

Bidang Fokus Penelitian*: Transportasi

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN PENGEMBANGAN PROTOTIPE INDUSTRI**



**JUDUL PENELITIAN:
UJI KETAHANAN (*ENDURANCE TEST*) PENGEMBANGAN KNALPOT SEPEDA
MOTOR *SPORT* RAMAH LINGKUNGAN BERTEKNOLOGI *METALLIC*
CATALYTIC CONVERTER TITANIUM DIOKSIDA UNTUK MENDUKUNG
PRODUK PROTOTIPE INDUSTRI UNGGULAN UNESA**

TIM PENGUSUL:

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

NIDN 0028038101

Arya Mahendra Sakti, S.T., M.T.

NIDN 0009027903

Firman Yasa Utama, S.Pd., M.T.

NIDN 0726028202

**UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
NOVEMBER 2021**

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN PENGEMBANGAN PROTOTIPE INDUSTRI

Judul Penelitian : Uji Ketahanan (*Endurance Test*) Pengembangan
Knalpot Sepeda Motor Ramah Lingkungan
Berteknologi *Metallic Catalytic Converter*
Titanium Dioksida Untuk Mendukung Produk
Prototipe Industri Unggulan Unesa

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 : Arya Mahendra Sakti, S.T., M.T.
b. NIDN : 0009027903
c. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya

Anggota Peneliti (2)
a. Nama Lengkap : Firman Yasa Utama, S.Pd., M.T.
b. NIDN : 0726028202
c. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya

Institusi Mitra
a. Nama Institusi Mitra : CV. Bengkel Randim Jaya (Spesialis Knalpot)
b. Alamat : Jl. Tidar No. 178 Surabaya
c. Penanggung Jawab : Candra Adi Ptatama

Lama Penelitian Keseluruhan : 1 tahun
Usulan Penelitian Tahun ke- : 1
Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp. 50.000.000,-
Biaya Penelitian :
- diusulkan ke LPPM UNESA : Rp. 50.000.000,-
- dana institusi mitra : Rp. - / in kind tuliskan: - (jika ada)

Surabaya, 30 November 2021

Ketua Peneliti,



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

Mengetahui
Ketua LPPM



Prof. Dr. Darni, M.Hum
NIP. 196509261990022001

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 *sport* ramah lingkungan berteknologi *metallic catalytic converter* titanium dioksida (TiO_2) sebagai produk inovasi unggulan Unesa. 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 2014. 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.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: **Pertama**, penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap reduksi emisi CO dan HC, torsi dan daya, konsumsi bahan bakar, dan tingkat kebisingan pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2015. Reduksi rata-rata terbesar didapatkan oleh desain Cu 2 mm + 200gr TiO_2 , yakni 64% untuk CO dan 71% untuk HC. **Kedua**, penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap peningkatan torsi dan daya pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2015. Peningkatan rata-rata terbesar didapatkan oleh desain Cu 3 mm + 300gr TiO_2 , yakni 14% untuk torsi dan 12% untuk daya. **Ketiga**, penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap reduksi konsumsi bahan bakar pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2015. Reduksi rata-rata terbesar didapatkan oleh desain Cu 3 mm + 200gr TiO_2 , yakni sebesar 82%. **Keempat**, penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap reduksi konsumsi tingkat kebisingan pada sepeda motor Yamaha New Vixion Lightning 2015. Reduksi rata-rata terbesar didapatkan oleh desain Cu 4 mm + 200gr TiO_2 , yakni sebesar 40%.

Kata kunci: Knalpot, *metallic catalytic converter*, tembaga, TiO_2 , emisi gas buang.

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 2021 ini dengan baik dan lancar.

Laporan akhir Penelitian Pengembangan Prototipe Industri ini disusun sebagai bentuk pertanggungjawaban atas pelaksanaan penelitian dana PNBPN Unesa tahun 2021 yang berjudul “Uji Ketahanan (*Endurance Test*) Pengembangan Knalpot Sepeda Motor Ramah Lingkungan Berteknologi *Metallic Catalytic Converter* Titanium Dioksida Untuk Mendukung Produk Prototipe Industri Unggulan Unesa”.

Keberhasilan penyusunan laporan akhir Penelitian Pengembangan Prototipe Industri Tahun 2021 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. Ibu Dr. Maspiyah, M.Kes. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendukung program penelitian.
5. Bapak Drs. Edy Sulistyono, M.Pd. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendukung program penelitian.

6. Bapak Dr. Agus Wiyono, M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendukung pendanaan program penelitian.
7. Bapak Dr. Soeryanto, M.Pd. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendukung program penelitian.
8. Bapak Wahyu Dwi Kurniawan, S.Pd., M.Pd. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendukung program penelitian.
9. Bapak Priyo Heru Adiwibowo, S.T., M.T. selaku Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya yang selalu mendukung program penelitian.
10. 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.
11. Mas Adam Cahya selaku mahasiswa Prodi S1 Pendidikan Teknik Mesin-Otomotif di Jurusan Teknik Mesin FT Unesa yang selalu membantu dalam kegiatan penelitian.
12. Mas Muhammad Yandi Pratama selaku mahasiswa Prodi S1 Pendidikan Teknik Mesin-Otomotif di Jurusan Teknik Mesin FT Unesa yang selalu membantu dalam kegiatan penelitian.
13. Mas Ibnu Affan Assidiqi selaku mahasiswa Prodi S1 Pendidikan Teknik Mesin-Otomotif di Jurusan Teknik Mesin FT Unesa yang selalu membantu dalam kegiatan penelitian.
14. 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 2021

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
Penulis	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
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	9
A. Tujuan Penelitian	9
B. Manfaat Penelitian	9
BAB IV METODE PENELITIAN	10
A. Rancangan Knalpot Sepeda Motor Ramah Lingkungan Berteknologi <i>Metallic catalytic converter</i> Titanium Dioksida (TiO ₂)	10
1. Desain Knalpot Eksperimen.....	10
2. Perancangan Aktif Metal Katalis (<i>Metallic catalytic converter</i>) Titanium Dioksida	11
3. Perancangan Penempatan Katalis pada Knalpot Eksperimen.....	12
B. Peralatan dan Instrumen Penelitian	14
C. Metode Pengujian	15
D. Tugas Personil	15
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	16
A. Data Hasil Penelitian	16
1. Emisi CO (Karbon Monoksida)	16
2. Emisi HC (Hidrokarbon).....	16
3. Emisi CO ₂ (Karbon Dioksida)	17
4. Kadar O ₂ (Oksigen).....	18
5. Lambda	19
6. Temperatur Gas Buang	19
7. Torsi	20
8. Daya	21
9. Konsumsi Bahan Bakar.....	21
10. Tingkat Kebisingan	22
11. Tekanan Balik (<i>Back Pressure</i>).....	23
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	44
6. Perubahan Tekanan Balik	46
7. Perubahan Konsumsi Bahan Bakar.....	49
8. Perubahan Tingkat Kebisingan	51
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	54
A. Simpulan.....	54
B. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Roadmap penelitian pengembangan prototipe industri tahun 2019-2021.....	7
Gambar 2. Modifikasi CAT casing untuk memaksimalkan aliran	10
Gambar 3. Gambar desain knalpot eksperimen Yamaha Vixion Lighting	10
Gambar 4. <i>Metallic catalytic converter</i> berbahan dasar plat tembaga.....	11
Gambar 5. Langkah-langkah pelapisan titanium dioksida (TiO ₂) pada plat tembaga	11
Gambar 6. <i>Metallic catalytic converter</i> di dalam knalpot eksperimen	12
Gambar 7. Desain <i>metallic catalytic converter casing</i>	12
Gambar 8. Dimensi <i>metallic catalytic converter casing</i> (dalam mm)	13
Gambar 9. Bagian-bagian knalpot eksperimen Yamaha Vixion.....	13
Gambar 10. Dimensi knalpot eksperimen Yamaha Vixion	14
Gambar 11. Skema instrumen penelitian	14
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 + 200 gr TiO ₂	26
Gambar 14. <i>Catalytic converter</i> titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	27
Gambar 15. <i>Catalytic converter</i> titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 300 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 + 200 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 + 250 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 + 300 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 29. Grafik daya terhadap putaran mesin.....	45
Gambar 30. Grafik tekanan balik terhadap putaran mesin.....	47
Gambar 31. Grafik konsumsi bahan bakar terhadap putaran mesin	50

Gambar 32. Grafik tingkat kebisingan terhadap RPM..... 52

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian Tentang Teknologi <i>Catalytic Converter</i>	3
Tabel 5.1 Data Emisi CO	16
Tabel 5.2 Data Emisi HC	16
Tabel 5.3 Data Emisi CO ₂	17
Tabel 5.4 Data Emisi O ₂	18
Tabel 5.5 Data Lambda	19
Tabel 5.6 Data Temperatur Gas Buang.....	19
Tabel 5.7 Data Torsi.....	20
Tabel 5.8 Data Daya.....	21
Tabel 5.9 Data Konsumsi Bahan Bakar	21
Tabel 5.10 Data Tingkat Kebisingan	22
Tabel 5.11 Data Tekanan Balik.....	23
Tabel 5.12 Persentase Perubahan Emisi CO	24
Tabel 5.13 Pebandingan Hasil Emisi CO Terhadap Peraturan Pemerintah	25
Tabel 5.14 Pebandingan Hasil Emisi HC.....	31
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	44
Tabel 5.20 Persentase Perubahan Tekanan Balik	46
Tabel 5.21 Persentase Perubahan Konsumsi Bahan Bakar	49
Tabel 5.22 Persentase Perubahan Tingkat Kebisingan	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Bukti Pendaftaran Paten	58
Lampiran 2. Artikel Ilmiah	63

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].

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)	<ul style="list-style-type: none"> • 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)	<ul style="list-style-type: none"> • 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)	<ul style="list-style-type: none"> • 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)	<ul style="list-style-type: none"> • 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
				<ul style="list-style-type: none"> • 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)	<ul style="list-style-type: none"> • 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 NOx masing-masing sebesar 85%, 80%, dan 60% dengan sudut 35 dan 40 derajat.
9	Nisa, Ratnaningrum, Megawati, and Widyastuti (2016) [17]	<i>Design innovation of motorcycle muffler by applying catalytic converter based on non-noble material to reduce exhaust emission</i>	Tembaga (Cu) dan kuningan (CuZn)	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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)	<p>rata-rata sebesar 22,05%-31,69% dan 24,85%-35,26%.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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)	<ul style="list-style-type: none"> • 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)	<ul style="list-style-type: none"> • Reduksi emisi CO sebesar 48%. • Reduksi emisi HC sebesar 66%. • Reduksi emisi CO₂ sebesar 52%. • Reduksi emisi NO_x sebesar 73%.

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Bahan Catalytic Converter	Hasil Penelitian
14	Warju, Drastiawati, Ariyanto, & Nurtanto (2020) [22]	<i>The effect of Titanium Dioxide (TiO₂) based metallic catalytic converter on the four-stroke motorcycle engine performance</i>	Plat tembaga berlapis Titanium Dioksida (TiO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> • Reduksi emisi CO rata-rata sebesar 86,96%. • Reduksi emisi HC rata-rata sebesar 75,12%. • Peningkatan torsi rata-rata sebesar 14,58%. • Peningkatan daya (<i>power</i>) rata-rata sebesar 14,46%. • Reduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 18,73%. • Reduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar 3,59%.

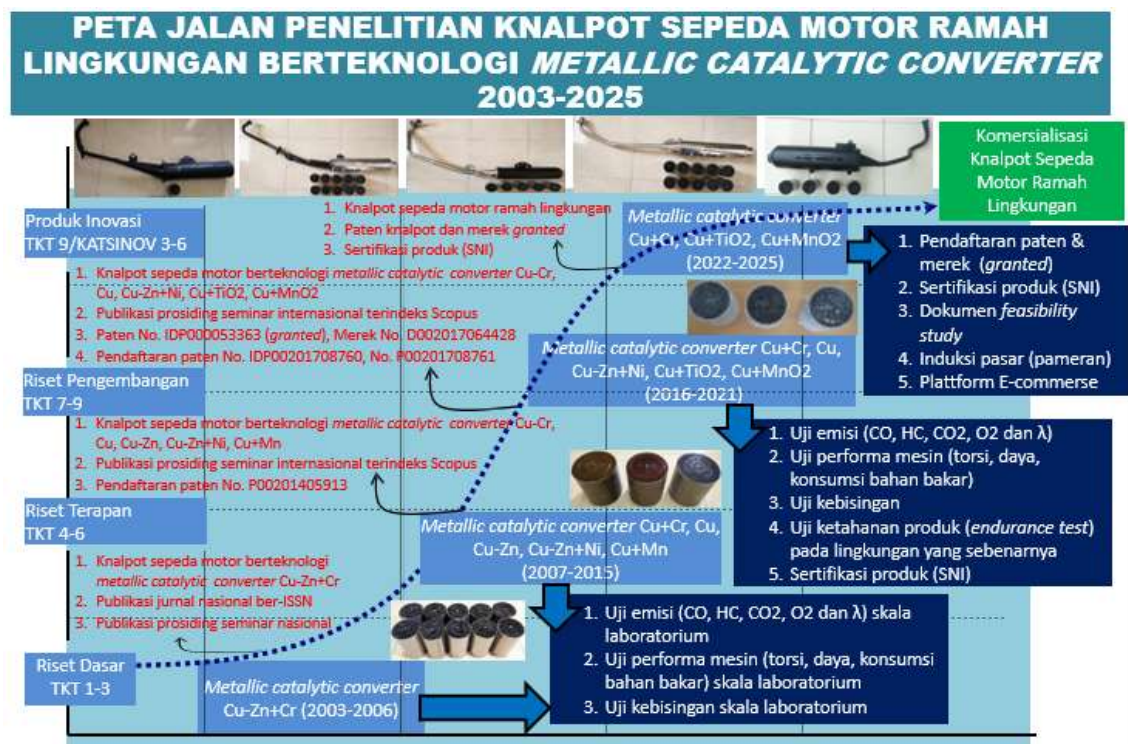
B. Roadmap Penelitian

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 [23]. 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 [24]. Merek knalpot yaitu MCC = *Metallic Catalytic Converter* juga telah *granted* mereknya dengan No. Merek: IDM000756432 tanggal 21 Mei 2020 sehingga siap untuk dikomersialkan [25].

