	38,76	40,31	58,91
10.000	75,86	49,66	53,10	66,90	45,52	48,97	64,14	41,38	44,83	59,31
Rata-rata	79,10	60,70	63,68	75,12	59,20	61,69	72,64	56,22	57,71	69,65

Dari data pada tabel 5.14 di atas, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti gambar 19 berikut ini.



Gambar 19. Grafik emisi HC terhadap lambda

Data pada tabel 5.14 dan gambar 19 menunjukkan bahwa, pada putaran *idle* emisi HC knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh yang terukur pada *exhaust gas analyzer* sebesar 425 ppmVol. Sedangkan ketika menggunakan knalpot

standar dengan MCC Pt & Rh, Cu lekukan 2 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 100 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 150 gr TiO₂ masing-masing sebesar 77 ppm Vol, 107 ppm Vol, 105 ppm Vol, 102 ppm Vol, 115 ppm Vol, 109 ppm Vol, 104 ppm Vol, 130 ppm Vol, 125 ppm Vol, dan 110 ppm Vol.

Dari data tersebut apabila dianalisis lebih lanjut, maka pada kondisi putaran *idle catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi knalpot standar dengan MCC Pt & Rh, Cu lekukan 2 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 100 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 150 gr TiO₂ masing-masing dapat mereduksi emisi HC rata-rata sebesar 79,10%, 60,70%, 63,68%, 75,12%, 59,20%, 61,69%, 72,64%, 56,22%, 57,71%, dan 69,65.

Hasil di atas jika dikaitkan dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 5 tahun 2006 tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor untuk kendaraan bermotor tipe L (sepeda motor) tahun pembuatan lebih dari tahun 2010 dapat dilihat pada tabel 5.15 berikut.

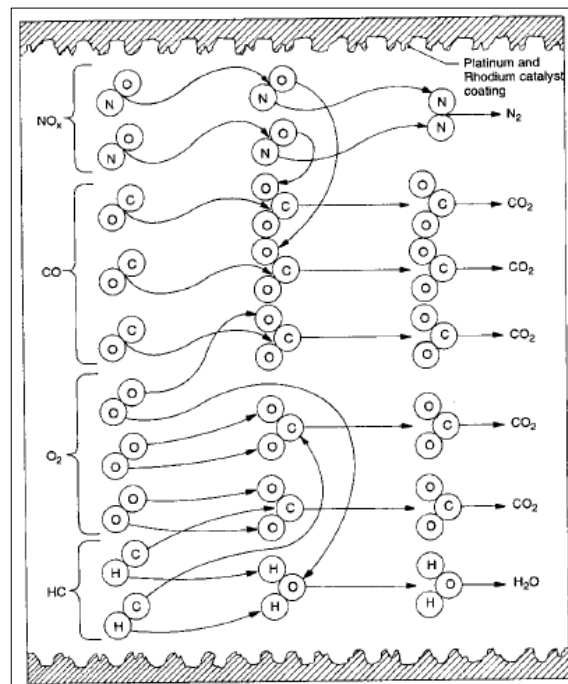
Tabel 5.15 Pebandingan Hasil Emisi HC Terhadap Peraturan Pemerintah

Knalpot	Hasil	Ambang Batas	Lulus/Tidak Lulus
Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh	425 ppm Vol	2000 ppm	Lulus
Knalpot Standar dengan MCC Pt & Rh	77 ppm Vol	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	107 ppm Vol	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	105 ppm Vol	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	102 ppm Vol	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	115 ppm Vol	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	109 ppm Vol	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	104 ppm Vol	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	130 ppm Vol	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	125 ppm Vol	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂	110 ppm Vol	2000 ppm	Lulus

Jadi, dapat disimpulkan bahwa emisi CO yang terukur pada 11 variasi knalpot eksperimen masuk pada kategori lulus uji emisi untuk gas HC berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup.

Pada *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ mendapatkan

persentase perubahan reduksi emisi HC masing-masing sebesar 60,70%, 59,20%, dan 56,22% dibandingkan dengan emisi HC knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Perubahan reduksi emisi terbaik pada terdapat pada Cu lekukan 2, persentase reduksi ini tergolong baik karena jumlah katalis titanium dioksida yang dilapiskan ke permukaan plat tembaga (Cu) relatif sedikit, yaitu 50 gram dan mampu mereduksi emisi HC hingga 60,70%. Dengan demikian emisi HC bereaksi dengan O_2 dan NO, sehingga berubah menjadi H_2O atau uap air seperti yang terlihat pada gambar 20 proses reaksi komposisi gas buang berikut ini.



Gambar 20. Proses reaksi komposisi gas buang
Sumber: Heisler (1998:698)

Hal ini bisa dibuktikan dengan keluarnya air pada knalpot setelah dilakukan pengujian emisi pada knalpot standar dengan MCC Pt & Rh dan tanpa MCC Pt & Rh sebagaimana yang ditunjukkan gambar 21 berikut ini.



Gambar 21. Air yang keluar dari gas probe setelah pengujian emisi pada knalpot standar dengan MCC Pt & Rh dan tanpa MCC Pt & Rh

Selanjutnya pada gambar 22 ditunjukkan hasil reaksi berupa uap air yang mengembun dan keluar dari *gas probe* setelah pengujian *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO₂.



Gambar 22. Air yang keluar dari *gas probe* setelah pengujian emisi *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO₂

Air yang keluar pada *gas probe* setelah pengujian *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO₂ relatif lebih banyak dibandingkan dengan knalpot standar. Hal ini menunjukkan bahwa *catalytic converter* titanium dioksida mampu mengoksidasi emisi HC menjadi H₂O dibandingkan dengan knalpot standar.

Dengan menggunakan *catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi HC masing-masing sebesar 63,08%, 61,69%, dan 57,71% dibandingkan dengan menggunakan knalpot standar. Emisi HC juga dapat diturunkan lebih baik dibandingkan dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂, karenapada variasi ini jumlah katalis titanium dioksida yang terlapis pada permukaan plat tembaga (Cu) relatif lebih banyak yaitu 100 gram. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak katalis titanium dioksida melapisi permukaan plat tembaga (Cu) maka semakin banyak emisi HC yang teroksidasi. HC yang teroksidasi akan berubah menjadi H₂O atau air. Hasil reaksi ini dibuktikan dengan keluarnya air pada knalpot setelah dilakukan pengujian emisi sebagaimana yang ditunjukkan gambar 23 berikut ini.



Gambar 23. Air yang keluar dari *gas probe* setelah pengujian emisi *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 100 gr TiO₂

Dengan menggunakan *catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 150 gr TiO₂, rata-rata persentase perubahan reduksi emisi HC masing-masing sebesar 75,12%, 72,64%, dan 69,65% dibandingkan dengan emisi HC knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Emisi HC dapat direduksi lebih signifikan karena jumlah katalis titanium dioksida yang dilapiskan ke permukaan plat tembaga (Cu) lebih banyak, yaitu 150 gram. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak katalis yang dilapiskan ke permukaan plat tembaga (Cu) maka berdampak pada emisi HC yang semakin banyak teroksidasi. Emisi HC yang teroksidasi akan berubah menjadi H₂O atau air. Hasil reaksi tersebut

dibuktikan dengan keluarnya air pada ujung knalpot setelah dilakukan pengujian emisi pada gambar 24 berikut ini.



Gambar 24. Air yang keluar dari *gas probe* setelah pengujian emisi *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 150 gr TiO₂

Reduksi emisi HC yang dilakukan oleh *catalytic converter* titanium dioksida selain disebabkan oleh luas permukaan juga dipengaruhi oleh faktor temperatur. Emisi HC dapat berubah menjadi H₂O dengan cara bereaksi dengan O₂ dan NO, namun hal tersebut akan membutuhkan temperatur yang lebih tinggi, yaitu 600°C. Temperatur maksimal yang paling efektif mereduksi HC didapat pada knalpot eksperimen Cu lekukan 2 mm + 50 gr TiO₂, dengan suhu 692,3°C, sehingga dapat menurunkan energi aktivasi sehingga proses oksidasi dari $2\text{HC} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$ menjadi lebih cepat tercapai. Akibatnya, terjadi reduksi emisi HC yang lebih signifikan pada *catalytic converter* titanium dioksida jika dibandingkan dengan menggunakan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.

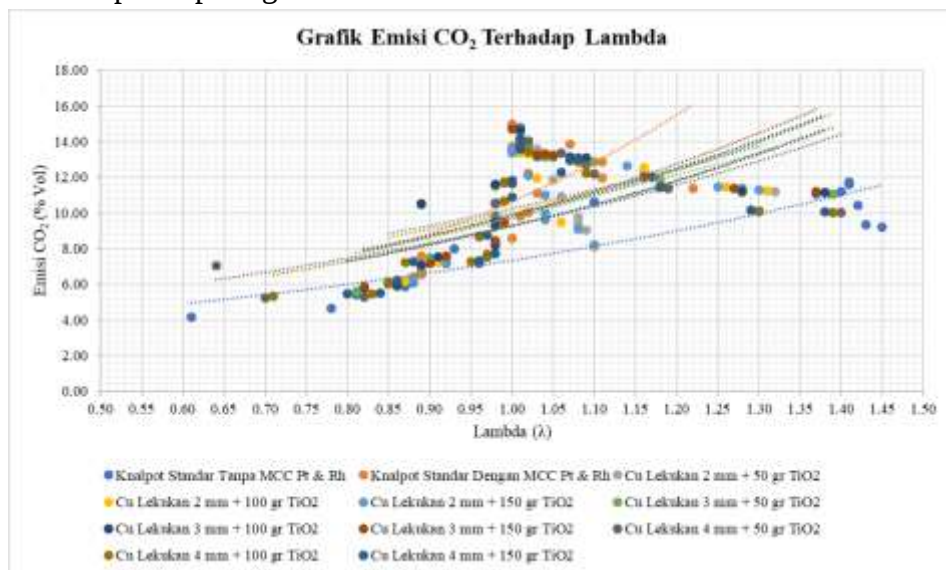
3. Perubahan Reduksi Emisi CO₂ (Karbon Dioksida)

Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida dapat mempengaruhi perubahan emisi CO₂. Untuk mengetahui seberapa besar perubahan kadar emisi CO₂ dengan menggunakan *catalytic converter* titanium dioksida dapat dilihat pada tabel 5.16 di bawah ini.

