

**KARAKTERISASI SISTEM *EXHAUST SILENCER* PADA
SEPEDA MOTOR BERDASARKAN PENGUKURAN
KONSENTRASI $PM_{2,5}$**

SKRIPSI

oleh:

Buyung Wisma Pribadi

135090801111014



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2019

**KARAKTERISASI SISTEM *EXHAUST SILENCER* PADA
SEPEDA MOTOR BERDASARKAN PENGUKURAN
KONSENTRASI $PM_{2,5}$**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

oleh:

Buyung Wisma Pribadi
135090801111014



JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG

2019

Halaman ini sengaja dibiarkan kosong.

Halaman ini sengaja dikosongkan

[illegible]

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**KARAKTERISASI SISTEM *EXHAUST SILENCER* PADA
SEPEDA MOTOR BERDASARKAN PENGUKURAN
KONSENTRASI PM_{2,5}**

Oleh :

BUYUNG WISMA PRIBADI
135090801111014

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji

Pada tanggal.....

Dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Sains dalam bidang fisika

PROGRAM STUDI: S1 INSTRUMENTASI

Malang, 20 Januari 2019

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. Arinto Y.P.W.,M.Sc.,Ph.D.

NIP. 19640702 198903 1 001

Dr. Sunaryo,S.Si.,M.Si

NIP. 196712281994121001

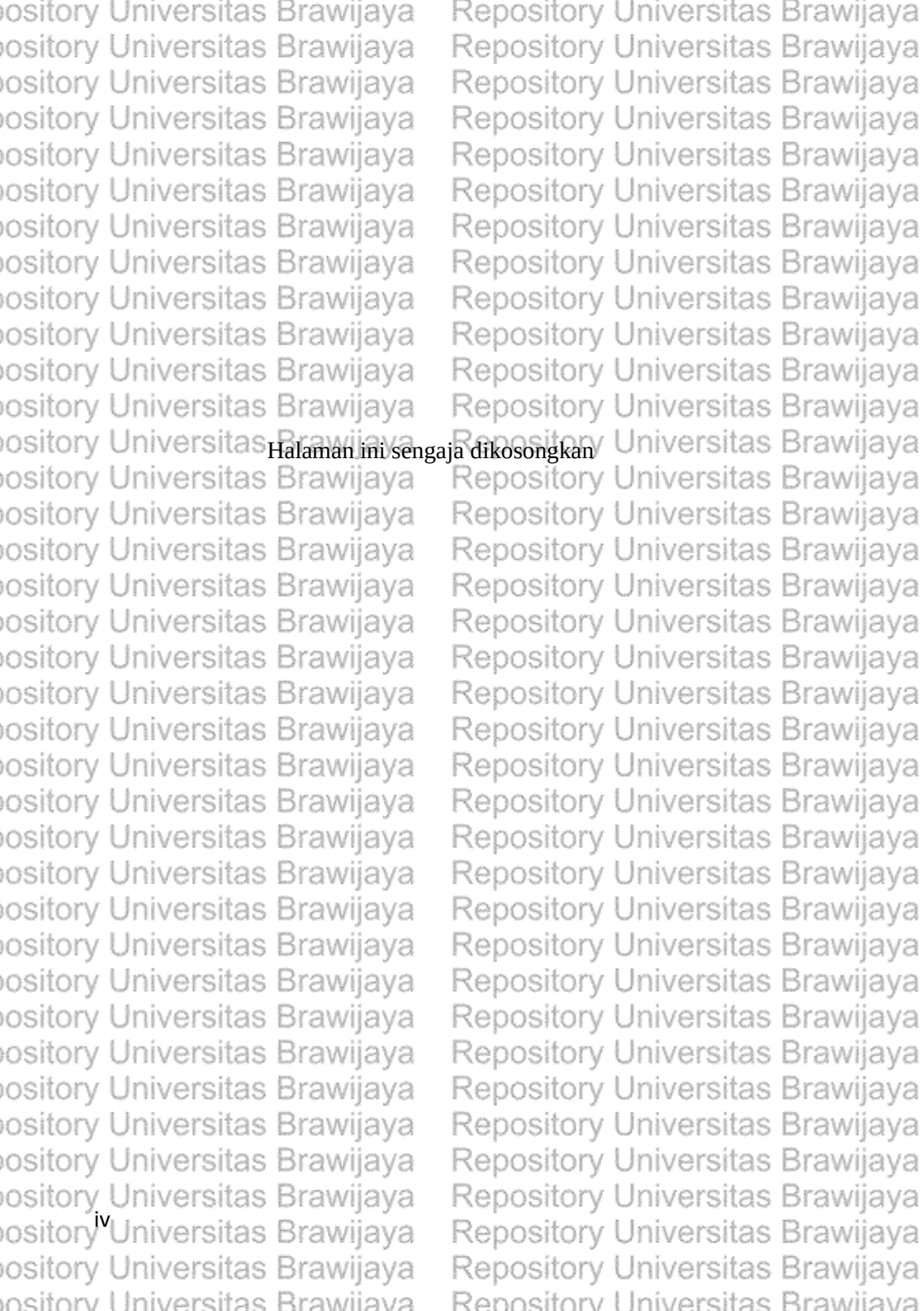
Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika

Fakultas Mipa Universitas Brawijaya

Prof.Dr.Rer.Nat.Muhammad Nurhuda

NIP. 196409101990021001



Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : **BUYUNG WISMA PRIBADI**

NIM : **135090801111014**

Jurusan : **Fisika**

Penulis Skripsi berjudul :

“Karakterisasi Sistem *Exhaust Silencer* Pada Sepeda Motor
Berdasarkan Pengukuran Konsentrasi $PM_{2.5}$ ”

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Nama-nama yang termaksud di isi dan tertulis di daftar pustaka digunakan sebagai referensi pendukung dalam skripsi ini.
2. Apabila di kemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang,.....