Sedangkan pada penelitian terapan tahun 2015, tim peneliti telah berhasil mengembangkan produk knalpot sepeda motor ramah lingkungan untuk Honda Supra X 125 berteknologi *catalytic converter* berbahan dasar *stainless-steel wire mesh* berlapis TiO₂. 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.

Pada penelitian pengembangan prototipe industri tahun 2019, tim peneliti telah berhasil mengembangkan produk knalpot sepeda motor ramah lingkungan untuk Yamaha Vixion berteknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis TiO₂ (50 gr, 200 gr, dan 250 gr). Knalpot ini mampu mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 86,96% dan 75,12%, meningkatkan performa mesin (torsion dan daya) rata-rata sebesar 14,58% dan 14,46%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 18,73%. Namun, knalpot ini hanya mampu mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar 3,59% [22].



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

Melihat fenomena tersebut, melalui skema penelitian pengembangan prototipe industri tahun 2021 ini akan dikembangkan teknologi baru yaitu *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis titanium

dioksida (TiO_2) dengan variasi TiO_2 yang lebih besar, yaitu 300 gr, 250 gr, dan 300 gr. 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 *sport* 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 selama 22 tahun (2003-2025) dapat dilihat pada Gambar 1.

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 *sport* ramah lingkungan berteknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis TiO₂ sebagai produk prototipe industri unggulan Unesa.
2. Diperolehnya KI dalam bentuk paten knalpot sepeda motor ramah lingkungan (*terdaftar*).
3. Dihasilkannya publikasi internasional terindeks dalam *International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS)* tahun 2021.

B. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat diantaranya sebagai berikut.

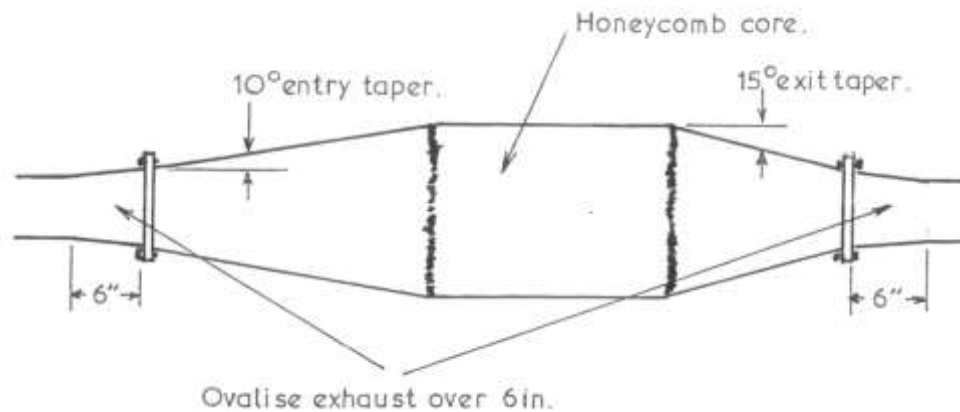
1. Sebagai salah satu solusi dalam mereduksi konsentrasi emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor, khususnya emisi kendaraan sepeda motor empat langkah.
2. Sebagai alternatif bahan katalis yang lebih murah selain yang sudah ada di pasaran.
3. Dihasilkan desain baru *catalytic converter*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

BAB IV METODE PENELITIAN

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

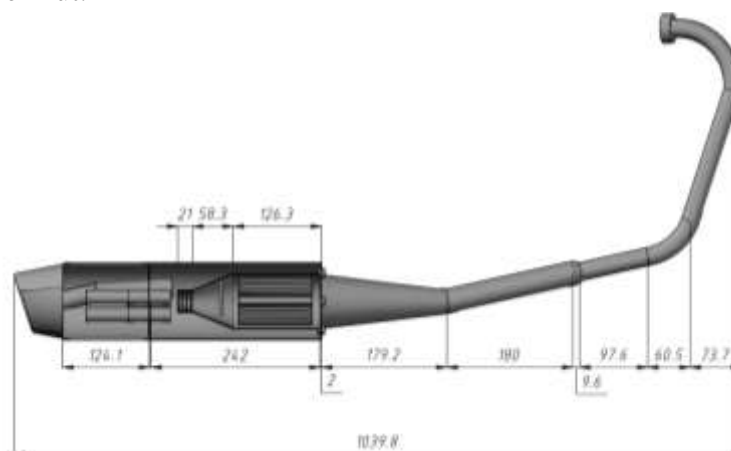
1. Desain Knalpot Eksperimen

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.

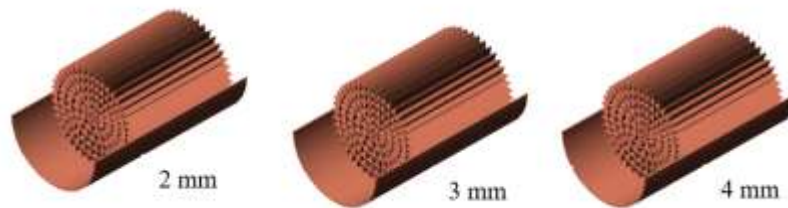


Gambar 3. Gambar desain knalpot eksperimen Yamaha Vixion Lighting

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

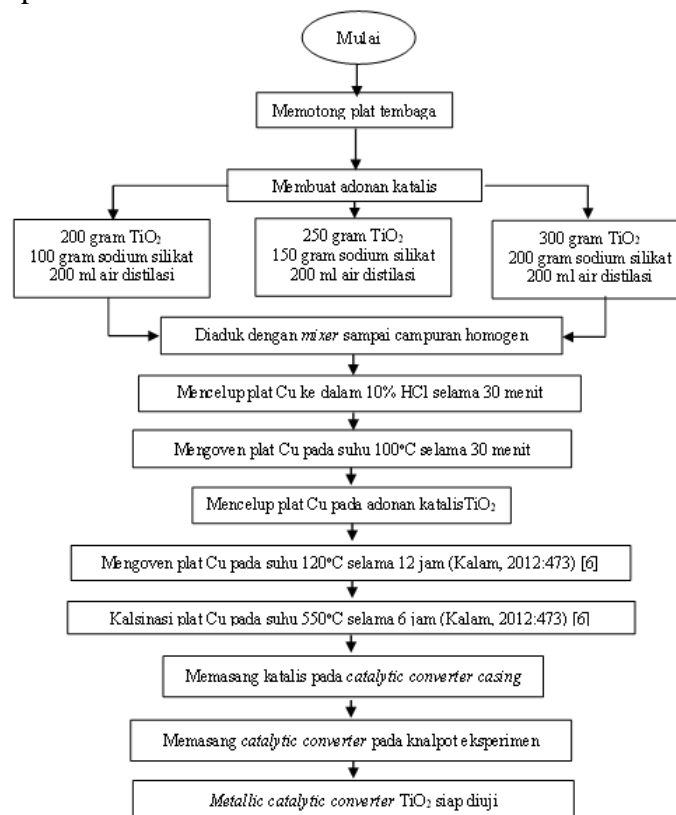
Cara pembuatan aktif metal katalis yaitu plat tembaga (Cu) berlapis titanium dioksida (TiO_2) disusun di dalam *casing* berbentuk silinder. Untuk mendapatkan luas permukaan yang maksimal, maka plat tembaga disusun berlipat dengan tinggi lekukan mulai dari 2 mm, 3 mm, dan 4 mm.

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.



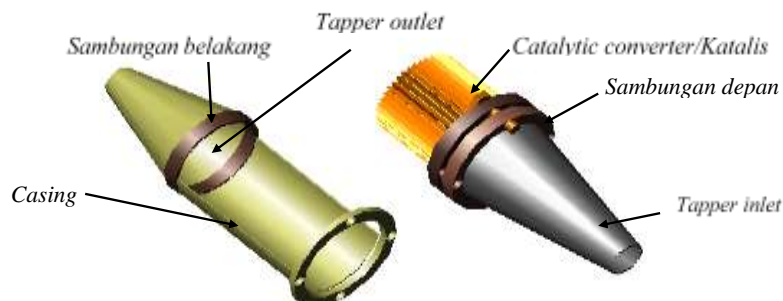
Gambar 6. *Metallic catalytic converter* di dalam knalpot eksperimen

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.

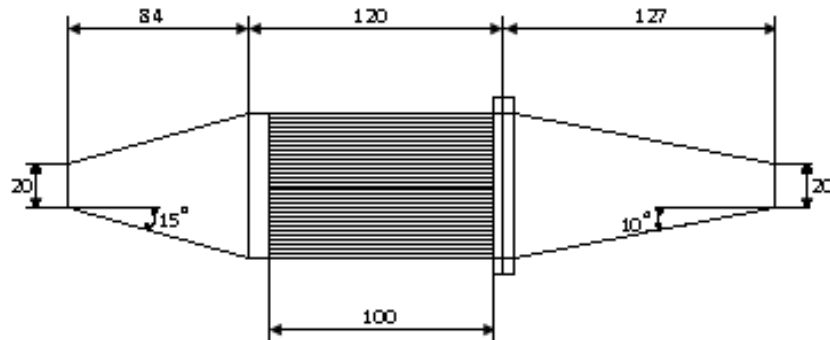
Pada *metallic catalytic converter casing* berisi plat tembaga berlapis titanium dioksida (TiO_2) dengan panjang katalis 100 mm dan diameter 65 mm dengan tinggi lekukan 2 mm, 3 mm, dan 4 mm.

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.



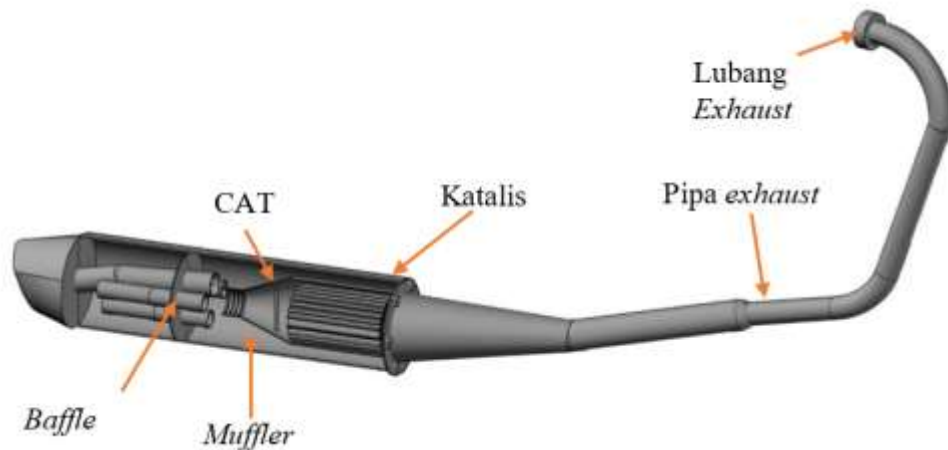
Gambar 7. Desain *metallic catalytic converter casing*

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

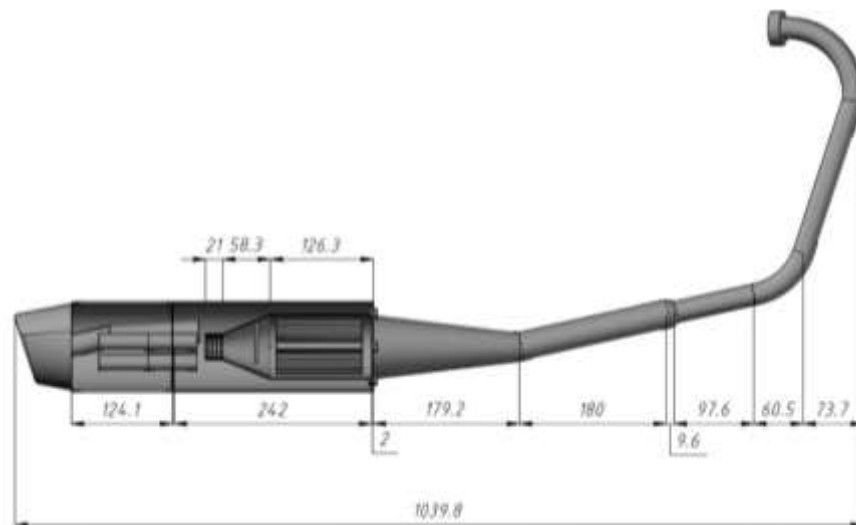


Gambar 8. Dimensi *metallic catalytic converter casing* (dalam mm)