Tabel 5.16 Persentase Perubahan Emisi CO₂

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (%)	Persentase Perubahan Emisi CO ₂ Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (%)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	35,56	31,18	31,74	32,08	26,16	28,08	29,54	20,80	22,14	24,13
2000	28,77	24,27	24,64	25,36	20,27	21,74	22,52	11,70	14,60	15,06
2500	28,46	24,69	25,10	25,41	22,09	23,31	24,48	10,84	11,99	12,70
3500	31,74	27,44	27,98	28,50	21,63	22,25	22,86	16,86	18,59	19,26
4000	37,55	32,15	32,60	32,89	19,26	20,10	20,42	14,88	15,82	16,28
4500	31,31	28,10	28,63	29,52	17,22	17,62	19,86	10,08	11,37	12,29
5000	28,34	26,58	27,62	28,06	22,63	23,21	24,18	17,28	17,57	18,04
5500	28,15	26,83	27,23	27,56	23,76	23,98	25,05	18,05	18,64	19,05
6000	32,87	30,72	31,13	32,04	28,43	28,99	29,48	21,92	22,87	24,36
6500	22,15	20,27	20,51	20,81	17,86	19,17	19,30	9,50	10,03	10,72
7000	22,85	20,30	20,66	20,95	18,52	19,27	20,00	13,04	13,40	13,82
7500	20,19	17,82	18,18	18,66	15,75	16,07	16,52	12,77	13,99	14,58
8000	20,48	17,85	18,69	19,45	15,05	15,56	16,07	13,87	14,07	14,20
8500	21,58	18,39	20,23	20,40	14,80	15,29	16,09	12,95	13,47	14,30
9000	21,55	20,22	20,38	20,54	19,23	19,78	20,05	16,30	16,54	16,71
9500	18,93	15,32	16,73	17,26	12,11	12,92	12,99	8,01	8,41	8,81
10.000	21,74	17,97	18,25	18,47	16,13	16,80	17,68	7,23	7,60	7,96
Rata-rata	19,07	17,84	18,06	18,35	16,88	17,40	17,69	8,18	8,36	8,63

Dari data pada tabel 5.16 di atas, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti gambar 25 berikut ini.

Gambar 25. Grafik emisi CO₂ terhadap lambda

Data pada 5.16 dan gambar 25 menunjukkan bahwa dengan menggunakan knalpot standar dengan MCC Pt & Rh, Cu lekukan 2 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 100 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 150 gr TiO₂ rata-rata mengalami penurunan emisi CO₂. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari lambda yang cenderung semakin miskin ($\lambda > 1$). Semakin miskin lambda maka konsentrasi emisi CO₂ semakin turun. Tren grafik emisi CO₂ paling tinggi diperoleh saat lambda dekat dengan nilai 1 (stoikiometris). Saat lambda melebihi 1 maka tren grafik emisi CO₂ semakin turun. Lambda lebih dari 1 menandakan campuran miskin.

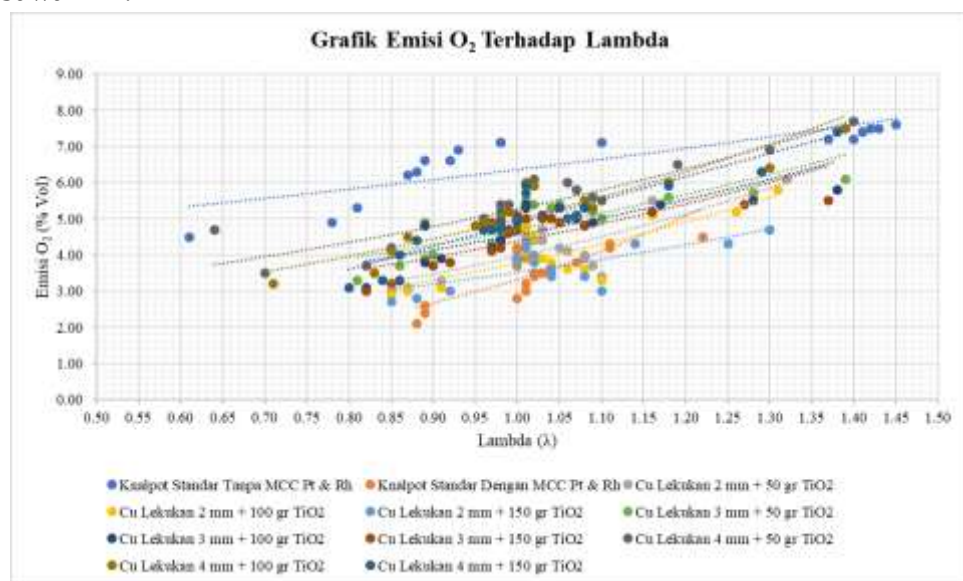
Lambda variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ rata-rata mengalami penurunan rata-rata sebesar -2,82%, -11,71%, dan -13,69% dibandingkan dengan menggunakan knalpot standar dengan MCC Pt & Rh. Variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ rata-rata mengalami penurunan rata-rata sebesar -8,98%, -12,03%, dan -11,18% dibandingkan dengan menggunakan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Sementara itu variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ rata-rata mengalami penurunan rata-rata sebesar -10,85%, -11,44%, dan -11,45% dibandingkan dengan menggunakan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.

Pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂, didapat rata-rata persentase perubahan reduksi emisi CO₂ sebesar 23,69%, 18,70%, dan 13,68%. Emisi CO₂ cenderung menurun karena lambda rata-rata variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ lebih miskin dibandingkan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Semakin miskin campuran menandakan bahwa O₂ semakin banyak yang masuk ke dalam silinder. Pernyataan ini didukung dengan data kadar O₂ pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂. Pada tabel 5.16 di bawah, rata-rata kadar O₂ pada Cu lekukan 2 dan 3 dengan kadar katalis titanium dioksida sebanyak 50 gram sama-sama meningkat sebesar 19,74%. Namun Cu lekukan 4 + 50 gr TiO₂ menurun sebesar 1,32% bila dibandingkan kadar O₂ pada knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Untuk tabel perubahan O₂ dapat dilihat tabel 5.17 di bawah ini.

Tabel 5.17 Persentase Perubahan O₂

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (%)	Persentase Perubahan Emisi O ₂ Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (%)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	53,33	33,33	35,56	40,00	26,67	31,11	33,33	22,22	28,89	31,11
2000	51,02	36,73	38,78	42,86	24,49	32,65	34,69	24,49	28,57	32,65
2500	50,94	37,74	41,51	43,40	26,42	28,30	30,19	20,75	22,64	24,53
3500	54,84	45,16	46,77	51,61	35,48	37,10	38,71	24,19	27,42	29,03
4000	52,38	41,27	42,86	46,03	31,75	33,33	34,92	22,22	23,81	25,40
4500	51,52	40,91	45,45	48,48	31,82	33,33	36,36	25,76	27,27	28,79
5000	48,48	39,39	43,94	46,97	27,27	28,79	30,30	24,24	25,76	28,79
5500	49,28	40,58	44,93	47,83	28,99	30,43	31,88	24,64	27,54	28,99
6000	50,70	40,85	45,07	46,48	29,58	30,99	33,80	23,94	26,76	30,99
6500	47,89	38,03	43,66	46,48	29,58	30,99	32,39	23,94	26,76	29,58
7000	47,89	38,03	42,25	45,07	26,76	29,58	30,99	22,54	25,35	29,58
7500	47,22	37,50	41,67	45,83	26,39	29,17	30,56	22,22	26,39	29,17
8000	45,83	34,72	37,50	44,44	25,00	26,39	30,56	19,44	23,61	26,39
8500	44,59	33,78	36,49	43,24	27,03	28,38	32,43	18,92	20,27	22,97
9000	43,24	32,43	35,14	41,89	25,68	27,03	31,08	17,57	18,92	20,27
9500	44,00	26,67	32,00	42,67	25,33	28,00	30,67	13,33	20,00	21,33
10.000	42,67	24,00	30,67	42,67	24,00	26,67	28,00	8,00	14,67	16,00
Rata-rata	40,79	19,74	23,68	38,16	19,74	23,68	27,63	-1,32	1,32	2,63

Sedangkan grafik O₂ terhadap lambda dapat dilihat pada gambar 26 di bawah ini.

Gambar 26. Grafik emisi O₂ terhadap lambda

Tabel 5.16 dan gambar 26 di atas menandakan bahwa dengan menggunakan *catalytic converter* titanium dioksida, udara yang masuk semakin banyak dan namun bahan bakar semakin sedikit. Bukti bahwa bahan bakar yang dibakar lebih sedikit dapat dilihat pada analisa dan pembahasan perubahan konsumsi bahan bakar. Hal inilah yang menyebabkan CO₂ semakin menurun konsentrasinya jika lambda semakin miskin.

Pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂, didapat rata-rata persentase perubahan reduksi emisi CO₂ sebesar 18,06%, 17,40%, dan 8,36% bila dibandingkan dengan emisi CO₂ knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Pada tabel 5.16 dapat dilihat rata-rata persentase konsentrasi O₂ cenderung meningkat dibanding Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂, yaitu 23,68%, 23,68%, dan 1,32%. Ini dikarenakan lambda Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ lebih miskin dibandingkan dengan Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂.

Pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂, didapat rata-rata persentase perubahan reduksi emisi CO₂ sebesar 18,35%, 17,69%, dan 8,63% bila dibandingkan dengan emisi CO₂ knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Pada tabel 5.16 dapat dilihat rata-rata persentase konsentrasi O₂ cenderung meningkat dibanding Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂, yaitu 38,16%, 27,63%, dan 2,63%. Ini dikarenakan lambda Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ lebih miskin dibandingkan dengan Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂.