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* TiO₂, (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* TiO₂, (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 + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO2
1500	4.61	1.72	2.14	2.13	2.12	2.25	2.23	2.14	2.78	2.71	2.6
2000	4.20	1.61	1.86	2.29	2.03	2.12	2.18	2.05	2.76	2.67	2.56
2500	4.00	1.56	1.72	2.37	1.99	2.05	2.16	2.01	2.75	2.65	2.54
3000	3.79	1.51	1.58	2.45	1.94	1.98	2.14	1.96	2.74	2.63	2.52
3500	3.59	1.45	1.44	2.53	1.90	1.91	2.11	1.92	2.72	2.61	2.50
4000	3.38	1.40	1.30	2.61	1.85	1.85	2.09	1.87	2.71	2.59	2.48
4500	3.18	1.34	1.16	2.69	1.81	1.78	2.06	1.83	2.70	2.57	2.46
5000	2.97	1.29	1.02	2.77	1.76	1.71	2.04	1.78	2.69	2.55	2.44
5500	2.77	1.19	0.94	2.48	1.60	1.67	1.93	1.64	2.43	2.30	2.21
6000	2.58	1.10	0.87	2.20	1.44	1.62	1.81	1.51	2.16	2.04	1.99
6500	2.38	1.00	0.79	1.91	1.28	1.58	1.70	1.37	1.90	1.79	1.76
7000	2.18	0.90	0.71	1.63	1.13	1.54	1.58	1.23	1.64	1.53	1.53
7500	1.98	0.80	0.63	1.34	0.97	1.49	1.47	1.09	1.37	1.28	1.30
8000	1.79	0.71	0.56	1.05	0.81	1.45	1.35	0.96	1.11	1.02	1.08
8500	1.59	0.61	0.48	0.77	0.65	1.40	1.24	0.82	0.84	0.77	0.85
9000	1.39	0.51	0.4	0.48	0.49	1.36	1.12	0.68	0.58	0.51	0.62

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 + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO2
1500	1821	401	245	821	653	518	444	682	323	418	815
2000	1460	366	206	657	527	426	363	561	272	366	669

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 + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO2
2500	1280	349	187	575	464	379	323	501	247	340	595
3000	1100	331	168	493	401	333	283	441	222	314	522
3500	919	314	148	411	338	287	242	380	196	288	449
4000	739	296	129	329	275	241	202	320	171	262	376
4500	558	279	109	247	212	194	161	259	145	236	302
5000	378	261	90	165	149	148	121	199	120	210	229
5500	381	278	106	176	163	164	145	208	132	219	231
6000	385	295	122	186	177	179	169	216	144	229	234
6500	388	312	137	197	191	195	193	225	156	238	236
7000	391	329	153	207	205	211	217	234	168	248	238
7500	394	346	169	218	219	226	241	242	180	257	240
8000	398	363	185	228	233	242	265	251	192	266	243
8500	401	380	250	239	247	257	289	259	204	276	245
9000	404	397	216	249	261	273	313	268	216	285	247

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 + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO2
1500	4.5	1.5	3.2	3.0	2.9	1.6	2.5	2.7	3.8	3.4	3.5
2000	5.7	2.9	4.8	4.5	4.6	3.4	4.1	4.1	5.2	4.9	5.4
2500	6.3	3.6	5.6	5.2	5.4	4.3	4.9	4.7	5.9	5.7	6.4
3000	6.9	4.3	6.4	5.9	6.3	5.2	5.7	5.4	6.6	6.4	7.4
3500	7.4	4.9	7.1	6.6	7.1	6.0	6.4	6.1	7.2	7.2	8.3
4000	8.0	5.6	7.9	7.4	7.9	6.9	7.2	6.8	7.9	7.9	9.3
4500	8.6	6.3	8.7	8.1	8.8	7.8	8.0	7.4	8.6	8.7	10.2
5000	9.2	7	9.5	8.8	9.6	8.7	8.8	8.1	9.3	9.4	11.2
5500	9.6	7.2	9.4	9.3	9.8	8.9	9.1	8.5	9.4	9.6	11.3
6000	10.0	7.4	9.4	9.9	10.0	9.1	9.5	8.9	9.5	9.9	11.5
6500	10.4	7.6	9.3	10.4	10.1	9.3	9.8	9.2	9.6	10.1	11.6
7000	10.8	7.9	9.2	10.9	10.3	9.5	10.2	9.6	9.8	10.3	11.8
7500	11.2	8.1	9.1	11.4	10.5	9.6	10.5	10.0	9.9	10.5	11.9

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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
8000	11.6	8.3	9.1	12.0	10.7	9.8	10.8	10.4	10.0	10.8	12.0
8500	12.0	8.5	9.0	12.5	10.8	10.0	11.2	10.7	10.1	11.0	12.2
9000	12.4	8.7	8.9	13.0	11.0	10.2	11.5	11.1	10.2	11.2	12.3

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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
1500	3.04	8.18	4.7	4.3	2.4	1.3	1.3	1.1	2.4	1.1	0.5
2000	4.2	8.9	6.1	5.4	3.9	2.8	2.9	2.8	3.8	2.8	1.7
2500	4.8	9.2	6.7	6.0	4.7	3.6	3.6	3.7	4.6	3.7	2.4
3000	5.4	9.5	7.4	6.5	5.4	4.4	4.4	4.5	5.3	4.6	3.0
3500	6.0	9.9	8.1	7.1	6.2	5.1	5.2	5.4	6.1	5.5	3.7
4000	6.6	10.2	8.8	7.6	7.0	5.9	6.0	6.2	6.8	6.4	4.3
4500	7.2	10.6	9.5	8.2	7.8	6.7	6.8	7.1	7.5	7.2	4.9
5000	7.85	10.91	10.2	8.7	8.5	7.5	7.6	8.0	8.3	8.1	5.6
5500	8.4	11.7	10.9	9.5	9.5	8.4	8.5	8.7	8.9	8.8	6.7
6000	8.9	12.6	11.7	10.2	10.6	9.4	9.3	9.5	9.5	9.6	7.7
6500	9.5	13.4	12.4	10.9	11.6	10.4	10.2	10.3	10.1	10.3	8.8
7000	10.0	14.2	13.2	11.7	12.6	11.4	11.0	11.1	10.7	11.0	9.9
7500	10.5	15.1	13.9	12.4	13.6	12.4	11.9	11.9	11.3	11.8	11.0
8000	11.1	15.9	14.7	13.1	14.6	13.3	12.7	12.6	11.9	12.5	12.1
8500	11.6	16.7	15.4	13.9	15.6	14.3	13.6	13.4	12.5	13.2	13.1
9000	12.13	17.55	16.2	14.6	16.7	15.3	14.5	14.2	13.1	13.9	14.2

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 + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO2
			1500	0.606	0.881	0.845	0.848	0.852	0.812	0.815	0.818
2000	0.687	0.919	0.900	0.896	0.898	0.831	0.834	0.861	0.772	0.779	0.844
2500	0.727	0.938	0.927	0.920	0.921	0.841	0.843	0.883	0.806	0.812	0.867
3000	0.767	0.957	0.955	0.944	0.945	0.850	0.852	0.905	0.841	0.846	0.890
3500	0.807	0.975	0.982	0.967	0.968	0.860	0.861	0.926	0.875	0.879	0.913
4000	0.848	0.994	1.009	0.991	0.991	0.869	0.871	0.948	0.909	0.912	0.936
4500	0.888	1.013	1.037	1.015	1.014	0.879	0.880	0.969	0.943	0.945	0.959
5000	0.928	1.032	1.064	1.039	1.037	0.888	0.889	0.991	0.977	0.978	0.982
5500	0.993	1.042	1.076	1.054	1.050	0.925	0.924	1.013	1.003	1.004	1.006
6000	1.058	1.052	1.088	1.069	1.063	0.962	0.960	1.034	1.030	1.029	1.031
6500	1.123	1.061	1.100	1.084	1.076	0.999	0.995	1.056	1.056	1.055	1.055
7000	1.189	1.071	1.112	1.099	1.089	1.036	1.031	1.078	1.082	1.081	1.080
7500	1.254	1.081	1.124	1.113	1.101	1.072	1.066	1.099	1.108	1.106	1.104
8000	1.319	1.091	1.136	1.128	1.114	1.109	1.101	1.121	1.135	1.132	1.128
8500	1.384	1.100	1.148	1.143	1.127	1.146	1.137	1.142	1.161	1.157	1.153
9000	1.449	1.110	1.160	1.158	1.140	1.183	1.172	1.164	1.187	1.183	1.177

6. Temperatur Gas Buang

Tabel 5.6 Data Temperatur Gas Buang

Putaran Mesin (RPM)	Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh ($^{\circ}\text{C}$)	Knalpot Standar Dengan MCC Pt & Rh ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatur Gas Buang Knalpot Eksperimen Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida ($^{\circ}\text{C}$)								
			Cu Lekukan 2 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO2
			1500	56	45	70	45	50	75	75	39
2000	134	120	173	47	117	147	200	164	142	173	173
2500	253	235	310	139	224	194	245	188	177	199	212
3000	371	350	447	230	330	240	289	212	212	225	251
3500	380	310	445	264	358	280	328	240	410	276	297
4000	389	270	443	298	385	319	367	268	608	327	343
4500	439	373	416	388	418	346	394	278	655	352	374

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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
5000	488	475	389	477	450	372	421	288	702	377	405
5500	529	503	462	466	480	386	431	325	611	408	432
6000	569	530	535	455	509	400	441	362	520	438	458
6500	528	514	493	453	499	399	462	371	499	420	446
7000	487	497	450	450	489	398	483	379	477	402	433
7500	521	524	438	480	517	388	503	394	491	400	448
8000	554	550	425	510	544	377	523	409	504	398	463
8500	537	545	459	530	522	423	526	450	487	420	474
9000	520	540	493	550	500	468	528	490	470	441	485

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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
3000	2.7	3.1	1.2	3.1	1.5	5.2	1.5	2.9	2.6	3.6	1.6
3500	9.5	8.4	9.7	10.5	10.8	10.4	10.7	10.6	10.4	11.0	10.8
4000	10.3	10.1	10.2	10.6	11.1	10.9	11.3	11.2	11.1	11.5	11.5
4500	9.6	9.6	10.2	10.3	10.6	10.4	10.9	10.9	10.9	11.2	11.3
5000	9.4	9.5	10.7	11.0	11.2	11.1	11.6	11.5	11.2	11.7	11.5
5500	9.9	10.0	11.1	11.5	11.4	11.5	11.9	11.8	11.6	12.1	12.0
6000	10.2	10.3	11.1	11.7	11.6	11.8	12.1	11.4	11.6	12.3	12.3
6500	11.0	10.9	10.9	11.8	12.1	12.1	12.3	11.8	11.5	12.5	12.5
7000	11.6	11.6	10.5	11.2	11.5	11.7	11.7	11.7	11.1	12.3	12.3
7500	11.4	11.3	10.2	10.7	11.2	11.3	11.4	11.6	10.8	12.0	11.7
8000	11.0	10.8	9.5	10.1	10.8	10.7	10.8	11.3	10.2	11.4	11.6
8500	10.5	10.3	8.7	9.2	9.6	9.8	9.9	10.7	9.4	10.7	10.9
9000	9.7	9.5	7.7	8.1	8.6	8.8	8.9	9.9	8.5	9.9	10.0

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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
			3000	1.2	1.4	0.5	1.3	0.5	2.2	0.6	1.2
3500	4.8	4.1	4.8	5.2	5.2	5.1	5.3	5.2	5.1	5.4	5.3
4000	5.8	5.7	5.8	6.0	6.2	6.1	6.4	6.3	6.3	6.5	6.4
4500	6.1	6.1	6.4	6.5	6.5	6.6	6.9	6.9	6.9	7.0	7.1
5000	6.6	6.7	7.5	7.8	7.7	7.8	8.2	8.1	7.9	8.1	8.1
5500	7.7	7.7	8.6	8.9	9.1	8.9	9.2	9.2	9.0	9.4	9.3
6000	8.7	8.7	9.4	9.9	10.1	10.0	10.2	10.2	9.8	10.4	10.4
6500	10.0	10.0	10.0	10.7	11.1	11.1	11.1	11.1	10.6	11.5	11.5
7000	11.5	11.4	10.4	11.2	11.3	11.6	11.6	11.6	11.0	12.2	12.1
7500	12.1	11.9	10.8	11.4	12.1	12.1	12.1	12.1	11.4	12.7	12.7
8000	12.4	12.2	10.8	11.4	12.1	12.1	12.2	12.1	10.5	12.9	12.8
8500	12.5	12.4	10.5	11.1	11.9	11.8	11.9	12.1	10.4	12.9	13.1
9000	12.4	12.1	9.8	10.4	11.2	11.3	11.4	11.5	10.8	12.5	12.7