Analisa di atas jika ditarik kesimpulannya sebagai berikut. Emisi CO₂ dipengaruhi oleh faktor lambda dan kadar O₂. Nilai lambda yang semakin melebihi 1 ($\lambda > 1$), akan mempengaruhi jumlah O₂ yang semakin meningkat. Semakin tinggi kadar O₂ maka tren emisi CO₂ akan menurun. Hal ini disebabkan karena jumlah atom C yang dibakar semakin sedikit, karena campuran lebih miskin. Pernyataan tersebut didukung dengan data konsumsi bahan bakar pada tabel 5.20.

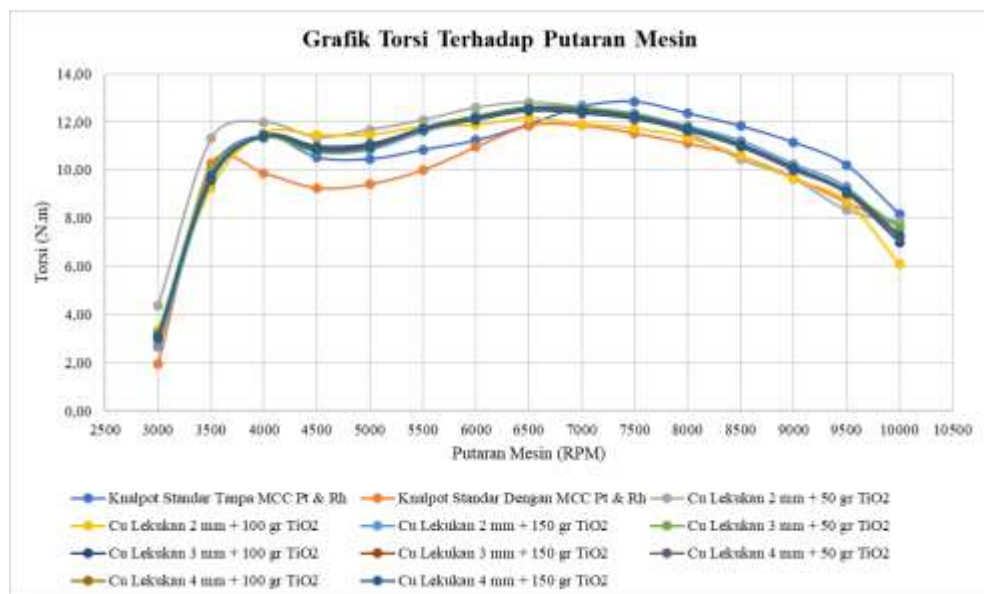
4. Perubahan Torsi

Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida dapat mempengaruhi perubahan torsi. Knalpot standar yang telah dimodifikasi dengan *catalytic converter* titanium dioksida akan mempengaruhi perubahan torsi yang dihasilkan mesin. Untuk mengetahui perubahan torsi dapat dilihat pada tabel 5.18 berikut ini.

Tabel 5.18 Persentase Perubahan Torsi

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (N.m)	Persentase Perubahan Torsi Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (N.m)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
3000	26,77	55,29	42,01	26,41	39,51	36,66	34,65	37,00	36,12	35,94
3500	-2,46	9,17	-10,75	-7,39	-3,15	-7,00	-5,81	-5,30	-6,03	-5,71
4000	13,86	17,67	14,53	13,93	12,94	13,81	13,56	13,44	13,60	13,54
4500	12,12	18,59	19,20	13,92	14,02	15,79	14,59	14,81	15,06	14,82
5000	9,94	19,23	17,84	13,18	13,78	14,99	13,99	14,26	14,41	14,22
5500	7,74	17,12	15,22	13,64	14,96	14,61	14,41	14,66	14,56	14,54
6000	2,46	12,92	7,69	9,77	10,46	9,32	9,85	9,88	9,69	9,81
6500	0,42	7,44	2,50	6,05	6,05	4,89	5,67	5,54	5,37	5,53
7000	6,24	5,92	0,48	5,75	5,70	4,04	5,17	4,97	4,73	4,96
7500	10,27	5,44	1,68	6,69	6,13	4,89	5,91	5,65	5,48	5,68
8000	10,14	3,64	2,14	6,03	5,47	4,58	5,37	5,14	5,03	5,18
8500	10,47	-1,47	0,00	5,64	4,22	3,34	4,41	3,99	3,92	4,11
9000	13,09	-0,55	-0,69	5,52	4,12	3,05	4,24	3,81	3,70	3,92
9500	15,17	-3,92	0,50	6,84	4,87	4,14	5,30	4,77	4,74	4,94
10.000	5,92	2,50	-25,98	-5,35	-0,66	-9,63	-5,09	-5,00	-6,53	-5,53
Rata-rata	10,33	14,58	10,32	10,26	10,94	10,32	10,55	10,61	10,49	10,55

Dari tabel 5.18 di atas jika dibuat grafik maka dapat dilihat pada gambar 27 berikut ini.



Gambar 27. Grafik torsi terhadap lambda

Pada data 5.18 dan gambar 27 di atas secara umum dapat dilihat bahwa dengan menggunakan knalpot standar dengan MCC Pt & Rh, Cu lekukan 2 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 100 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 150 gr TiO₂ dapat meningkatkan torsi jika dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Hal ini disebabkan karena desain *catalytic converter housing* merujuk pada desain yang telah diteliti oleh A. Graham Bell (1998:284), dengan jalan mengoptimalkan aliran gas buang melalui modifikasi *tapper inlet catalytic converter housing* dengan sudut 10° dan *tapper outlet* dengan sudut 15°. Adapun gambar desain *outlet catalytic converter housing* knalpot eksperimen Cu berlapis titanium dioksida dapat dilihat pada gambar 28.



Gambar 28. Desain lubang *outlet pipe* knalpot eksperimen Cu berlapis titanium dioksida

Pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 50 gr TiO₂ rata-rata mengalami perubahan peningkatan torsi sebesar 14,58%, 10,94%, dan 10,61% dibanding torsi menggunakan knalpot standar dengan MCC Pt & Rh. Tekanan balik knalpot eksperimen Cu lekukan 2 + 50 gr TiO₂ meningkat sebesar 16,96%. Namun, pada knalpot eksperimen Cu lekukan 3 dan Cu lekukan 4 + 50 gr TiO₂ terjadi penurunan dimana masing-masing penurunan terjadi sebesar -1,30% dan -16,37%. Tekanan balik yang rendah ini disebabkan karena katalis yang menempel pada permukaan tembaga (Cu) relatif sedikit, yaitu sebanyak 50 gram. Sehingga gas buang lebih leluasa lewat, karena kerapatan pori-pori substrat lebih lebar. Tekanan balik yang rendah akan membantu piston untuk melakukan pembilasan di

dalam ruang bakar, menurunkan kerja pemompaan (*pumping work*), meningkatkan *boost pressure* pada *intake manifold*. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Jääskeläinen (2007) yang menyatakan bahwa peningkatan tekanan balik akan berefek pada peningkatan kinerja pemompaan (*pumping work*), mengurangi *boost pressure intake manifold*, pembilasan ruang silinder dan efek pembakaran.

Pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ rata-rata mengalami perubahan peningkatan torsi sebesar 10,32%, 10,32%, dan 10,49% dibanding torsi menggunakan knalpot standar dengan MCC Pt & Rh. Tekanan balik knalpot eksperimen Cu lekukan 2, dan Cu lekukan 3 yang terlapisi 100 gr TiO₂ meningkat sebesar 17,57%, dan 7,85%. Namun, pada knalpot eksperimen Cu lekukan 4 + 100 gr TiO₂ terjadi penurunan dimana masing-masing penurunan terjadi sebesar -10,40%. Torsi rata-rata *catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ lebih rendah dibandingkan dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ dan knalpot standar dengan MCC pt & Rh.

Hal tersebut disebabkan oleh tekanan balik lebih rendah rata-rata 10,32% dibanding knalpot standar, sehingga jika dibandingkan dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ maka tekanan balik variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ lebih tinggi. Tekanan balik yang lebih tinggi ini disebabkan karena jumlah katalis pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi sebesar 100 gr TiO₂. Sehingga katalis semakin memperkecil laluan gas buang pada permukaan plat tembaga. Laluan gas buang yang lebih kecil ini akan menghambat aliran gas buang yang melewati *catalytic converter*.

Pada *catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂, rata-rata perubahan peningkatan torsi sebesar 10,26%, 10,55%, dan 10,55% jika dibandingkan dengan torsi menggunakan knalpot standar dengan MCC pt & Rh. Torsi rata-rata *catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ lebih rendah dibandingkan dengan sampel variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ dan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂. Hal ini disebabkan karena tekanan balik pada variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ lebih tinggi rata-rata 25,95% dan 8,69% dibanding knalpot standar dengan MCC pt & Rh. Namun untuk Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ terjadi penurunan tekanan balik sebesar -7,02% bila dibandingkan dengan knalpot

standar dengan MCC pt & Rh. Dengan demikian jika dibandingkan dengan antara variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ dan 100 gr TiO₂, maka tekanan balik variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ cenderung lebih tinggi. Tekanan balik yang lebih tinggi ini disebabkan karena jumlah katalis yang telapis pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm lebih banyak, yaitu 150 gram. Sehingga laluan gas buang pada permukaan plat tembaga semakin rapat. laluan gas buang yang semakin rapat ini menghambat aliran gas buang yang melewati *catalytic converter*.

Jadi, dapat disimpulkan tekanan balik *catalytic converter* titanium dioksida rata-rata lebih rendah dibandingkan dengan knalpot standar. Sedangkan knalpot standar memiliki tekanan balik yang lebih tinggi. Semakin rendah tekanan balik maka torsi yang didapatkan akan semakin tinggi. Penurunan tekanan balik berpengaruh pada penurunan kerja pemompaan (*pumping work*) pada piston, sehingga lebih ringan dalam melakukan kerja.

Penurunan tekanan balik akan memudahkan piston pada mesin mengeluarkan gas buang. Menurut Heisler (1998:2), untuk memaksimalkan pengeluaran gas buang dari silinder, *camshaft* membuka katup buang saat piston mendekati titik mati bawah saat langkah kerja. Konsekuensinya ketika katup buang terbuka, sisa gas buang yang masih memiliki tekanan 3-4 bar akan keluar dengan sendiri dengan energi kinetiknya melalui sistem pembuangan menuju atmosfer. Pengeluaran gas buang lebih awal dengan energi gas buang itu sendiri akan mempercepat pembuangan gas buang dari silinder dan meminimalisir kerja piston saat langkah buang. Pernyataan ini sesuai dengan spesifikasi mekanisme katup Yamaha Vixion Lightning, dimana katup buang dibuka 34° sebelum TMB (titik mati bawah) dan ditutup 0° setelah TMA (titik mati atas).