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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
			1500	0.10	0.11	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
2000	0.12	0.12	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.05
2500	0.15	0.13	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05
3000	0.16	0.15	0.04	0.03	0.04	0.06	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06
3500	0.18	0.17	0.05	0.04	0.04	0.07	0.05	0.06	0.04	0.06	0.07
4000	0.20	0.19	0.06	0.04	0.04	0.08	0.06	0.06	0.04	0.09	0.09
4500	0.22	0.22	0.06	0.04	0.05	0.10	0.07	0.07	0.05	0.09	0.10
5000	0.27	0.26	0.07	0.05	0.05	0.12	0.08	0.08	0.07	0.10	0.12
5500	0.35	0.28	0.08	0.05	0.06	0.12	0.10	0.09	0.08	0.11	0.14
6000	0.38	0.35	0.09	0.06	0.06	0.13	0.13	0.12	0.10	0.12	0.16

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 + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO2
6500	0.44	0.41	0.11	0.07	0.08	0.14	0.15	0.14	0.12	0.14	0.19
7000	0.47	0.46	0.13	0.09	0.11	0.14	0.17	0.18	0.15	0.15	0.24
7500	0.53	0.50	0.15	0.09	0.12	0.18	0.19	0.20	0.15	0.18	0.25
8000	0.56	0.62	0.17	0.10	0.14	0.23	0.22	0.23	0.16	0.21	0.26
8500	0.62	0.67	0.19	0.12	0.15	0.26	0.24	0.25	0.20	0.25	0.29
9000	0.69	0.75	0.21	0.14	0.15	0.28	0.27	0.29	0.27	0.31	0.32

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 + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO2
1500	77.60	78.4	70.63	69.40	70.23	67.47	68.03	68.77	69.27	69.00	71.30
2000	79.43	79.17	77.90	72.57	82.00	68.87	70.13	70.00	77.97	81.03	80.37
2500	80.43	80.25	79.78	76.38	83.25	72.60	73.32	73.12	79.75	82.52	82.55
3000	81.43	81.33	81.67	80.20	84.50	76.33	76.50	76.23	81.53	84.00	84.73
3500	82.02	81.95	83.85	81.65	85.32	78.52	78.68	78.85	81.65	85.72	85.77
4000	82.60	82.57	86.03	83.10	86.13	80.70	80.87	81.47	81.77	87.43	86.80
4500	84.05	83.05	87.52	84.55	87.77	83.15	82.93	83.42	83.50	88.47	88.42
5000	85.50	83.53	89.00	86.00	89.40	85.60	85.00	85.37	85.23	89.50	90.03
5500	89.85	88.35	90.53	87.83	93.78	87.55	87.00	87.47	87.50	91.03	91.42
6000	94.20	93.17	92.07	89.67	98.17	89.50	89.00	89.57	89.77	92.57	92.80
6500	94.47	94.75	93.75	91.40	98.98	90.65	90.13	91.10	91.03	93.67	93.73
7000	94.73	96.33	95.43	93.13	99.80	91.80	91.27	92.63	92.30	94.77	94.67
7500	97.18	98.35	98.45	97.80	101.30	95.58	95.67	96.12	96.60	97.53	97.85
8000	99.63	100.37	101.47	102.47	102.80	99.37	100.07	99.60	100.90	100.30	101.03
8500	101.67	101.98	102.30	103.18	102.90	101.12	101.63	101.42	102.02	101.13	102.00
9000	103.70	103.60	103.13	103.90	103.00	102.87	103.20	103.23	103.13	101.97	102.97

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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 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	7.200	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	10.200	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
8500	14.00	16.75	15.29	15.34	16.70	13.20	14.45	14.200	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

B. Analisa dan Pembahasan

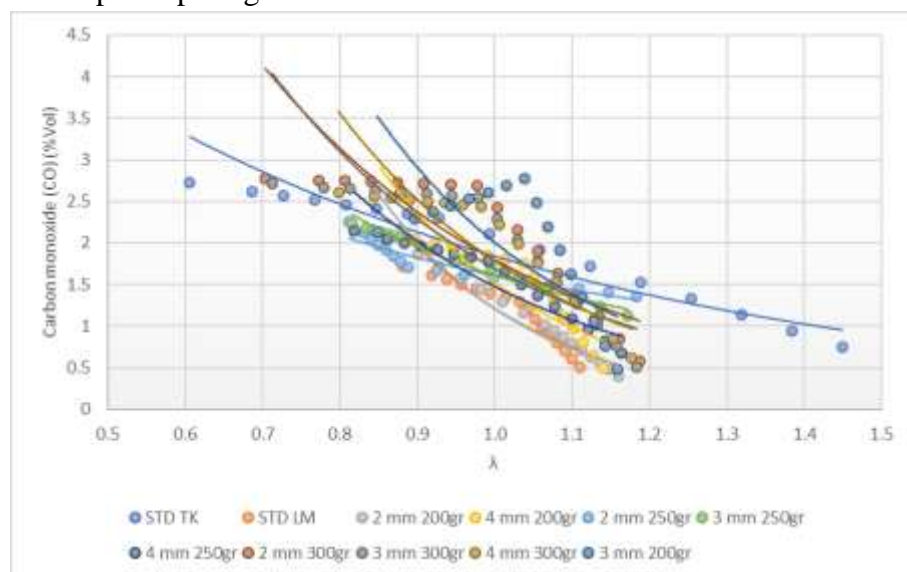
1. Perubahan Reduksi Emisi CO (Karbon Monoksida)

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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
1500	63%	54%	54%	54%	51%	52%	54%	40%	41%	44%
2000	62%	56%	45%	52%	50%	48%	51%	34%	36%	39%
2500	61%	57%	41%	50%	49%	46%	50%	31%	34%	36%
3000	60%	58%	35%	49%	48%	44%	48%	28%	31%	34%
3500	60%	60%	29%	47%	47%	41%	47%	24%	27%	30%
4000	59%	62%	23%	45%	45%	38%	45%	20%	23%	27%
4500	58%	63%	15%	43%	44%	35%	43%	15%	19%	23%
5000	57%	66%	7%	41%	42%	31%	40%	9%	14%	18%
5500	57%	66%	10%	42%	40%	31%	41%	12%	17%	20%
6000	57%	66%	15%	44%	37%	30%	42%	16%	21%	23%
6500	58%	67%	20%	46%	34%	29%	42%	20%	25%	26%
7000	59%	67%	25%	48%	30%	28%	44%	25%	30%	30%
7500	60%	68%	32%	51%	25%	26%	45%	31%	36%	34%
8000	61%	69%	41%	55%	19%	24%	46%	38%	43%	40%
8500	62%	70%	52%	59%	12%	22%	49%	47%	52%	47%
9000	63%	71%	65%	65%	2%	19%	51%	58%	63%	55%
Rata-rata	60%	64%	32%	49%	36%	34%	46%	28%	32%	33%

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 2.73 % Vol. Sedangkan ketika menggunakan knalpot standar dengan MCC Pt & Rh, Cu lekukan 2 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 250 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 300 gr TiO₂ masing-masing sebesar 1.72 % Vol, 2.14 % Vol, 2.13 % Vol, 2.12 % Vol, 2.25 % Vol, 2.23 % Vol, 2.14 % Vol, 2.78 % Vol, 2.71 % Vol, 2.6 % 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 + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 250 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 300 gr TiO₂ masing-masing dapat mereduksi emisi CO rata-rata sebesar 60%, 64%, 32%, 49%, 36%, 34%, 46%, 28%, 32%, 33%.

Hasil di atas jika dikaitkan dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 4 tahun 2509 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 (% Vol)	Ambang Batas	Lulus/Tidak Lulus
Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh	4.61	4,5 % Vol	Tidak Lulus
Knalpot Standar dengan MCC Pt & Rh	1.72	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 2 mm + 200 gr TiO ₂	2.14	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	2.13	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	2.12	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	2.25	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	2.23	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	2.14	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	2.78	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	2.71	4,5 % Vol	Lulus
Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂	2.6	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 200 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi CO masing-masing sebesar 64%, 32%, dan 49% 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 200 gram dan mampu mereduksi emisi CO hingga 49%. Agar lebih jelas gambar *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 200 gr TiO₂ dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 200 gr TiO₂

Pada *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 250 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi CO masing-masing sebesar 36%, 34%, dan 46% dibandingkan dengan emisi CO knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Perubahan reduksi emisi terbaik pada terdapat pada Cu lekukan 4, persentase reduksi ini tergolong baik karena jumlah katalis titanium dioksida yang dilapiskan ke permukaan plat tembaga (Cu) relatif sedikit, yaitu 250 gram dan mampu mereduksi emisi CO hingga 46%. Agar lebih jelas gambar *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 250 gr TiO₂ dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 250 gr TiO₂

Pada *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 300 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi CO masing-masing sebesar 28%, 32%, dan 33% dibandingkan dengan emisi CO knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Perubahan reduksi emisi terbaik pada terdapat pada Cu lekukan 4, 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 300 gram dan mampu mereduksi emisi CO hingga 33%. Agar lebih jelas gambar *catalytic converter* titanium dioksida dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 300 gr TiO₂ dapat dilihat pada gambar 15.



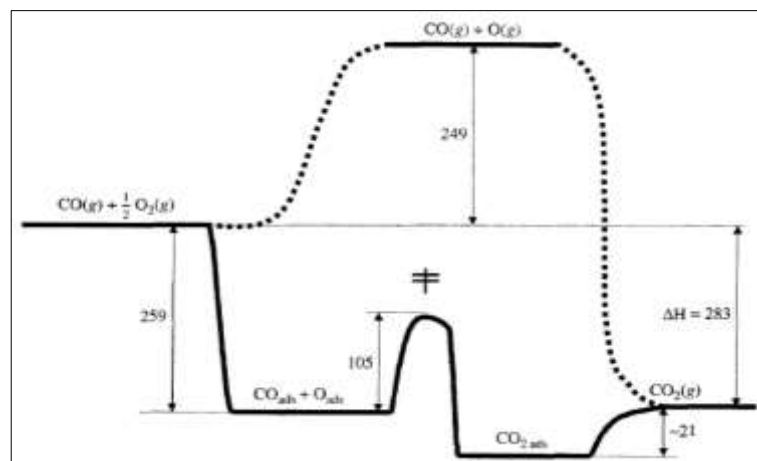
Gambar 15. *Catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 300 gr TiO₂

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 + 200 gr TiO₂ dengan tingkat reduksi emisi CO mencapai 64%.

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 + 300 gr TiO₂, dengan suhu 720°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.

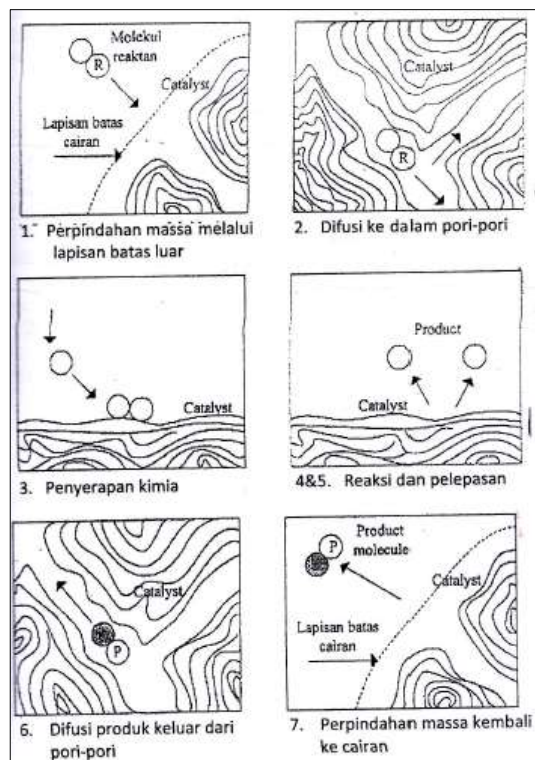


Gambar 16. Skema diagram energi reaksi CO menjadi CO₂
Sumber: G. Ertl (1983:245)

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 CO_2 pada akhir reaksi hanya 21 kJ mol^{-1} . Alur reaksi tanpa katalis (garis putus-putus) secara ekstrim menunjukkan bahwa untuk mereaksikan CO menjadi CO_2 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 O_2 menjadi atom O. Hal inilah yang menyebabkan molekul CO mudah direaksikan dengan atom O untuk membentuk CO_2 .