Modifikasi pada sistem pembuangan dengan penambahan *catalytic converter* titanium dioksida yang meminimalkan tekanan balik pada sistem pembuangan akan membantu gas buang lebih leluasa keluar menuju atmosfer. Inilah yang menyebabkan pembilasan di dalam silinder lebih baik, karena gas buang sebagian sudah keluar di akhir langkah usaha dengan sendirinya.

Pembilasan yang lebih baik akan meningkatkan *boost pressure* pada *intake manifold*. Hal ini disebabkan karena kevakuman di dalam silinder lebih besar, sehingga campuran udara dan bahan bakar lebih mudah masuk. Selain itu, *intake manifold* Yamaha Vixion Lightning didesain berkelok untuk meningkatkan pusaran/*swirl* campuran udara dan bahan bakar yang akan masuk ke dalam silinder. Dengan demikian campuran udara dan bahan bakar lebih homogen. Campuran udara dan bahan bakar yang homogen lebih mudah

terbakar dengan sempurna sehingga akan meningkatkan torsi dan menurunkan emisi.

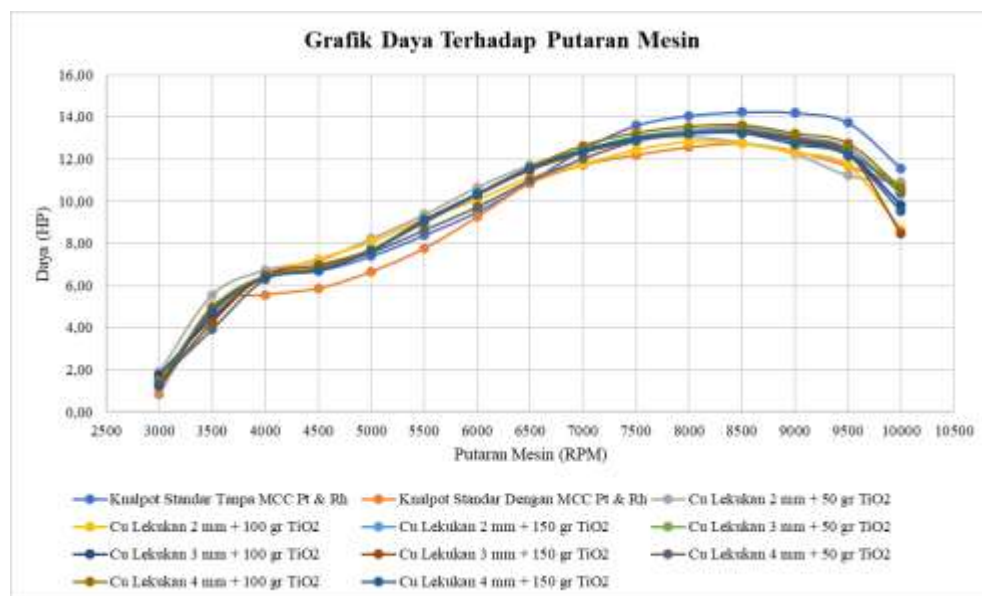
5. Perubahan Daya

Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida dapat mempengaruhi perubahan daya. Knalpot standar yang telah dimodifikasi dengan *catalytic converter* titanium dioksida akan mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh mesin. Untuk mengetahui perubahan daya dapat dilihat pada tabel 5.19 berikut ini.

Tabel 5.19 Persentase Perubahan Daya

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh (HP)	Persentase Perubahan Daya Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (HP)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
3000	29,73	54,39	43,48	27,78	39,53	50,94	31,58	43,48	38,10	29,73
3500	-2,03	9,58	-10,22	-7,09	-2,72	-12,69	-17,97	-27,97	-1,34	-4,86
4000	13,47	17,33	13,92	13,92	12,57	13,47	14,36	11,64	13,92	12,57
4500	12,44	18,52	19,27	14,15	13,73	12,87	15,79	14,15	14,15	12,87
5000	9,91	19,03	17,36	13,04	13,42	13,04	13,42	11,89	13,42	12,66
5500	7,54	17,08	15,27	13,70	14,65	14,65	13,70	10,04	14,96	14,65
6000	2,46	13,13	7,95	10,03	10,61	10,61	10,03	4,79	10,32	10,32
6500	0,61	7,39	2,40	6,05	6,32	6,32	5,23	1,21	6,32	6,05
7000	5,88	5,88	0,28	5,63	5,63	5,38	4,61	2,49	7,12	5,12
7500	10,29	5,91	1,88	6,63	6,39	6,15	5,18	5,18	7,81	5,67
8000	10,66	3,83	2,08	5,99	5,51	5,04	4,80	5,28	7,14	4,80
8500	10,54	0,52	0,00	5,68	4,50	4,26	4,74	4,50	6,37	3,78
9000	12,91	-0,82	-0,54	5,36	3,89	3,89	4,13	5,12	6,31	2,62
9500	15,05	-3,86	0,28	6,91	4,89	4,89	5,15	5,41	8,38	4,11
10.000	6,92	1,43	-24,23	-4,19	-0,31	-9,49	-27,17	-2,87	-1,57	-12,94
Rata-rata	10,60	14,46	10,35	10,37	10,90	11,66	10,21	9,63	11,87	9,61

Dari tabel 5.19 di atas jika dibuat grafik maka dapat dilihat pada gambar 30 berikut ini.



Gambar 29. Grafik daya terhadap putaran mesin

Pada tabel 5.19 dan gambar 30 di atas secara umum dapat dilihat bahwa dengan menggunakan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh, Cu lekukan 2 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 100 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 150 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 50 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 100 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 150 gr TiO₂ dapat meningkatkan daya jika dibandingkan dengan knalpot standar dengan MCC Pt & Rh. Hal ini disebabkan karena pada data torsi juga mengalami peningkatan. Jika torsi meningkat maka daya pun juga meningkat, karena rumus untuk mendapatkan daya (PS) harus diketahui dulu nilai torsi.

Pada *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ rata-rata persentase perubahan peningkatan daya yang dihasilkan adalah sebesar 14,46%, 10,90%, dan 9,63% jika dibandingkan dengan daya knalpot standar dengan MCC Pt & Rh. Peningkatan ini disebabkan karena torsi rata-rata variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ juga meningkat. Peningkatan torsi ini memiliki hubungan dengan tekanan balik dan berat katalis yang terlapis pada substrat yang sudah dibahas pada analisis torsi sebelumnya.

Pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ persentase rata-rata perubahan peningkatan daya yang dihasilkan sebesar 10,35%, 11,66%, dan 11,87% jika dibandingkan dengan daya knalpot standar dengan MCC Pt & Rh. Peningkatan ini disebabkan

karena torsi rata-rata variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ juga meningkat.

Pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ rata-rata persentase perubahan peningkatan daya yang dihasilkan sebesar 10,37%, 10,21%, dan 9,61% jika dibandingkan dengan daya knalpot standar dengan MCC Pt & Rh. Peningkatan daya ini disebabkan karena torsi rata-rata variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ juga meningkat.

Jadi dapat disimpulkan bahwa, dengan peningkatan torsi maka akan juga diikuti oleh peningkatan daya. Peningkatan torsi dan daya ini dipengaruhi oleh tekanan balik pada knalpot. Semakin tinggi tekanan balik maka torsi dan daya yang dihasilkan juga semakin turun. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Pesansky (2009) yang menyatakan bahwa semakin tinggi tekanan balik maka semakin menurunkan daya mesin.

6. Perubahan Tekanan Balik

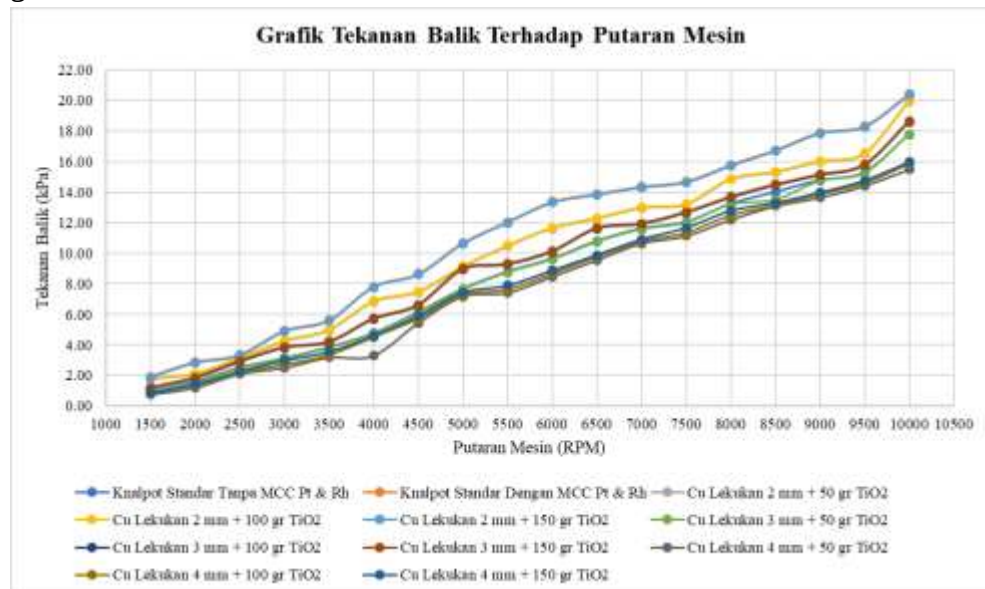
Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida dapat mempengaruhi tekanan balik di dalam sistem pembuangan. Berikut ini adalah tabel 5.20 data perubahan tekanan balik dari knalpot standar dan *catalytic converter* titanium dioksida.