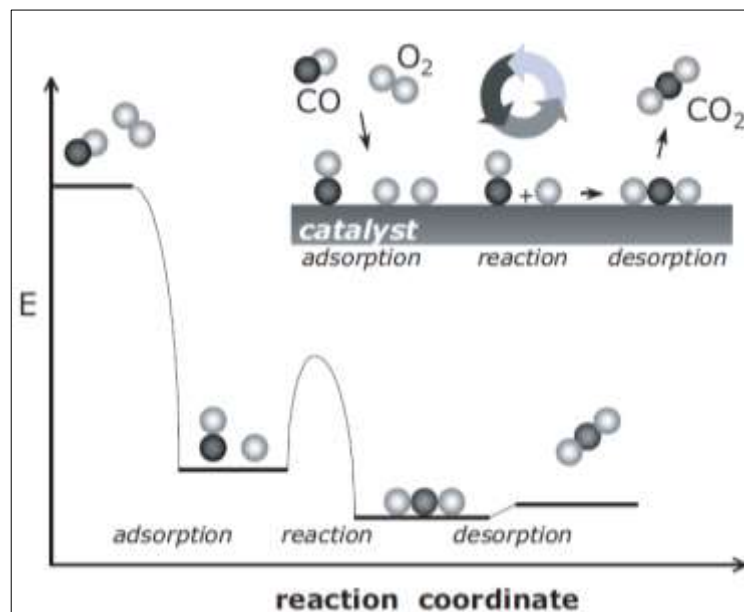
Catalytic converter titanium dioksida merupakan salah satu jenis katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang terdiri lebih dari satu fase. Pada umumnya fase katalis adalah padat sedangkan reaktan dan produknya adalah cair atau gas. Dalam hal ini titanium dioksida sebagai katalis padat, CO dan HC dan O_2 sebagai reaktan dan CO_2 , H_2O 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.

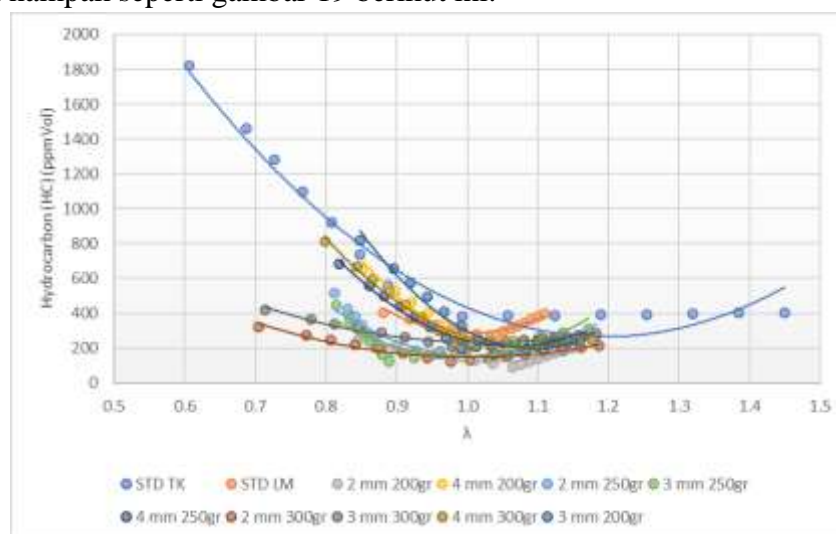
2. Perubahan Reduksi Emisi HC (Hidrokarbon)

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 <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Titanium Dioksida (%)								
		Cu Lekukan 2 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO2	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO2
1500	78%	87%	55%	64%	72%	76%	63%	82%	77%	55%
2000	75%	86%	55%	64%	71%	75%	62%	81%	75%	54%
2500	73%	85%	55%	64%	70%	75%	61%	81%	73%	53%
3000	70%	85%	55%	64%	70%	74%	60%	80%	71%	53%
3500	66%	84%	55%	63%	69%	74%	59%	79%	69%	51%
4000	60%	83%	55%	63%	67%	73%	57%	77%	65%	49%
4500	50%	80%	56%	62%	65%	71%	54%	74%	58%	46%
5000	31%	76%	56%	61%	61%	68%	47%	68%	44%	39%
5500	27%	72%	54%	57%	57%	62%	46%	65%	42%	39%
6000	23%	68%	52%	54%	53%	56%	44%	63%	41%	39%
6500	20%	65%	49%	51%	50%	50%	42%	60%	39%	39%
7000	16%	61%	47%	48%	46%	45%	40%	57%	37%	39%
7500	12%	57%	45%	44%	43%	39%	39%	54%	35%	39%
8000	9%	54%	43%	41%	39%	33%	37%	52%	33%	39%
8500	5%	50%	40%	38%	36%	28%	35%	49%	31%	39%
9000	2%	47%	38%	35%	32%	23%	34%	47%	29%	39%
Rata-rata	39%	71%	51%	55%	56%	58%	49%	67%	51%	45%

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 1821 ppmVol. Sedangkan ketika menggunakan knalpot standar dengan MCC Pt & Rh, Cu lekukan 2 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 250 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 300 gr TiO₂ masing-masing sebesar 401 ppm Vol, 245 ppm Vol, 821 ppm Vol, 653 ppm Vol, 518 ppm Vol, 444 ppm Vol, 682 ppm Vol, 323 ppm Vol, 418 ppm Vol, 815 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 + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 250 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 300 gr TiO₂ masing-masing dapat mereduksi emisi HC rata-rata sebesar 39%, 71%, 51%, 55%, 56%, 58%, 49%, 67%, 51%, 45%.

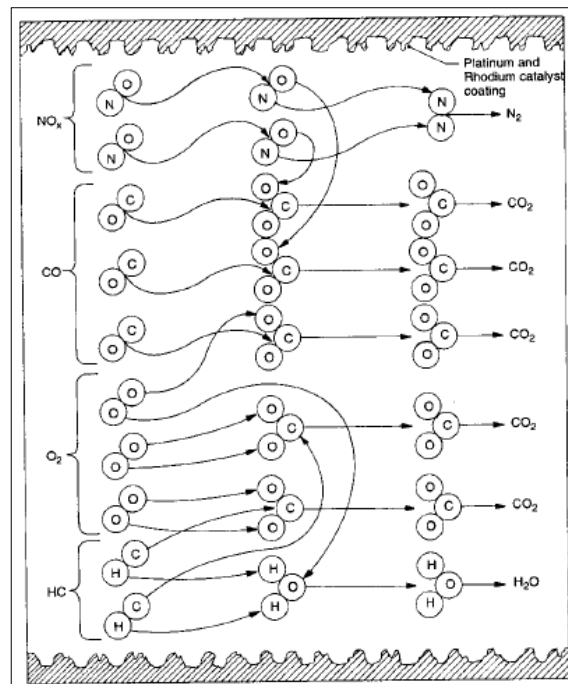
Hasil di atas jika dikaitkan dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 5 tahun 2506 tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor untuk kendaraan bermotor tipe L (sepeda motor) tahun pembuatan lebih dari tahun 2010 dapat dilihat pada tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Pebandingan Hasil Emisi HC Terhadap Peraturan Pemerintah

Knalpot	Hasil (ppm Vol)	Ambang Batas	Lulus/Tidak Lulus
Knalpot Standar Tanpa MCC Pt & Rh	1821	2000 ppm	Lulus
Knalpot Standar dengan MCC Pt & Rh	401	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 2 mm + 200 gr TiO ₂	245	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	821	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	653	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	518	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	444	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	682	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	323	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	418	2000 ppm	Lulus
Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂	815	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 terlapis 200 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi HC masing-masing sebesar 71%, 51%, dan 55% 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 200 gram dan mampu mereduksi emisi HC hingga 71%. Dengan demikian emisi HC bereaksi dengan O₂ dan NO, sehingga berubah menjadi H₂O 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 + 200 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 + 200 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 + 200 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 terlapis 250 gr TiO₂ mendapatkan persentase perubahan reduksi emisi HC masing-masing sebesar 56%, 58%, dan 49% 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 terlapis 200 gr TiO₂, karenapada variasi ini jumlah katalis titanium dioksida yang terlapis pada permukaan plat tembaga (Cu) relatif lebih banyak yaitu 250 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 + 250 gr TiO₂

Dengan menggunakan *catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm + 300 gr TiO₂, rata-rata persentase perubahan reduksi emisi HC masing-masing sebesar 67%, 51%, dan 45% dibandingkan dengan emisi HC knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Emisi HC dapat direduksi lebih signifikan karena jumlah jumlah katalis titanium dioksida yang dilapiskan ke permukaan plat tembaga (Cu) lebih banyak, yaitu 300 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 + 300 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 + 300 gr TiO₂, dengan suhu 702°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.

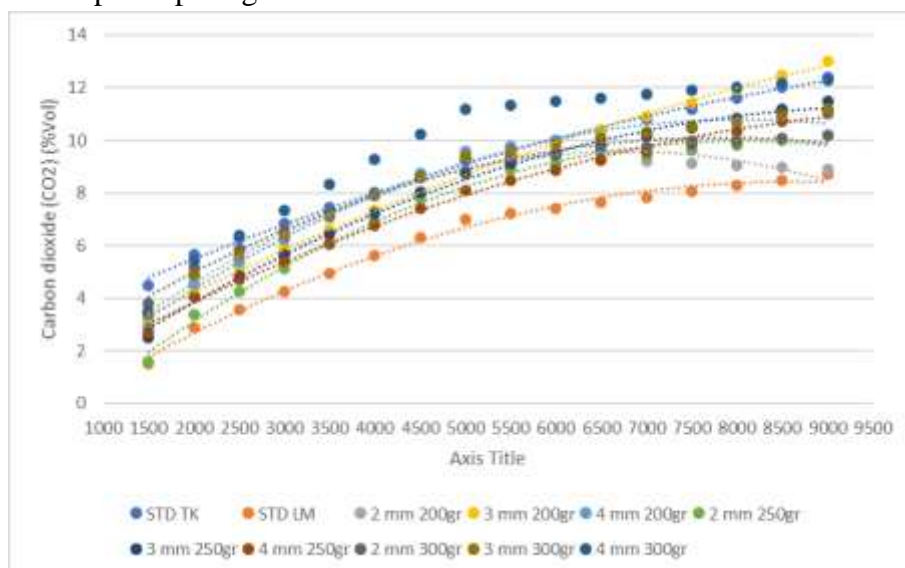
3. Perubahan Reduksi Emisi CO₂ (Karbon Dioksida)

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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
1500	67%	29%	33%	36%	64%	44%	40%	16%	24%	22%
2000	49%	16%	22%	19%	41%	28%	29%	9%	14%	4%
2500	43%	11%	17%	14%	32%	22%	25%	6%	10%	-2%
3000	38%	7%	14%	9%	25%	18%	21%	4%	7%	-7%
3500	34%	4%	11%	5%	19%	13%	18%	3%	4%	-12%
4000	30%	1%	8%	1%	14%	10%	16%	1%	2%	-16%
4500	27%	-1%	6%	-2%	9%	7%	14%	0%	0%	-19%
5000	24%	-3%	4%	-4%	5%	4%	12%	-1%	-2%	-22%
5500	25%	2%	3%	-2%	7%	5%	12%	2%	0%	-18%
6000	26%	7%	1%	1%	9%	5%	12%	5%	1%	-15%
6500	27%	11%	0%	3%	11%	6%	11%	7%	3%	-12%
7000	27%	15%	-1%	5%	13%	6%	11%	10%	5%	-9%
7500	28%	19%	-2%	6%	14%	6%	11%	12%	6%	-6%
8000	29%	22%	-3%	8%	15%	7%	11%	14%	7%	-4%
8500	29%	25%	-4%	10%	17%	7%	11%	16%	9%	-1%
9000	30%	28%	-5%	11%	18%	7%	10%	18%	10%	1%
Rata-rata	33%	12%	7%	7%	20%	12%	16%	8%	6%	-7%

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 + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 250 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 300 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 (stoikhiometris). Saat lambda melebihi 1 maka tren grafik emisi CO₂ semakin turun. Lambda lebih dari 1 menandakan campuran miskin.

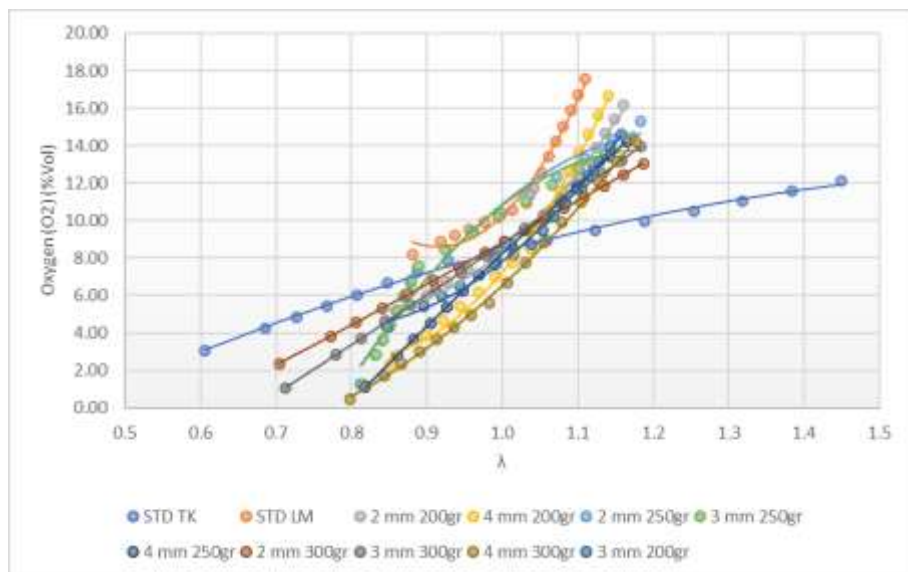
Lambda variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 200 gr TiO₂ rata-rata mengalami penurunan rata-rata sebesar -9%, -7%, dan -7% dibandingkan dengan menggunakan knalpot standar dengan MCC Pt & Rh. Variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 250 gr TiO₂ rata-rata mengalami penurunan rata-rata sebesar 1%, 1%, dan -4% dibandingkan dengan menggunakan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Sementara itu variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 300 gr TiO₂ rata-rata mengalami penurunan rata-rata sebesar 0%, 0%, dan -3% dibandingkan dengan menggunakan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.

Pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 200 gr TiO₂, didapat rata-rata persentase perubahan reduksi emisi CO₂ sebesar 12%, 7%, dan 7%. Emisi CO₂ cenderung menurun karena lambda rata-rata variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 200 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 200 gr TiO₂. Pada tabel 5.17 di bawah, rata-rata kadar O₂ pada Cu lekukan 2 dan 3 dengan kadar katalis titanium dioksida sebanyak 200 gram masing-masing sebesar 35% dan 19%. Namun Cu lekukan 4 + 200 gr TiO₂ menurun sebesar 13% 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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
1500	169%	54%	42%	-23%	-58%	-58%	-64%	-22%	-65%	-85%
2000	109%	43%	28%	-8%	-34%	-33%	-34%	-9%	-33%	-59%
2500	90%	39%	23%	-4%	-26%	-25%	-24%	-5%	-23%	-51%
3000	75%	36%	20%	0%	-20%	-18%	-17%	-2%	-16%	-45%
3500	64%	34%	17%	3%	-15%	-13%	-11%	0%	-9%	-40%
4000	54%	32%	15%	5%	-11%	-9%	-6%	2%	-4%	-35%
4500	46%	31%	13%	7%	-8%	-6%	-2%	4%	0%	-32%
5000	39%	30%	11%	9%	-5%	-3%	1%	5%	3%	-29%
5500	40%	30%	13%	14%	1%	1%	4%	6%	6%	-21%
6000	41%	31%	14%	18%	6%	5%	7%	6%	7%	-13%
6500	42%	31%	16%	22%	10%	8%	9%	7%	9%	-7%
7000	42%	32%	17%	26%	14%	10%	11%	7%	10%	-1%
7500	43%	32%	18%	29%	17%	13%	13%	7%	12%	4%
8000	44%	33%	19%	32%	21%	15%	14%	7%	13%	9%
8500	44%	33%	20%	35%	23%	17%	16%	7%	14%	13%
9000	45%	33%	20%	37%	26%	19%	17%	8%	15%	17%
Rata-rata	62%	35%	19%	13%	-4%	-5%	-4%	2%	-4%	-23%

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

Gambar 26. Grafik emisi O₂ terhadap lambda

Tabel 5.17 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 250 gr TiO₂, didapat rata-rata persentase perubahan reduksi emisi CO₂ sebesar 12%, 7%, dan 7% bila dibandingkan dengan emisi CO₂ knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Pada tabel 5.17 dapat dilihat rata-rata persentase konsentrasi O₂ cenderung meningkat dibanding Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 200 gr TiO₂, yaitu 20%, 12%, dan 16%. Ini dikarenakan lambda Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 250 gr TiO₂ lebih miskin dibandingkan dengan Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 200 gr TiO₂.

Pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 300 gr TiO₂, didapat rata-rata persentase perubahan reduksi emisi CO₂ sebesar 8%, 6%, dan -7% 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 250 gr TiO₂, yaitu -4%, -5%, dan -4%. Ini dikarenakan lambda Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 300 gr TiO₂ lebih miskin dibandingkan dengan Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 250 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.

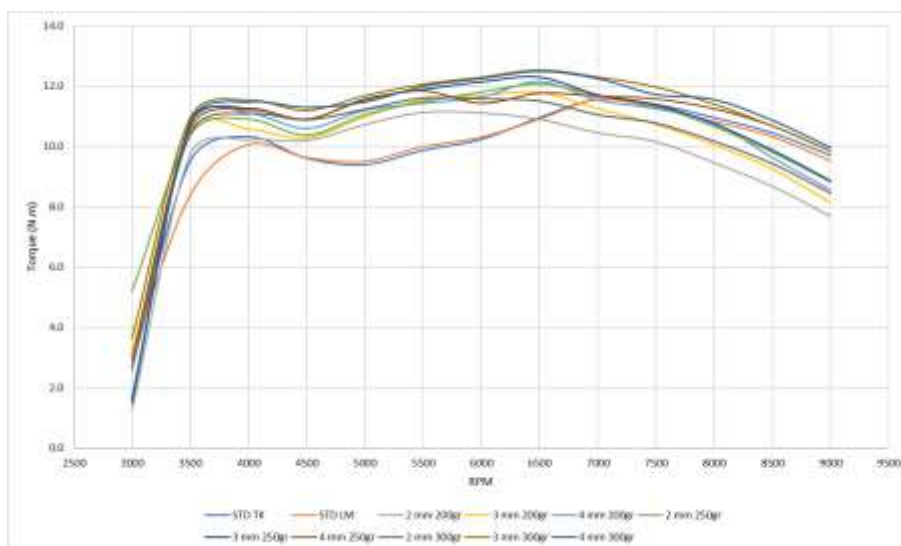
4. Perubahan Torsi

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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
3000	15%	-54%	15%	-44%	93%	-43%	9%	-3%	35%	-39%
3500	-12%	2%	10%	14%	9%	13%	12%	10%	15%	14%
4000	-3%	-1%	2%	7%	5%	9%	9%	7%	12%	11%
4500	0%	6%	7%	10%	8%	13%	13%	13%	17%	18%
5000	1%	14%	17%	19%	18%	23%	23%	20%	24%	22%
5500	1%	13%	17%	16%	16%	20%	20%	18%	22%	22%
6000	1%	8%	14%	14%	15%	19%	12%	13%	20%	20%
6500	-1%	-1%	7%	11%	10%	12%	7%	5%	14%	14%
7000	0%	-10%	-3%	0%	1%	1%	1%	-4%	6%	6%
7500	-1%	-11%	-6%	-1%	-1%	0%	2%	-5%	5%	3%
8000	-1%	-14%	-8%	-2%	-3%	-2%	3%	-7%	4%	6%
8500	-1%	-17%	-12%	-8%	-6%	-5%	2%	-10%	2%	4%
9000	-2%	-21%	-16%	-12%	-9%	-9%	2%	-13%	1%	3%
Rata-rata	0%	-6%	3%	2%	12%	4%	9%	3%	14%	8%

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 + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 250 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 300 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 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapsi 200 gr TiO₂ rata-rata mengalami perubahan peningkatan torsi sebesar 3%, dan 2% dibanding torsi menggunakan knalpot standar dengan MCC Pt & Rh. Namun, pada Cu lekukan 2 terjadi penurunan sebesar -6%. Tekanan balik knalpot eksperimen Cu lekukan 2 + 200 gr TiO₂ meningkat sebesar 16,96%. Pada knalpot eksperimen Cu lekukan 3 dan Cu lekukan 4 + 200 gr TiO₂ terjadi peningkatan sebesar -1,30% dan -16,37%. Tekanan balik yang rendah ini disebabkan karena katalis yang menempel pada permukaan tembaga (Cu) relatif sedikit, yaitu sebanyak 200 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 250 gr TiO₂ rata-rata mengalami perubahan peningkatan torsi sebesar 12%, 4%, dan 9% dibanding torsi menggunakan knalpot standar dengan MCC Pt & Rh. Tekanan balik knalpot eksperimen Cu lekukan 2, dan Cu lekukan 3 yang terlapisi 250 gr TiO₂ meningkat sebesar 17,57%, dan 7,85%. Namun, pada knalpot eksperimen Cu lekukan 4 + 250 gr TiO₂ terjadi penurunan dimana masing-masing penurunan terjadi sebesar -10,40%. Pada *catalytic converter* titanium dioksida variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapisi 300 gr TiO₂, rata-rata perubahan peningkatan torsi sebesar 3%, 14%, dan 8% jika dibandingkan dengan torsi menggunakan knalpot standar dengan MCC pt & Rh.

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.

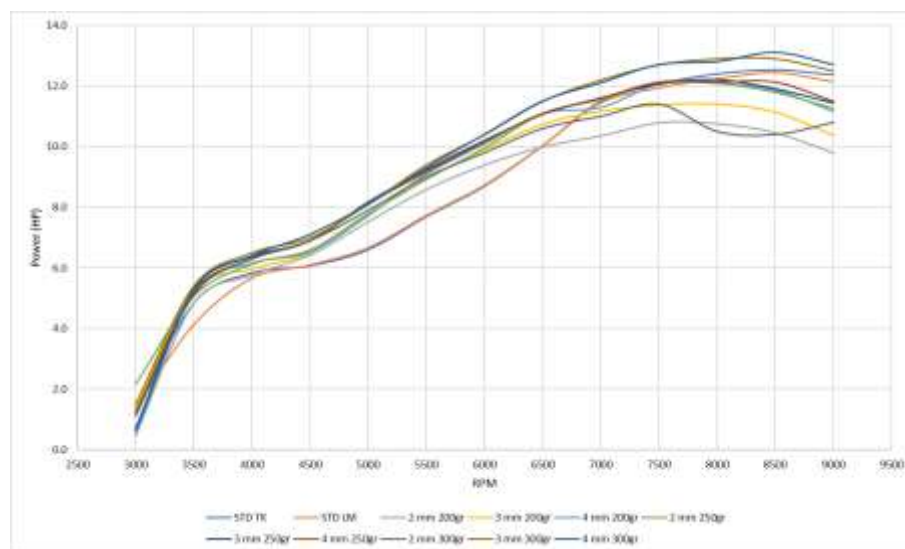
5. Perubahan Daya

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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
3000	17%	-58%	11%	-61%	81%	-47%	3%	-8%	25%	-42%
3500	-14%	0%	8%	8%	5%	9%	8%	6%	12%	10%
4000	-3%	-1%	2%	6%	5%	9%	8%	8%	11%	10%
4500	1%	6%	7%	8%	9%	14%	14%	14%	15%	17%
5000	1%	14%	18%	17%	18%	24%	23%	20%	23%	23%
5500	1%	12%	16%	18%	16%	20%	19%	17%	22%	21%
6000	0%	8%	14%	16%	15%	17%	17%	13%	20%	20%
6500	0%	0%	7%	11%	11%	10%	11%	6%	15%	15%
7000	0%	-10%	-3%	-2%	1%	1%	1%	-4%	6%	5%
7500	-1%	-10%	-6%	0%	1%	0%	1%	-6%	5%	5%
8000	-1%	-13%	-8%	-2%	-2%	-2%	-2%	-15%	4%	3%
8500	-1%	-16%	-11%	-5%	-6%	-5%	-3%	-17%	3%	5%
9000	-2%	-21%	-16%	-10%	-9%	-8%	-7%	-13%	1%	3%
Rata-rata	0%	-7%	3%	0%	11%	3%	7%	1%	12%	7%

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 + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 2 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 250 gr TiO₂, Cu lekukan 3 mm + 300 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 200 gr TiO₂, Cu lekukan 4 mm + 250 gr TiO₂, dan Cu lekukan 4 mm + 300 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 yang terlapis 200 gr TiO₂ mengalami penurunan daya rata-rata sebesar -7%, Cu lekukan 3 mengalami kenaikan daya rata-rata sebesar 3%, sedangkan untuk Cu lekukan 4 tidak mengalami kenaikan daya rata-rata 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 terlapis 200 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 terlapis 250 gr TiO₂ persentase rata-rata perubahan peningkatan daya yang dihasilkan sebesar 11%, 3%, dan 7% 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 terlapis 250 gr TiO₂ juga meningkat.

Pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 300 gr TiO₂ rata-rata persentase perubahan peningkatan daya yang dihasilkan sebesar 1%, 12%, dan 7% 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 terlapis 300 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 (2509) yang menyatakan bahwa semakin tinggi tekanan balik maka semakin menurunkan daya mesin.