Tabel 5.20 Persentase Perubahan Tekanan Balik

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (%)	Persentase Perubahan Tekanan Balik Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (%)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	50.26	45.45	46.96	48.94	-5.49	17.24	20.66	-24.68	-14.29	-10.34
2000	43.55	22.49	24.30	42.55	-3.18	10.99	13.37	-33.88	-19.12	-11.72
2500	24.48	17.86	19.17	23.33	-2.02	12.15	13.65	-19.91	-17.13	-10.96
3500	36.51	25.83	26.70	35.86	-1.62	17.85	18.91	-24.21	-15.50	-5.03
4000	31.32	22.02	22.80	30.70	-1.31	7.43	8.53	-21.00	-15.92	-8.43
4500	39.00	30.06	30.57	38.69	-1.06	16.02	16.75	-44.11	-5.53	-3.70
5000	28.90	17.45	18.00	28.49	-0.82	6.53	7.24	-12.84	-7.52	-4.24
5500	28.12	15.71	16.17	27.78	-0.66	14.11	14.59	-6.82	-5.65	-3.23
6000	26.97	15.79	16.19	26.67	-0.57	4.97	5.48	-18.60	-15.18	-11.39
6500	27.77	16.95	17.31	27.50	-0.52	4.46	4.93	-13.80	-11.30	-8.67
7000	22.19	11.84	12.20	21.91	-0.47	6.90	7.30	-12.97	-10.54	-9.20
7500	19.08	10.34	10.68	18.80	-0.43	2.35	2.76	-9.11	-7.79	-6.51
8000	17.97	8.57	8.92	17.69	-0.42	4.74	5.12	-8.17	-6.17	-3.26
8500	16.16	10.73	11.03	15.89	-0.38	3.01	3.36	-8.44	-5.92	-3.52

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (%)	Persentase Perubahan Tekanan Balik Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (%)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
9000	16.42	8.44	8.74	16.17	-3.70	3.11	3.45	-6.95	-6.46	-5.26
9500	17.38	7.51	7.80	17.15	-0.34	2.12	2.44	-8.28	-6.48	-5.80
10.000	16.53	7.27	7.55	16.30	-0.33	2.98	3.29	-6.10	-4.72	-3.66
Rata-rata	12.89	10.92	11.14	12.67	0.00	4.41	4.66	-14.78	-12.04	-11.40

Tabel 5.20 di atas jika dibuat dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 31 berikut ini.



Gambar 30. Grafik tekanan balik terhadap putaran mesin

Pada tabel 5.20 dan gambar 31 di atas terlihat bahwa, modifikasi *catalytic converter* titanium dioksida dapat mempengaruhi perubahan tekanan balik jika dibandingkan dengan knalpot standar. Dengan menggunakan *catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 yang terlapis 50 gr TiO₂, tekanan balik rata-rata naik sebesar 16,96% dibandingkan tekanan balik standar tanpa MCC Pt & Rh. Namun, pada Cu lekukan 3 dan Cu lekukan 4 mm yang terlapis 50 gr TiO₂ tekanan balik rata-rata turun sebesar -1,30% dan -16,37% dibandingkan tekanan balik standar tanpa MCC Pt & Rh. Terjadinya kenaikan dan penurunan tekanan balik ini disebabkan karena desain dari *catalytic converter housing* menganut desain

A. Graham Bell (1998:284). Aliran gas buang dimaksimalkan dengan membuat sudut *tapper inlet* 10° dan *tapper outlet* 15° . Selain itu berat katalis titanium dioksida yang terlapis pada substrat hanya 50 gram, sehingga variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ memiliki tingkat kerapatan permukaan katalis paling rendah dibandingkan dengan variasi yang lain. Tingkat kerapatan yang rendah ini akan membantu memperlancar aliran gas buang yang melewati katalis. Dampak positifnya performa mesin akan semakin meningkat, sedangkan dampak negatifnya emisi gas buang hanya sedikit yang bisa direduksi.

Pada variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapisi 100 gr TiO₂, tekanan balik rata-rata naik sebesar 17,57% dan 7,85, sedangkan terjadi penurunan pada Cu lekukan 4 mm sebesar -10,40% dibandingkan dengan tekanan balik knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Jika dibandingkan dengan *catalytic converter* variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂, maka tekanan balik variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ rata-rata relatif lebih tinggi. Peningkatan tekanan balik ini disebabkan karena jumlah katalis titanium dioksida yang terlapis pada permukaan plat tembaga variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ lebih banyak jika dibandingkan dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂, yaitu 100 gram. Sehingga bisa disimpulkan bahwa tingkat kerapatan permukaan katalis variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ kali lebih tinggi jika dibandingkan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂. Kerapatan tersebut menyebabkan gas buang lebih tertahan di dalam katalis. Dampak positifnya, emisi dapat direduksi lebih. Sedangkan dampak negatifnya performa mesin lebih rendah dibandingkan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂.

Pada variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapisi 150 gr TiO₂, tekanan balik rata-rata naik sebesar 25,95% dan 8,69%, sedangkan terjadi penurunan pada Cu lekukan 4 mm sebesar -7,02 % dibandingkan dengan tekanan balik knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Jika dibandingkan dengan *catalytic converter* variasi lainnya variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ rata-rata relatif lebih tinggi. Peningkatan tekanan balik ini disebabkan karena jumlah katalis titanium dioksida yang terlapis pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ yaitu 150 gram. Sehingga bisa disimpulkan bahwa tingkat kerapatan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ lebih tinggi jika dibandingkan variasi Cu

lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ dan 100 gr TiO₂. Dampak positifnya emisi dapat direduksi semakin signifikan, sedangkan dampak negatifnya performa mesin lebih rendah dibandingkan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ dan 100 gr TiO₂.

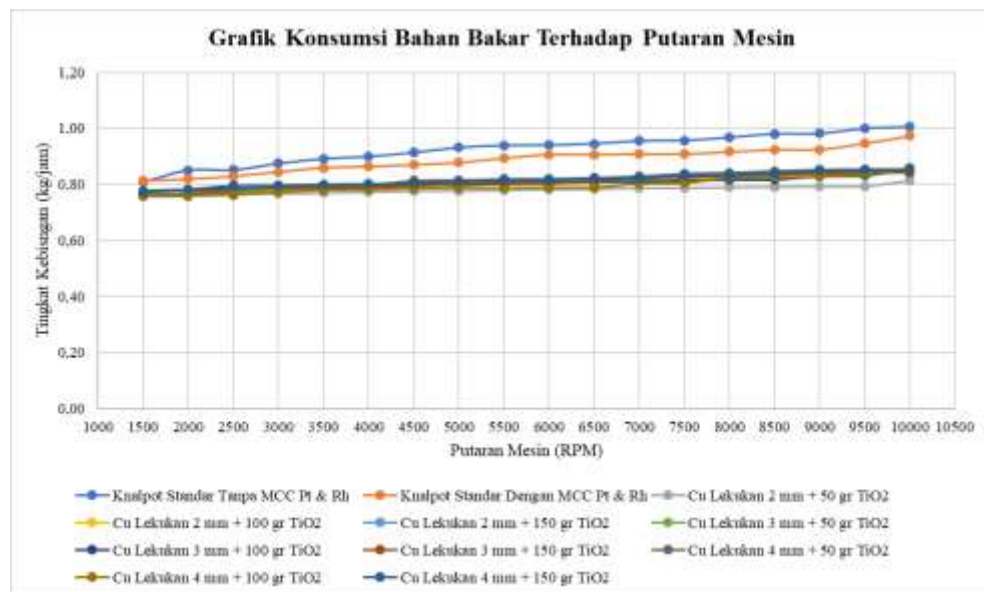
7. Perubahan Konsumsi Bahan Bakar

Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida dapat mempengaruhi konsumsi bahan bakar. Selain mempengaruhi perubahan torsi dan daya mesin, penambahan *catalytic converter* juga akan mempengaruhi perubahan konsumsi bahan bakar. Untuk melihat persentase perubahan konsumsi bahan bakar dapat dilihat pada tabel 5.21 di bawah ini.

Tabel 5.21 Persentase Perubahan Konsumsi Bahan Bakar

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (%)	Persentase Perubahan Konsumsi Bahan Bakar Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapisi Titanium Dioksida (%)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	0,71	-6,57	-6,01	-6,54	-5,57	-3,95	-4,19	-6,25	-6,46	-4,52
2000	-3,92	-12,00	-11,02	-12,22	-11,29	-9,01	-9,24	-10,88	-12,19	-8,73
2500	-2,60	-10,97	-10,74	-10,68	-10,97	-8,64	-9,29	-9,74	-11,90	-6,96
3500	-3,56	-14,00	-13,31	-11,92	-11,76	-11,10	-10,92	-9,94	-13,35	-9,79
4000	-3,75	-15,90	-13,29	-13,44	-13,69	-13,03	-12,90	-11,96	-14,40	-11,34
4500	-4,15	-16,41	-12,57	-14,14	-13,55	-13,97	-13,69	-12,92	-15,29	-12,19
5000	-5,02	-17,66	-13,50	-14,80	-14,81	-14,54	-14,76	-12,38	-16,27	-13,37
5500	-6,13	-19,90	-15,70	-16,67	-16,52	-16,78	-16,36	-14,33	-18,33	-14,95
6000	-5,10	-20,45	-15,94	-16,87	-17,30	-16,98	-16,69	-14,72	-19,23	-15,35
6500	-3,70	-20,14	-15,68	-16,51	-17,14	-16,78	-16,70	-14,65	-19,18	-15,25
7000	-4,29	-20,58	-16,34	-16,20	-17,18	-16,83	-16,49	-14,91	-19,86	-14,91
7500	-5,12	-21,37	-16,92	-16,67	-17,35	-18,02	-15,81	-15,21	-19,07	-16,05
8000	-5,32	-21,54	-16,16	-14,40	-14,76	-17,55	-15,93	-14,26	-18,92	-15,06
8500	-5,64	-22,51	-17,18	-15,43	-15,92	-18,54	-16,37	-14,99	-17,36	-16,23
9000	-6,12	-23,87	-17,70	-16,84	-17,24	-20,05	-17,30	-15,65	-18,69	-16,85
9500	-6,19	-23,83	-17,21	-16,93	-16,91	-18,44	-17,08	-15,18	-18,64	-15,74
10.000	-5,63	-25,90	-19,34	-18,39	-18,86	-20,26	-18,93	-17,09	-19,47	-17,45
Rata-rata	-3,27	-23,50	-18,82	-18,56	-17,09	-17,10	-19,38	-17,57	-17,47	-17,95

Tabel 5.21 di atas jika dibuat dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 32 berikut ini.