6. Perubahan Tekanan Balik

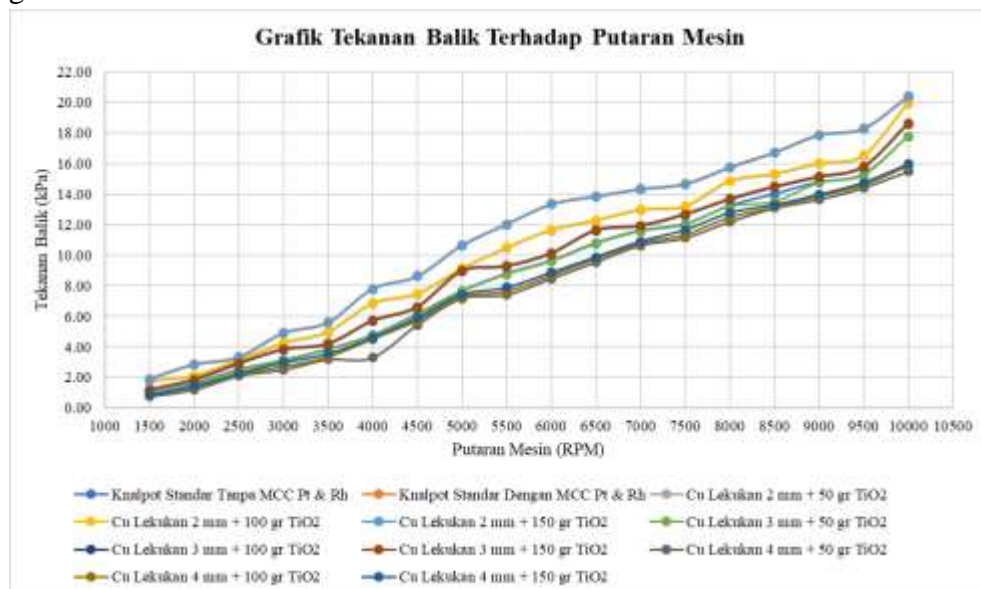
Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida dapat mempengaruhi tekanan balik di dalam sistem pembuangan. Berikut ini adalah tabel 5.20 data perubahan tekanan balik dari knalpot standar dan *catalytic converter* titanium dioksida.

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 Tembaga Berlapis Titanium Dioksida</i> (%)								
		Cu Lekukan 2 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
1500	200.26%	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%
3000	36.51%	25.83%	26.70%	35.86%	-1.62%	17.85%	18.91%	-24.21%	-15.20%	-5.03%
3500	31.32%	22.02%	22.80%	30.70%	-1.31%	7.43%	8.53%	-21.00%	-15.92%	-8.43%
4000	39.00%	30.06%	30.57%	38.69%	-1.06%	16.02%	16.75%	-44.11%	-5.53%	-3.70%
4500	28.90%	17.45%	18.00%	28.49%	-0.82%	6.53%	7.24%	-12.84%	-7.52%	-4.24%
5000	28.12%	15.71%	16.17%	27.78%	-0.66%	14.11%	14.59%	-6.82%	-5.65%	-3.23%
5500	26.97%	15.79%	16.19%	26.67%	-0.57%	4.97%	5.48%	-18.60%	-15.18%	-11.39%
6000	27.77%	16.95%	17.31%	27.20%	-0.52%	4.46%	4.93%	-13.80%	-11.30%	-8.67%
6500	22.19%	11.84%	12.20%	21.91%	-0.47%	6.90%	7.30%	-12.97%	-10.54%	-9.20%
7000	19.08%	10.34%	10.68%	18.80%	-0.43%	2.35%	2.76%	-9.11%	-7.79%	-6.51%
7500	17.97%	8.57%	8.92%	17.69%	-0.42%	4.74%	5.12%	-8.17%	-6.17%	-3.26%
8000	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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
8500	16.42%	8.44%	8.74%	16.17%	-3.70%	3.11%	3.45%	-6.95%	-6.46%	-5.26%
9000	17.38%	7.51%	7.80%	17.15%	-0.34%	2.12%	2.44%	-8.28%	-6.48%	-5.80%
1500	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 terlapsi 200 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 terlapsi 200 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 200 gram, sehingga variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 200 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 terlapis 250 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 terlapis 200 gr TiO₂, maka tekanan balik variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 250 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 terlapis 250 gr TiO₂ lebih banyak jika dibandingkan dengan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 200 gr TiO₂, yaitu 250 gram. Sehingga bisa disimpulkan bahwa tingkat kerapatan permukaan katalis variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 250 gr TiO₂ kali lebih tinggi jika dibandingkan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 200 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 terlapis 200 gr TiO₂.

Pada variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapis 300 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 terlapis 300 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 terlapis 300 gr TiO₂ yaitu 300 gram. Sehingga bisa disimpulkan bahwa tingkat kerapatan variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 300 gr TiO₂ lebih tinggi jika dibandingkan variasi Cu

lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 200 gr TiO₂ dan 250 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 terlapis 200 gr TiO₂ dan 250 gr TiO₂.

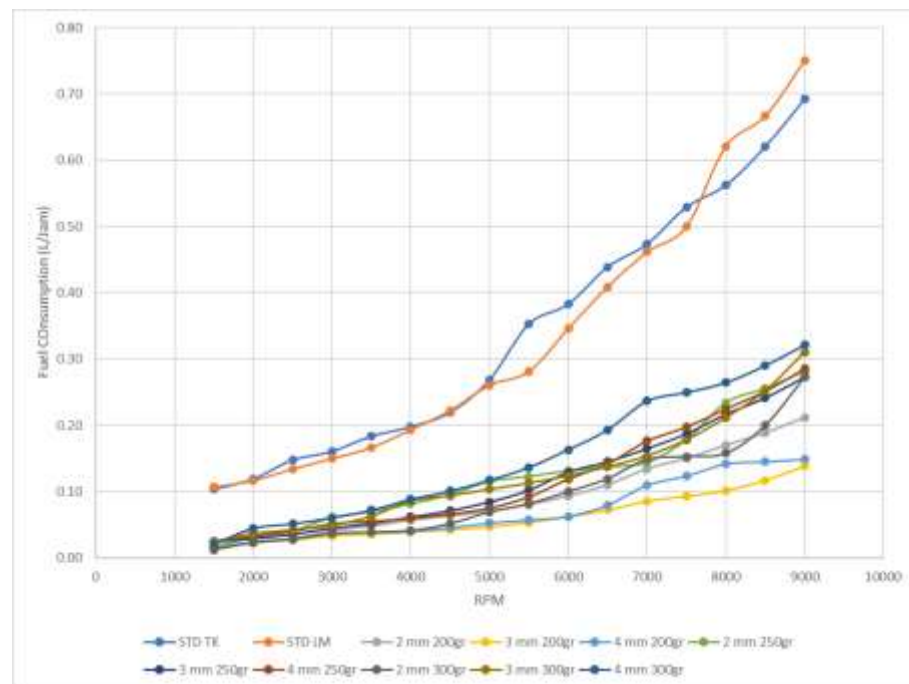
7. Perubahan Konsumsi Bahan Bakar

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 Berlapis Titanium Dioksida (%)								
		Cu Lekukan 2 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
1500	-4%	84%	89%	86%	84%	76%	77%	88%	76%	80%
2000	2%	81%	81%	79%	74%	75%	72%	81%	69%	62%
2500	9%	80%	82%	80%	72%	76%	73%	81%	71%	65%
3000	7%	75%	79%	77%	62%	72%	68%	77%	69%	62%
3500	9%	74%	80%	79%	62%	72%	70%	79%	66%	61%
4000	2%	71%	80%	80%	59%	69%	70%	79%	56%	55%
4500	-1%	71%	81%	79%	56%	67%	70%	77%	57%	54%
5000	3%	74%	83%	80%	57%	69%	72%	74%	61%	56%
5500	20%	77%	85%	84%	65%	71%	74%	77%	68%	61%
6000	10%	76%	84%	84%	66%	66%	69%	74%	68%	57%
6500	7%	75%	84%	82%	69%	67%	68%	73%	69%	56%
7000	3%	72%	82%	77%	70%	65%	63%	69%	68%	50%
7500	6%	72%	82%	77%	66%	65%	63%	71%	66%	53%
8000	-10%	70%	82%	75%	58%	61%	60%	72%	62%	53%
8500	-7%	70%	81%	77%	59%	61%	59%	68%	59%	53%
9000	-8%	69%	80%	79%	59%	61%	59%	61%	55%	54%
Rata-rata	3%	74%	82%	80%	65%	68%	68%	75%	65%	58%

Tabel 5.21 di atas jika dibuat dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 31 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 terlapsi 200 gr, 250 gr, dan 300 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 terlapsi 200 gr mendapatkan persentase penurunan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar 74%, 82%, dan 80% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh.

Variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapsi 250 gr mendapatkan persentase penurunan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar 65%, 68%, dan 68% dibandingkan dengan knalpot standar tanpa MCC Pt & Rh. Sementara itu Variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapsi 300 gr mendapatkan persentase penurunan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar 75%, 65%, dan 58% 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 terlapsi 200 gr, 250 gr, dan 300 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 λ , 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 200 gr, 250 gr, dan 300 gr TiO₂ membuat campuran lebih miskin ($\lambda > 1$), hal ini bisa dilihat pada nilai λ pada sampel variasi Cu lekukan 2 dan Cu lekukan 3 yang terlapisi 200 gr, 250 gr, dan 300 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

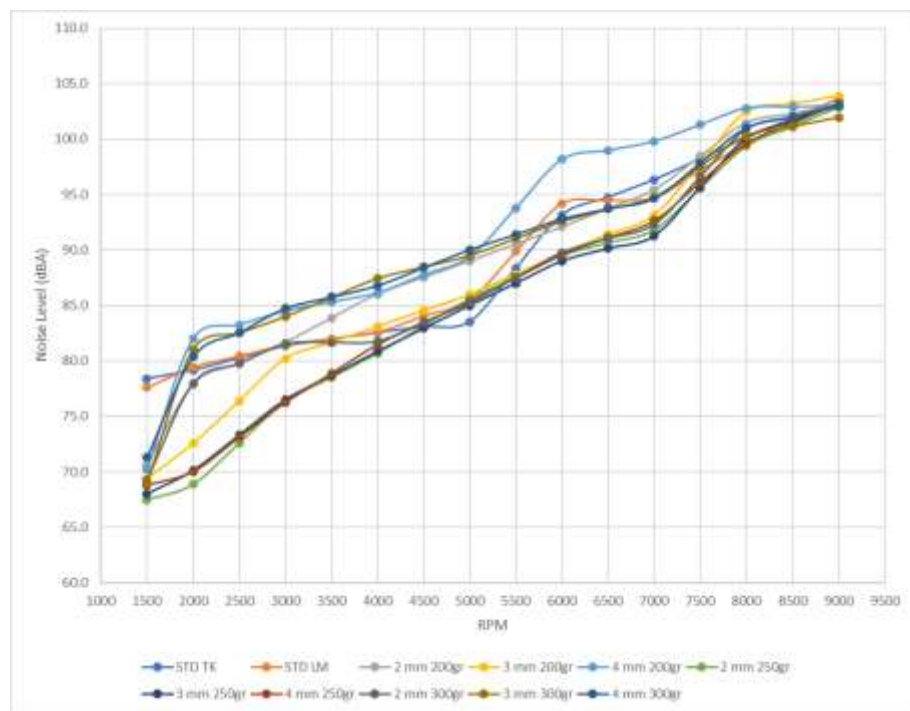
Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida dapat mempengaruhi tingkat kebisingan. Modifikasi knalpot standar dengan penambahan *catalytic converter* titanium dioksida juga dapat mempengaruhi perubahan tingkat kebisingan. Untuk melihat perubahan tingkat kebisingan dapat dilihat pada tabel 5.22 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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
1500	-1.02%	-9.91%	-11.48%	-10.42%	-13.95%	-13.22%	-12.29%	-11.65%	-11.99%	-9.06%
2000	0.34%	-1.60%	-8.34%	3.58%	-13.01%	-11.41%	-11.58%	-1.52%	2.36%	1.52%
2500	0.23%	-0.58%	-4.82%	3.74%	-9.53%	-8.64%	-8.89%	-0.62%	2.82%	2.87%
3000	0.12%	0.41%	-1.39%	3.89%	-6.15%	-5.94%	-6.27%	0.25%	3.28%	4.18%
3500	0.08%	2.32%	-0.37%	4.11%	-4.19%	-3.99%	-3.78%	-0.37%	4.60%	4.66%
4000	0.04%	4.20%	0.65%	4.32%	-2.26%	-2.06%	-1.33%	-0.97%	5.89%	5.13%
4500	1.20%	5.38%	1.81%	5.68%	0.12%	-0.14%	0.44%	0.54%	6.52%	6.46%
5000	2.35%	6.54%	2.95%	7.02%	2.47%	1.76%	2.19%	2.04%	7.14%	7.78%
5500	1.70%	2.47%	-0.58%	6.15%	-0.91%	-1.53%	-1.00%	-0.96%	3.04%	3.47%
6000	1.11%	-1.18%	-3.76%	5.37%	-3.94%	-4.47%	-3.86%	-3.65%	-0.64%	-0.39%
6500	-0.30%	-1.06%	-3.54%	4.47%	-4.33%	-4.87%	-3.85%	-3.92%	-1.14%	-1.07%
7000	-1.66%	-0.93%	-3.32%	3.60%	-4.71%	-5.26%	-3.84%	-4.19%	-1.63%	-1.73%
7500	-1.05%	0.24%	-0.42%	3.14%	-2.68%	-2.60%	-2.14%	-1.65%	-0.70%	-0.37%
8000	-0.47%	1.37%	2.36%	2.70%	-0.73%	-0.03%	-0.50%	0.80%	0.20%	0.93%
8500	-0.18%	0.44%	1.31%	1.03%	-0.72%	-0.21%	-0.43%	0.16%	-0.70%	0.15%

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 + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 2 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 3 mm + 300 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 200 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 250 gr TiO ₂	Cu Lekukan 4 mm + 300 gr TiO ₂
9000	0.10%	-0.45%	0.29%	-0.58%	-0.71%	-0.39%	-0.35%	-0.45%	-1.58%	-0.61%
Rata-rata	0.16%	0.48%	-1.79%	2.99%	-4.08%	-3.94%	-3.59%	-1.63%	1.09%	1.49%

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



Gambar 32. Grafik tingkat kebisingan terhadap RPM

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 200 gr TiO₂, 250 gr TiO₂, dan 300 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 200 gr TiO₂, perubahan tingkat

kebisingan menurun rata-rata 0.5%, -1.8%, dan 3.0%. Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 250 gr TiO₂ menurun rata-rata -4.1, -3.9, dan -3.6%. Sementara itu pada variasi Cu lekukan 2, Cu lekukan 3, Cu lekukan 4 mm yang terlapis 300 gr TiO₂ terjadi penurunan rata-rata sebesar -1.6%, 1.1%, dan 1.5%. 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 dan HC pada sepeda motor Yamaha *New Vixion Lightning* 2015. Reduksi rata-rata terbesar didapatkan oleh desain Cu 2 mm + 200gr TiO₂, yakni 64% untuk CO dan 71% untuk HC.
2. Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap peningkatan torsi dan daya pada sepeda motor Yamaha *New Vixion Lightning* 2015. Peningkatan rata-rata terbesar didapatkan oleh desain Cu 3 mm + 300gr TiO₂, yakni 14% untuk torsi dan 12% untuk daya.
3. Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap reduksi konsumsi bahan bakar pada sepeda motor Yamaha *New Vixion Lightning* 2015. Reduksi rata-rata terbesar didapatkan oleh desain Cu 3 mm + 200gr TiO₂, yakni sebesar 82%.
4. Penggunaan *catalytic converter* titanium dioksida berpengaruh terhadap reduksi konsumsi tingkat kebisingan pada sepeda motor Yamaha *New Vixion Lightning* 2015. Reduksi rata-rata terbesar didapatkan oleh desain Cu 4 mm + 200gr TiO₂, yakni sebesar 40%.

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 Lightning*. Oleh karena itu, bagi pemilik sepeda motor Yamaha *New Vixion Lightning* 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).

DAFTAR PUSTAKA

- [1], UN. (2015). Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. Retrieved from [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030 Agenda for Sustainable Development web.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030_Agenda_for_Sustainable_Development_web.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.ijserd.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.iraj.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.

LEMBAR PEMBAHASAN**Usulan-Proposal/Laporan-Kemajuan/Laporan Akhir (*) Penelitian yang berjudul**

UJI KETAHANAN (ENDURANCE TEST) PENGEMBANGAN KNALPOT SEPEDA MOTOR SPORT RAMAH LINGKUNGAN BERTEKNOLOGI METALLIC CATALYTIC CONVERTER TITANIUM DIOKSIDA UNTUK Mendukung Produk Prototipe Industri Unggulan UNESA

Dengan pelaksana berikut :

1. 0028038101 - Dr. Warju, S.Pd., S.T., M.T. (Ketua)
2. 0726028202 - Firman Yasa Utama, S.Pd., M.T.
3. 0009027903 - Arya Mahendra Sakti, S.T., M.T.
4. IQBAL ZARKASYI HERIANTO (Mahasiswa)
5. SALSABILA MEGA FITHRIYAH (Mahasiswa)
6. SISCA APRILLIANA (Mahasiswa)
7. ERNITA AULIA (Mahasiswa)
8. ADE AMELIA SAPRLANA (Mahasiswa)

Telah dipaparkan pada tanggal 26 November 2021 di LPPM Universitas Negeri Surabaya

Catatan :

Luaran penelitian yang dijanjikan adalah pendaftaran KI (belum dilakukan, Draf usulan juga belum ada), dan seminar internasional, belum ada konfirmasi apakah sudah dilaksanakan atau belum (Artikel yang diseminarkan tidak disertakan). Demikian juga didokumen logbook kedua dokumen luaran tidak ditemukan.

Surabaya, 26 November 2021
Reviewer,



Dr. Munasir, S.Si., M.Si.
NIP 196911171995121001

LEMBAR PEMBAHASAN**Usulan-Proposal/Laporan-Kemajuan/Laporan Akhir (*) Penelitian yang berjudul**

UJI KETAHANAN (ENDURANCE TEST) PENGEMBANGAN KNALPOT SEPEDA MOTOR SPC RAMAH LINGKUNGAN BERTEKNOLOGI METALLIC CATALYTIC CONVERTER TITANIUM DIOKSIDA UNTUK Mendukung Produk Prototipe Industri Unggulan UNESA

Dengan pelaksana berikut :

1. 0028038101 - Dr. Warju, S.Pd., S.T., M.T. (Ketua)
2. 0726028202 - Firman Yasa Utama, S.Pd., M.T.
3. 0009027903 - Arya Mahendra Sakti, S.T., M.T.
4. IQBAL ZARKASYI HERIANTO (Mahasiswa)
5. SALSABILA MEGA FITHRIYAH (Mahasiswa)
6. SISCA APRILLIANA (Mahasiswa)
7. ERNITA AULIA (Mahasiswa)
8. ADE AMELIA SAPRIANA (Mahasiswa)

Telah dipaparkan pada tanggal 26 November 2021 di LPPM Universitas Negeri Surabaya

Catatan :

penyelesaian laporan akhir dan pada laporan akhir dapat dilengkapi bukti submit dan artikel

Surabaya, 26 November 2021
Reviewer,



Unit Three Kartini, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197602212003122001

LEMBAR PENGESAHAN 2**Usulan-Proposal/Laporan-Kemajuan/Laporan Akhir (*) Penelitian yang berjudul**

UJI KETAHANAN (ENDURANCE TEST) PENGEMBANGAN KNALPOT SEPEDA MOTOR SPORT RAMAH LINGKUNGAN BERTEKNOLOGI METALLIC CATALYTIC CONVERTER TITANIUM DIOKSIDA UNTUK Mendukung Produk Prototipe Industri Unggulan UNESA

Dengan pelaksana berikut :

1. 0028038101 - Dr. Warju, S.Pd., S.T., M.T. (Ketua)
2. 0726028202 - Firman Yasa Utama, S.Pd., M.T.
3. 0009027903 - Arya Mahendra Sakti, S.T., M.T.
4. IQBAL ZARKASYI HERIANTO (Mahasiswa)
5. SALSABILA MEGA FITHRIYAH (Mahasiswa)
6. SISCA APRILLIANA (Mahasiswa)
7. ERNITA AULIA (Mahasiswa)
8. ADE AMELIA SAPRIANA (Mahasiswa)

Telah direvisi pada tanggal 30 November 2021 di LPPM Universitas Negeri Surabaya

Surabaya, 30 November 2021
Reviewer,



Dr. Munasir, S.Si., M.Si.
NIP 196911171995121001

LEMBAR PENGESAHAN 2**Usulan-Proposal/Laporan-Kemajuan/Laporan Akhir (*) Penelitian yang berjudul**


UJI KETAHANAN (ENDURANCE TEST) PENGEMBANGAN KNALPOT SEPEDA MOTOR SPORT RAMAH LINGKUNGAN BERTEKNOLOGI METALLIC CATALYTIC CONVERTER TITANIUM DIOKSIDA UNTUK Mendukung Produk Prototipe Industri Unggulan UNESA

Dengan pelaksana berikut :

1. 0028038101 - Dr. Warju, S.Pd., S.T., M.T. (Ketua)
2. 0726028202 - Firman Yasa Utama, S.Pd., M.T.
3. 0009027903 - Arya Mahendra Sakti, S.T., M.T.
4. IQBAL ZARKASYI HERIANTO (Mahasiswa)
5. SALSABILA MEGA FITHRIYAH (Mahasiswa)
6. SISCA APRILLIANA (Mahasiswa)
7. ERNITA AULIA (Mahasiswa)
8. ADE AMELIA SAPRIANA (Mahasiswa)

Telah direvisi pada tanggal 30 November 2021 di LPPM Universitas Negeri Surabaya

Surabaya, 30 November 2021
Reviewer,



Unit Three Kartini, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197602212003122001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
Kampus Lidah, Jalan Lidah Wetan Unesa, Surabaya 60213
Telepon 031-99421834, 99421835, Faksimil : 031-99424002
Laman : www.unesa.ac.id

KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
NOMOR 848/UN38/HK/PM/2021

TENTANG

PENETAPAN PENERIMA PENELITIAN KOMPETITIF LPPM
SKEMA PENELITIAN PENGEMBANGAN PROTOTIPE INDUSTRI
UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA DANA PNBP TAHUN 2021

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 LPPM Skema Penelitian Pengembangan Prototipe Industri Universitas Negeri Surabaya Dana PNBP Tahun 2021;
- b. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a, perlu menetapkan Keputusan Rektor Universitas Negeri Surabaya tentang Penetapan Penerima Penelitian Kompetitif LPPM Skema Penelitian Pengembangan Prototipe Industri Universitas Negeri Surabaya Dana PNBP Tahun 2021;
- Mengingat : 1. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2009 tentang Dosen (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 76, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5007);
2. 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);
3. 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);
4. 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);
5. 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);

- 2 -

6. 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;
7. 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 LPPM SKEMA PENELITIAN PENGEMBANGAN PROTOTIPE INDUSTRI UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA DANA PNBP TAHUN 2021.
- KESATU : Menetapkan Penerima Penelitian Kompetitif LPPM Skema Penelitian Pengembangan Prototipe Industri Universitas Negeri Surabaya Dana PNBP Tahun 2021, sebagaimana tercantum dalam Lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Keputusan Rektor ini.
- KEDUA : Dalam melaksanakan tugasnya sebagai Penerima Penelitian Kompetitif LPPM Skema Penelitian Pengembangan Prototipe Industri Universitas Negeri Surabaya Dana PNBP Tahun 2021, wajib berpedoman pada ketentuan yang berlaku.
- KETIGA : Keputusan Rektor ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan sampai dengan 30 November 2021.

Ditetapkan di Surabaya
 Pada tanggal 23 Juni 2021
 REKTOR UNIVERSITAS NEGERI
 SURABAYA,

ttd

NURHASAN
 NIP 196304291990021001



Salinan sesuai dengan aslinya
 Kepala Biro Umum dan Keuangan,

SULAKSONO
 NIP 196504091987011001

Rincian Realisasi Biaya Non-PBB UPR Menu Realisasi Pelaksanaan Kegiatan
 Tahun 2021/2022

No	Indikator	Program/Manfaat	Judul	Revisi/No. Revisi	MSR	Ind.	Prod.	LJP	Angka Rata-Rata	Skor Rata-Rata	Pencapaian 50%	Pencapaian 80%
1	Indikator Teknik	01. Teknik Manufaktur	1. Mengembangkan Sistem Kontrol Otomatis pada Mesin Bubut dengan menggunakan PLC	001/2021/2022	2021	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2	Indikator Teknik	01. Pendidikan Teknik Manufaktur	2. Pengaruh Penggunaan Material Terhadap Kualitas Produk	002/2021/2022	2021	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
3	Indikator Teknik	01. Pendidikan Teknik Manufaktur	3. Analisis Dampak Lingkungan dari Penggunaan Mesin Bubut	003/2021/2022	2021	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
4	Indikator Teknik	01. Teknik Manufaktur	4. Perancangan Sistem Kontrol Otomatis pada Mesin Bubut dengan menggunakan PLC	004/2021/2022	2021	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
5	Indikator Teknik	01. Teknik Manufaktur	5. Perancangan Sistem Kontrol Otomatis pada Mesin Bubut dengan menggunakan PLC	005/2021/2022	2021	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
6	Indikator Teknik	01. Teknik Manufaktur	6. Perancangan Sistem Kontrol Otomatis pada Mesin Bubut dengan menggunakan PLC	006/2021/2022	2021	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
7	Indikator Teknik	01. Teknik Manufaktur	7. Perancangan Sistem Kontrol Otomatis pada Mesin Bubut dengan menggunakan PLC	007/2021/2022	2021	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
8	Indikator Teknik	01. Teknik Manufaktur	8. Perancangan Sistem Kontrol Otomatis pada Mesin Bubut dengan menggunakan PLC	008/2021/2022	2021	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
9	Indikator Teknik	01. Teknik Manufaktur	9. Perancangan Sistem Kontrol Otomatis pada Mesin Bubut dengan menggunakan PLC	009/2021/2022	2021	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
10	Indikator Teknik	01. Teknik Manufaktur	10. Perancangan Sistem Kontrol Otomatis pada Mesin Bubut dengan menggunakan PLC	010/2021/2022	2021	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
11	Indikator Teknik	01. Teknik Manufaktur	11. Perancangan Sistem Kontrol Otomatis pada Mesin Bubut dengan menggunakan PLC	011/2021/2022	2021	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Total									100%	100%	100%	100%

Widyaiswara/Ketua Fakultas Industri
 Universitas Sriwijaya
 Surakarta

Ditandatangani di Surakarta
 Pada tanggal 02 Juni 2022
 DEKLAN UNIVERSITAS SRIWIJAYA
 SURABAYA

202

DEKLAN
 NIP. 061011109012021