Gambar 31. Grafik konsumsi bahan bakar terhadap putaran mesin

Pada tabel 5.21 dan gambar 32 di atas terlihat bahwa konsumsi bahan bakar knalpot yang menggunakan *catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapisi 50 gr, 100 gr, dan 150 gr TiO₂ relatif lebih irit jika dibandingkan dengan konsumsi bahan bakar knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapisi 50 gr mendapatkan persentase penurunan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar -18,73%, -14,88%, dan -13,48% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.

Variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapisi 100 gr mendapatkan persentase penurunan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar -14,86%, -15,09%, dan -16,45% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Sementara itu Variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapisi 150 gr mendapatkan persentase penurunan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar -14,85%, -14,56%, dan -13,48% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.

Penurunan konsumsi bahan bakar pada *catalytic converter* titanium dioksida sampel ini dipengaruhi oleh lambda variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapisi 50 gr, 100 gr, dan 150 gr TiO₂ dimana rata-rata nilainya lebih dari 1 jika dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Pernyataan di atas didukung dengan hasil penelitian Jääskeläinen (2007) yang menyatakan bahwa peningkatan tekanan balik akan berpengaruh terhadap campuran udara dan bahan bakar atau lambda yang cenderung kaya ($\lambda < 1$). Selain berpengaruh terhadap lambda, tekanan balik yang realtif meningkat juga berpengaruh pada kinerja pemompaan (*pumping work*),

meningkatkan *boost pressure intake manifold*, pembilasan ruang bakar yang lebih baik dan efek pembakaran yang lebih sempurna. Jadi, peningkatan tekanan balik pada variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapisi 50 gr, 100 gr, dan 150 gr TiO₂ membuat campuran lebih miskin ($\lambda > 1$), hal ini bisa dilihat pada nilai lambda pada sampel variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapisi 50 gr, 100 gr, dan 150 gr TiO₂ yang cenderung miskin (lihat tabel data emisi gas buang). Campuran yang miskin ini akan berdampak pada konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit, karena bahan bakar yang terbakar sedikit.

8. Perubahan Tingkat Kebisingan

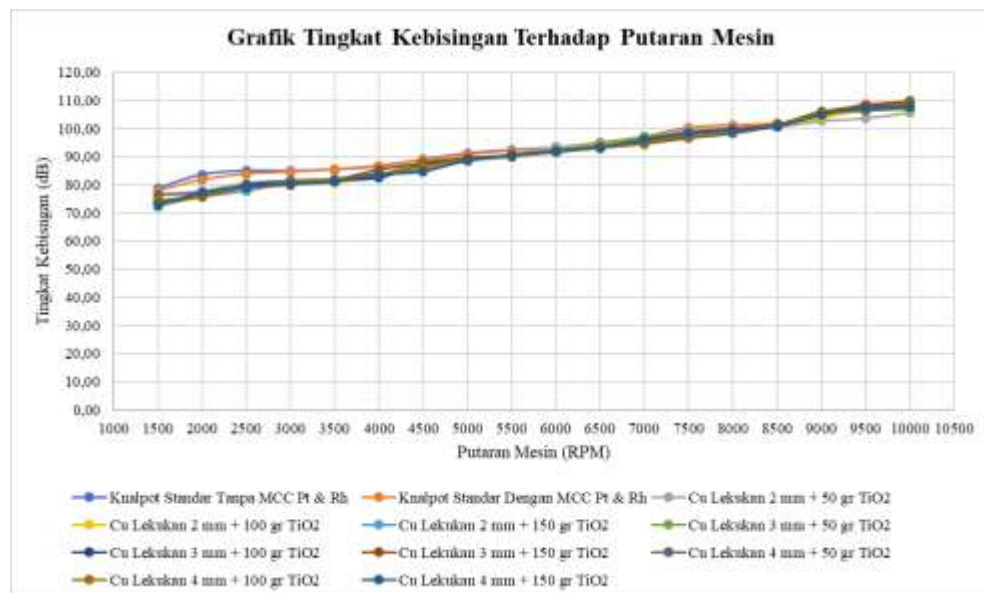
Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida dapat mempengaruhi tingkat kebisingan. Modifikasi knalpot standar dengan penambahan *catalytic converter* titanium dioksida juga dapat mempengaruhi perubahan tingkat kebisingan. Untuk melihat perubahan tingkat kebisingan dapat dilihat pada tabel 5.22 berikut ini.

Tabel 5.22 Persentase Perubahan Tingkat Kebisingan

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (dB)	Persentase Perubahan Tingkat Kebisingan Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (dB)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
1500	-0,98	-3,01	-7,31	-6,63	-8,84	-7,17	-6,73	-3,01	-5,60	-8,00
2000	-2,16	-7,50	-10,38	-10,24	-9,80	-10,00	-10,29	-8,47	-9,58	-8,33
2500	-1,27	-5,37	-6,08	-9,12	-6,61	-6,25	-7,69	-7,78	-7,24	-6,88
3000	-0,31	-4,38	-5,46	-5,12	-5,33	-4,47	-6,21	-4,34	-5,00	-5,86
3500	0,16	-4,36	-5,69	-4,78	-4,91	-4,70	-4,48	-4,14	-4,44	-5,30
4000	0,38	-3,51	-3,63	-3,72	-3,88	-4,89	-1,41	-3,10	-3,11	-3,55
4500	-0,07	-4,09	-2,14	-1,06	-1,75	-2,26	-1,56	-4,66	-2,81	-5,11
5000	-0,44	-2,17	-2,20	-2,09	-2,20	-2,66	-1,82	-3,05	-2,51	-2,78
5500	-0,29	-1,84	-2,82	-2,48	-2,14	-2,63	-2,29	-2,59	-2,50	-1,95
6000	0,00	0,21	-1,12	-1,93	-1,05	-1,52	-1,45	-1,71	-1,56	-1,16
6500	0,95	-0,28	-1,00	-0,97	0,32	-0,93	-1,18	-0,89	-1,00	-0,75
7000	1,24	0,83	-0,98	-1,27	1,20	-1,23	-0,74	-1,37	-1,11	0,35
7500	1,36	0,54	-2,52	-0,58	-0,99	-1,61	-0,44	-2,38	-1,47	-0,71
8000	1,02	0,23	-1,11	-0,67	-1,55	-0,70	-0,30	-1,93	-0,97	-0,77
8500	0,39	-0,70	-0,60	-0,33	-0,16	-0,80	0,07	-0,13	-0,29	-0,70
9000	-0,55	-1,07	0,03	1,64	1,08	1,64	1,95	2,04	1,88	0,89
9500	0,40	-4,37	-1,91	-0,87	-1,95	-1,28	-0,22	-1,69	-1,06	-0,84
10.000	-2,81	-3,85	-3,00	-0,89	-2,68	-0,98	-0,15	-1,89	-1,00	-1,89

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh (dB)	Persentase Perubahan Tingkat Kebisingan Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (dB)								
		Cu Lekukan 2 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 150 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 50 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 100 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 150 gr TiO ₂
Rata-rata	-0,99	-3,32	-3,41	-3,10	-3,59	-3,18	-2,93	-3,13	-3,01	-3,41

Tabel 5.22 di atas jika dibuat grafik dapat dilihat pada gambar 33 berikut ini.



Gambar 32. Grafik tingkat kebisingan terhadap lambda

Pada tabel 5.22 dan gambar 33 di atas dapat dilihat bahwa, modifikasi knalpot standar dengan penambahan *catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 50 gr TiO₂, 100 gr TiO₂, dan 150 gr TiO₂ mampu menurunkan tingkat kebisingan bila dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Penurunan tersebut tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan oleh konstruksi *catalytic converter* juga membantu peredaman aliran gas buang pada *muffler*.

Pada *catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 50 gr TiO₂, perubahan tingkat kebisingan menurun rata-rata -3,32%, -3,59%, dan -3,13%. Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 100 gr TiO₂ menurun rata-rata -3,41%, -3,18%, dan -3,01%. Sementara itu pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 50 gr TiO₂ terjadi penurunan rata-

rata sebesar -3.10%, -2,93%, dan -3,41%. Perubahan penurunan tingkat kebisingan pada knalpot modifikasi *catalytic converter* ini disebabkan karena desain dari *catalytic converter housing* merujuk desain A. Graham Bell (1998:284) dengan memaksimalkan aliran gas buang dengan membuat sudut *tapper inlet* 10° dan *tapper outlet* 15°. Selain itu diameter pipa *outlet housing* dibuat lebih besar sehingga gas buang lebih cepat mengalir keluar. Hal inilah yang membuat kebisingan knalpot standar sedikit lebih rendah. Namun selisih tingkat kebisingannya tidak jauh dengan knalpot eksperimen *catalytic converter* titanium dioksida.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan diskusi penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik simpulan sebagai berikut.

1. Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap reduksi emisi CO, HC, dan CO₂ pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2013.
 - a. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, dan Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi CO masing-masing sebesar 82,61%, 32,17%, dan 28,70% dibandingkan dengan emisi CO knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi CO masing-masing sebesar 85,22%, 35,65%, dan 31,30% dibandingkan dengan emisi CO knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi CO masing-masing sebesar 86,96%, 39,13%, dan 33,91% dibandingkan dengan emisi CO knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.
 - b. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi HC masing-masing sebesar 60,70%, 59,20%, dan 56,22% dibandingkan dengan emisi HC knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi HC masing-masing sebesar 63,08%, 61,69%, dan 57,71% dibandingkan dengan emisi HC knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi HC masing-masing sebesar 75,12%, 72,64%, dan 69,65% dibandingkan dengan emisi HC knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.
 - c. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂

mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi CO₂ masing-masing sebesar 23,69%, 18,70%, dan 13,68% dibandingkan dengan emisi CO₂ knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi HC masing-masing sebesar 18,06%, 17,40%, dan 8,36% dibandingkan dengan emisi CO₂ knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.

- d. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi CO₂ masing-masing sebesar 18,35%, 17,69%, dan 8,63% dibandingkan dengan emisi CO₂ knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.
2. Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap peningkatan torsi pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2013.
 - a. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ mendapatkan perubahan peningkatan torsi masing-masing sebesar 14,58%, 10,94%, dan 10,61% dibandingkan dengan torsi knalpot standar dengan MCC Pt & Rh.
 - b. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ mendapatkan perubahan peningkatan torsi masing-masing sebesar 10,32%, 10,32%, dan 10,49% dibandingkan dengan torsi knalpot standar dengan MCC Pt & Rh.
 - c. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ mendapatkan perubahan peningkatan torsi masing-masing sebesar 10,26%, 10,55%, dan 10,55% dibandingkan dengan torsi knalpot standar dengan MCC Pt & Rh.
 3. Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap peningkatan daya pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2013.
 - a. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr TiO₂ mendapatkan perubahan peningkatan daya masing-masing sebesar 14,46%, 10,90%, dan 9,63% dibandingkan dengan daya knalpot standar dengan MCC Pt & Rh.
 - b. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr TiO₂ mendapatkan perubahan peningkatan daya masing-masing sebesar

- 10,35%, 11,66%, dan 11,87% dibandingkan dengan daya knalpot standar dengan MCC Pt & Rh.
- c. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr TiO₂ mendapatkan perubahan peningkatan daya masing-masing sebesar 10,37%, 10,21%, dan 9,61% dibandingkan dengan daya knalpot standar dengan MCC Pt & Rh.
4. Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap reduksi konsumsi bahan bakar pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2013.
 - a. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr mendapatkan persentase penurunan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar -18,73%, -14,88%, dan -13,48% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.
 - b. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr mendapatkan persentase penurunan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar -14,85%, -14,56%, dan -13,48% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.
 - c. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm mm yang terlapisi 150 gr mendapatkan persentase persentase penurunan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar -14,85%, -14,56%, dan -13,48% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.
 5. Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap reduksi konsumsi tingkat kebisingan pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2013.
 - a. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 50 gr mendapatkan persentase penurunan tingkat kebisingan masing-masing sebesar -3,32%, -3,59%, dan -3,13% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.
 - b. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 100 gr mendapatkan persentase penurunan tingkat kebisingan masing-masing sebesar -3,41%, -3,18%, dan -3,01% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.
 - c. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2 mm, Cu lekukan 3 mm, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 150 gr mendapatkan

persentase penurunan tingkat kebisingan masing-masing sebesar -3,41%, -3,18%, dan -3,01% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.

B. Saran

1. Dari hasil penelitian sudah dibuktikan bahwa *catalytic converter* titanium dioksida dapat menurunkan emisi gas buang yang berbahaya dan meningkatkan performa mesin Yamaha *New Vixion Lighting*. Oleh karena itu, bagi pemilik sepeda motor Yamaha *New Vixion Lighting* disarankan memakai knalpot yang sudah dimodifikasi dengan *metallic catalytic converter* titanium dioksida.
2. Pada tahap selanjutnya disarankan segera melakukan uji laik jalan (*endurance test*) untuk mengetahui lama pemakaian (*life time*) dari *metallic catalytic converter* titanium dioksida.
3. Perlu dilakukan pengujian laik industri di lembaga/instansi terakreditasi seperti Sucofindo untuk persyaratan perolehan Standard Nasional Indonesia (SNI).
4. Perlu segera didaftarkan patennya ke Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual (DJKI), Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] UN. (2015). Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. Retrieved from [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030Agenda for Sustainable Development web.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf)
- [2] UNDP. (2015). Sustainable development goals. New York: The United Nations Development Programme (UNDP).
- [3] UNRIC. (2015). 17 sustainable development goals are set and welcomed. Retrieved from <http://www.unric.org/en/latest-un-buzz/29844-17-sustainable-development-goals-are-set-and-welcomed>.
- [4] Obert, E. F. (1973). Internal combustion engine and air pollution (3rd ed.). New York: Harper & Row, Publisher, Inc.
- [5] Heisler, H. (1995). Advanced engine technology. London: Edward Arnold.
- [6] Kalam, M.A., Masjuki, H. H., Redzuan, M., Mahlia, T. M. I., Fuad, M. A., Mohibah, M., Halim, K. H., Ishak, A., Khair, M., Shahrir, A., & Yusoff, A. (2009). Development and test of a new catalytic converter for natural gas fuelled engine. *Jurnal Sadhana*, 34(3): 467-481. Retrieved from <http://www.ias.ac.in/article/fulltext/sadh/034/03/0467-0481>.
- [7] Abdullah, H. (2012). Pembuatan dan karakterisasi serta aplikasi katalitik konverter untuk filter gas buang kendaraan bermotor berbahan bakar premium. (Online), (<http://repository.usu.ac.id>, diakses pada 20 September 2013).
- [8] Wicaksono, Y. A., & Warju. (2015). Pengaruh catalytic converter titanium dioksida terhadap emisi gas buang sepeda motor Honda Supra X 125. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 03(02): 197-206.
- [9] Swisscontact. (2001). Pengetahuan dasar perawatan kendaraan niaga (bus). Jakarta: Swisscontact Clean Air Project.
- [10] Warju, & Muhaji. (2005). Eksperimen tentang pengaruh penggunaan catalytic converter kuningan (Cu+Zn) berlapis krom (Cr) terhadap emisi gas buang mesin Toyota Kijang tipe 4K. *Jurnal Otopro*, 1(1): 51-62.
- [11] Warju, & Sungkono, D. (2006). Pengaruh penggunaan catalytic converter tembaga berlapis mangan terhadap kadar polutan gas buang motor bensin empat langkah. *Jurnal Teknika*, 7(2): 128-136.
- [12] Warju. (2008). Unjuk kemampuan catalytic converter dengan katalis tembaga dalam mereduksi konsentrasi emisi gas buang Toyota Kijang Innova. *Jurnal Teknika*, 9(1): 42-49.
- [13] Warju, & Muliatna, I. M. (2013). Pengaruh penggunaan metallic catalytic converter tembaga terhadap kadar emisi CO dan HC sepeda motor 4 langkah. *Jurnal Otopro*, 8(2): 108-118.
- [14] Amin, C. M., Chavda, K., & Gadhia, U. (2017). Exhaust analysis of four stroke single cylinder diesel engine using copper based catalytic converter. *International Journal for Scientific Research & Development*

- (IJSRD), 3(1), 493-497. Retrieved from <http://www.ijsrd.com/articles/IJSRDV1I3022.pdf>
- [15] Warju, & Muliatna, I. M. (2015). The performance of copper metallic catalytic converter as catalyst to reduce exhaust emission from Yamaha Vega motorcycle. *Proceedings of Joint International Seminar (JIS) Green Religion, Science & Technology: Prospect and Challenge for Sustainable Life*, 01(01): 17-27.
- [16] Karthikeyan, D., Saravanan, C. G., & Gunasekaran, E. J. (2016). Performance analysis of catalytic converters in spark ignition engine emission reduction. *International Journal of Advances in Engineering & Technology (IJAET)*, 9(1), 135-143. Retrieved from www.e-ijaet.org/media/15I31-IJAET0931952-v9-iss1-pp135-143.pdf
- [17] Nisa, K., Ratnaningrum, Megawati, & Widyastuti, C. R. (2016). Design innovation of motorcycle muffler by applying catalytic converter based on non-noble material to reduce exhaust emission. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, 4(4), 67-70. Retrieved from http://www.ijar.in/journal/journal_file/journal_pdf/6-329-148575624867-70.pdf
- [18] Warju, Sakti, A. M., Muliatna, I. M., & Wijanarko, D. V. (2017). Produk knalpot sepeda motor ramah lingkungan berteknologi metallic catalytic converter. Laporan Akhir Program Calon Perusahaan Pemula Berbasis Teknologi dari Perguruan Tinggi (CPPBT-PT). Jakarta: Direktorat Jenderal Penguatan Inovasi, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.
- [19] Mahadeven, G., & Sendilvelan, S. (2017). Temperature analysis of dynamic catalytic convertor system with pre-catalyst in a multi cylinder spark ignition engine to reduce light-off time. *International Journal of Heat and Technology*, 35(1), 97-102. <http://doi.org/10.18280/ijht.350113>
- [20] Warju, Harto, S. P., & Soenarto. (2017). The performance of chrome-coated copper as metallic catalytic converter to reduce exhaust gas emissions from spark-ignition engine. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 288 012151, doi:10.1088/1757-899X/288/1/012151.
- [21] Kumar, R., Singh, S., & Kaur, M. (2017). Emission testing of catalytic converter using zirconium oxide (ZrO) and cobalt oxide (CoO) as catalyst. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 7(3), 333-342. Retrieved from www.tjprc.org/publishpapers/2-67-1497518989-ABS-33.IJMPERDJUN201733.pdf
- [22] Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.
- [23] Paten IDP000053363 tanggal 12 September 2018. Knalpot Sepeda Motor Ramah Lingkungan. Jakarta: Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual (DJKI), Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia, (Online), <https://pdki-indonesia.dgip.go.id/index.php/paten?q=P00201405914+&type=1>, diakses 24 Maret 2019.

- [24] Merek “MCC = *Metallic Catalytic Converter*” No. Permohonan: D002017064428 Tanggal 6 Desember 2017. Jakarta: Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual (DJKI), Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia, (*Online*), <https://pdki-indonesia.dgip.go.id/index.php/paten?q=P00201405914+&type=1>, diakses 24 Maret 2019.
- [25] Bell, A. G. (2006). Four-stroke performance tuning (3rd ed.). California: Haynes Publishing.
- [26] SNI 09-7118.3-2005. Emisi gas buang-Sumber bergerak-Bagian 3: Cara uji kendaraan bermotor kategori L pada kondisi idle. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [27] SAE J1349. (2004). Engine power test code-spark ignition and compression ignition-net power rating. Warrendale: SAE International.
- [28] SNI 7554:2010. Pengukuran konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor kategori M1 dan N1. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [29] SAE J1287. (1998). Measurement of exhaust sounds level of stationary motorcycle. Warrendale: SAE International.

Lampiran 1. Lembar Pembahasan Seminar Hasil Penelitian

LEMBAR PEMBAHASAN

Laporan akhir penelitian dana PNBPN yang berjudul

Penelitian tentang Efektivitas media kultur PNBPN lingkungan berkeadilan;
metabolis catalytic converter Titania Dioxide (TiO₂) di
menyubling PNBPN Langit Biru dan SAGS

Dengan peneliti berikut

1. Dr. Wargo, SEd, ST, MT
2. Nuri Sukma Pratiwi, ST, M.Eng.
3. _____
4. _____
5. _____

telah dipaparkan pada tanggal 17 November 2019 di Universitas Negeri Surabaya

Catatan:

- 1) Pengantar → masih belum proposal → hasil data I (2015) →
belum sampai -
- 2) A. Kets PNBPN → nama reviewer & laporan Kembang dan laporan Akhli
terbukti -
- 3) Drafting Laporan → telah disetujui
- 4) Pembaca Monev - Tjara, Analisis - Kimpulan → disetujui
- 5) Drafting PNBPN → kimpulan -

Surabaya, 17 November 2019
 Reviewer,

Prof. Dr. Tjara, M. Sc
 NIP 196812281987031002

Lampiran 1. Lembar Pembahasan Seminar Hasil Penelitian

LEMBAR PEMBAHASAN

Laporan akhir penelitian dana PNBK yang berjudul

Pencapaian Bangun Kandang Sapi di Sektor Rantau Lingkungan
Berkendang: Mekanik Catalytic Converter Titanium Dioxide (TiO₂)
U/ mendukung Program Lantai Baru (Blue Sky Program) dan SDGs

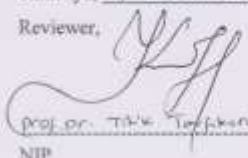
Dengan peneliti berikut

1. Dr. Wargu, SEd, ST, MT
2. Nani Wihono Pratiwadi, ST, M.Eng.
3. _____
4. _____
5. _____

telah dipaparkan pada tanggal 19 November 2019 di Universitas Negeri Surabaya

Catatan:

1. Key Selanjutnya harus di uji pada lab
yang lain yang keluar Skripsi ST
- _____
- _____
- _____
- _____

Surabaya, 19 November 2019
 Reviewer, 
Prof. Dr. Titik Taufikurrahman, Ph.D.
 NIP _____

Lampiran 2. Lembar Pengesahan dari Reviewer

PENGESAHAN DARI PEMBAHAS

Laporan Penelitian yang berjudul
Pengembangan Kapasitor Super Motor Rumah Lingkungan Berteknologi
Metallie catalytic converter Titanium dioksida (TiO_2) sebagai katalis
inertial untuk mendukung Program Langit Biru (Blue Sky Program)
dan SDGs.

Dengan peneliti berikut

1. Dr. Wango, SEd, ST, MT
2. Nani Lukman Prastowo, ST, M.Eng.
3. _____
4. _____
5. _____

~~Belum~~/sudah* direvisi berdasarkan masukan pembahas

Surabaya,.....November.....2019

Reviewer,


Prof. Dr. Tukiran, M. Si

• coret yang tidak sesuai

Lampiran 3. Produk Penelitian Pengembangan Prototipe Industri



Gambar 1. Knalpot Sepeda Motor Sport Ramah Lingkungan



Gambar 2. Knalpot Sepeda Motor Sport Ramah Lingkungan



Gambar 3. Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (TiO_2) 50 gr



Gambar 4. Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (TiO_2) 100 gr



Gambar 5. Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (TiO_2) 150 gr



UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
Nomor 652/UN38/HK/PP/2019
TENTANG
PENETAPAN PENERIMA PENELITIAN KOMPETITIF
DANA PENERIMAAN NEGARA BUKAN PAJAK (PNBP)
UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA TAHUN 2019

REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA,

- Menimbang :**
- a. bahwa berdasarkan hasil seleksi desk evaluasi dan pemaparan proposal penelitian yang dilakukan oleh panitia seleksi, telah ditetapkan penerima penelitian kompetitif dana PNBP Universitas Negeri Surabaya Tahun 2019;
 - b. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana tersebut pada huruf a di atas, maka perlu diterbitkan keputusan ini;
- Mengingat :**
1. Undang-Undang RI Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2003 Nomor 78, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4301);
 2. Undang-Undang RI Nomor 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2005 Nomor 157, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4301);
 3. Undang-Undang RI Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2012 Nomor 158, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5336);
 4. Undang-Undang RI Nomor 5 Tahun 2014 tentang Aparatur Sipil Negara (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 6, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 549);
 5. Peraturan Pemerintah RI Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 16, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5500);
 6. Keputusan Presiden RI Nomor 93 Tahun 1999 tentang Perubahan IKIP menjadi Universitas;
 7. Peraturan Menteri Keuangan RI Nomor 92/PMK.05/2011 tentang Rencana Bisnis dan Anggaran Serta Pelaksanaan Anggaran Badan Layanan Umum (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2011 Nomor 363);
 8. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 15 Tahun 2016 tentang Organisasi dan Tata Kerja Universitas Negeri Surabaya (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 889);

9. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 79 Tahun 2017 tentang Statuta Universitas Negeri Surabaya (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2017 Nomor 1858);
10. Keputusan Menteri Keuangan RI Nomor 50/KMK.05/2009 tentang Penetapan Universitas Negeri Surabaya Pada Departemen Pendidikan Nasional sebagai Instansi Pemerintah yang Menerapkan Pengelolaan Keuangan Badan Layanan Umum;
11. Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 461/M/KPT.KP/2018 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Rektor Universitas Negeri Surabaya Periode Tahun 2018-2022;

MEMUTUSKAN :

Menetapkan : KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA TENTANG PENETAPAN PENERIMA PENELITIAN KOMPETITIF DANA PENERIMAAN NEGARA BUKAN PAJAK (PNBP) UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA TAHUN 2019.

KESATU : Menetapkan Saudara yang namanya tersebut dalam lampiran keputusan ini sebagai Penerima Penelitian Kompetitif Dana PNBP Universitas Negeri Surabaya Tahun 2019.

KEDUA : Dalam melaksanakan tugasnya sebagai Penerima Penelitian Kompetitif Dana PNBP Universitas Negeri Surabaya Tahun 2019, wajib berpedoman pada ketentuan yang berlaku, dan secara tertulis memberikan laporan kepada Rektor Universitas Negeri Surabaya.

KETIGA : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan sampai dengan tanggal 10 Desember 2019, dengan ketentuan bahwa segala sesuatunya akan ditinjau dan diubah sebagaimana mestinya apabila ternyata di kemudian hari terdapat kekeliruan dalam penetapan ini.

Ditetapkan di : Surabaya
Pada tanggal : 27 Mei 2019
Rektor,

ttd

NURHASAN
NIP 196304291990021001

Salinan disampaikan kepada Yth :

1. Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi RI
2. Sekretaris Jenderal Kemenristekdikti RI
3. Inspektur Jenderal Kemenristekdikti RI
4. Dirjen Sumber Daya Iptek dan Dikti Kemenristekdikti RI
5. Para Wakil Rektor Unesa
6. Para Dekan, Dir. Pascasarjana, Ketua Lembaga Unesa
7. Kepala Biro Selingkung Unesa

Salinan sesuai dengan Keputusan yang asli.
Kepala Biro Umum dan Keuangan,



BUDIARSO
NIP 196005131980101002

DAFTAR PENERIMA PENELITIAN KOMPETITIF (JAWA) PNU UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA TAHUN 2019

[illegible]

No	Fakultas	Jurusan	Judul Penelitian	Bidang Fokus	Tim Peneliti	NRN	Gal	Fond	L/P	Dana Yang Dibutuhkan (Rp.)	Status Penelitian
133	FT	Teknik Elektro	Optimasi PLC Omron C 28 H Berbasis PLC Omron CP1E untuk Meningkatkan Kualitas Praktikum PLC di Laboratorium Teknik Kendali	Teknik Elektro	Wichand Marul, S.T. Gint Sudarto, S.T. Hilmi Dika Kusuma, S.T.	199691231990301001 197194232002121001 -	RI RI -	SI SI -	L L -	16.000.000	Tenaga Kependidikan
134	FT	Teknik Elektro	Pengembangan Lembar Dispersi Mahasiswa pada Mata Kuliah Riset Listrik AC untuk Meningkatkan Hasil Belajar	Pendidikan Teknik Elektro	Iman Basun, S.T. Supena, S.T. Subhan, S.T.	196311241990301001 196791151990301003 196205111990301001	RI RI RI	SI SI SI	L L L	18.000.000	Tenaga Kependidikan
135	PMIPA	Fisika	Pemanfaatan Buangan Air Conditioner Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Bersih Pada Praktikum di Laboratorium Fisika Fisika	Fisika	Nachrawati, S.Si Mulyono, S.T.	198111271214040001 198512281990301001	RI RI	SI SI	P L	13.000.000	Tenaga Kependidikan
136	FT	Teknik Mesin	Modifikasi Alat Bantu Gerinda Silindris untuk Meningkatkan Fungsi Mesin Pendidikan Babul Bengkel Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya	Teknik Mesin	Hendra Saputra Pratomo, A.Md. Rommy Tuhumena, SST, MT	19950701214040001 197209141990301002	RI RI	SI SI	L L	13.000.000	Tenaga Kependidikan
137	FT	Teknik Mesin	Peningkatan Kualitas Penjurusan Fisika Melalui Budaya 3S (Senyum, Sapa, Salam) di Fakultas Teknik (FT) Universitas Negeri Surabaya	Sosial Humaniora Sesi Budaya-Pendidikan	Akron Hartono, S.T. Rida Yawid, SH	197407221990301002 -	RI -	SI -	L -	10.000.000	Tenaga Kependidikan
Grand Total										5.372.500.000	



Ditandatangani di Surabaya
Pada tanggal 27 Mei 2019
Rektor,

td

NURHASAN
NP 196304291990301001