Yang menyatakan,

Buyung Wisma Pribadi

135090801111014

The image shows a large, light gray watermark text 'Repository Universitas Brawijaya' repeated diagonally across the entire page. The text is oriented from the bottom-left towards the top-right. In the center of the page, there is a black rectangular box containing the white text 'Halaman ini sengaja dikosongkan'.

Karakterisasi Sistem Exhaust Silencer Pada Sepeda Motor Berdasarkan Pengukuran Konsentrasi PM_{2.5}

ABSTRAK

Polusi udara yang bersumber dari aktivitas manusia merupakan sumber polusi yang banyak terjadi, yaitu aktivitas transportasi dari kendaraan bermotor. Emisi dari pembakaran yang terkandung dalam kendaraan bermotor menyebabkan berbagai masalah atau ancaman terhadap kesehatan dan lingkungan mereka. Sistem pembuangan memiliki desain yang berbeda dalam mengurangi emisi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh desain varian exhaust terhadap konsentrasi PM_{2.5}. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang di ruang konstruksi knalpot mempengaruhi konsentrasi PM_{2.5} dengan dipengaruhi oleh faktor aliran gas, suhu, konstruksi knalpot, dan panjang knalpot.

Kata kunci : Pencemaran udara, Emisi, Konsentrasi PM_{2.5}

Characterization of Exhaust Silencer System on Motorbikes Based on Measurement of PM_{2.5} Concentration

ABSTRACT

Air pollution sourced from human activities is a source of pollution that occurs a lot, namely transportation activities from motorized vehicles. The Emissions from combustion contained in motorized vehicles cause various problems or threats to their health and environment. Exhaust system has the design different in reducing emissions. This study aims to get an influence of the exhaust variant design to the PM_{2.5} concentration. The results shows that the length in the exhaust construction space affectes the PM_{2.5} concentration by being influenced by gas flow factors, temperature, exhaust construction, and exhaust length.

Keyword: Air pollution, emissions, PM_{2.5} concentration



Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, Tuhan semesta alam karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “Karakterisasi Emisi PM_{2,5} Dari Knalpot Kendaraan Bermotor”. Segenap dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan banyak ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Brawijaya.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Kedua Orang Tua saya atas segala inspirasi, doa, nasihat dan dukungannya yang selalu mendampingi saya menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. rer. Nat. M.Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang
3. Bapak Drs. Arinto Yudi P. W, M.Sc.,Ph.D, selaku dosen pembimbing I atas arahan, motivasi, nasihat, bimbingan serta waktu yang telah diberikan.
4. Bapak Dr. Sunaryo,S.Si.,M.Si. selaku dosen pembimbing II atas arahan, motivasi, nasihat, bimbingan serta waktu yang telah diberikan.
5. Arif Budianto, S.Si., M.Si, Eko Teguh S.Si dan Mia Anggun,S.Si atas motivasi, inspirasi, nasihat, bimbingan, dan bantuannya.
6. Kedua kakak penulis (Rahmad) dan (Fajar) yang selalu mendukung, memberi perhatian, doa, dorongan, dan kasih sayang yang berlimpah.
7. Segenap dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan banyak ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Brawijaya.
8. Bapak dan Ibu staf Tata Usaha, laboran, dan karyawan Jurusan Fisika Universitas Brawijaya atas segala bantuannya.
9. Muhammad rijal Ahmadi, Ikhta,Susan sebagai partner serta satu bimbingan dengan penulis.
10. Tri Dewi Eindrias,S.AB yang telah memberikan semangat mengejarkan dan nasihat.
11. Para sahabat penulis,B-19 dan yang selalu memberikan semangat kebersamaan dan dorongan.

12. Teman-teman Instrumentasi Jurusan Fisika Universitas Para sahabat penulis,B-19 dan yang selalu memberikan semangat kebersamaan dan dorongan.
13. Teman-teman Instrumentasi Jurusan Fisika Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2013, terima kasih atas kebersamaan dan kekompakan selama ini, semoga terus terjalin dan kesuksesan selalu menyelimuti kita semua.
14. Semua pihak yang telah membantu selama penelitian hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis juga mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini banyak melakukan kesalahan yang disengaja maupun yang tidak disengaja. Oleh karena itu, kritik dan saran demi penyempurnaan Tugas Akhir ini sangat penulis harapkan. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
2.1 Rumusan Masalah	3
2.2 Batasan Masalah	3
2.3 Tujuan Penelitian	3
2.4 Manfaat penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Udara	5
2.1.1 Polusi udara	6
2.2 Dampak Emisi PM	10
2.3 Proses Pembakaran Sepeda Motor	11
2.4 Sistem Pembuangan Emisi Sepeda Motor	12
2.5 Kanomax Digital Dust Monitor 3443	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Diagram Alur Penelitian	16
3.3.1 Studi Literatur	17
3.3.2 Pengukuran Suhu	17
3.3.3 Pengukuran konsentrasi PM _{2,5}	20
3.4 Analisis Data	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Konstruksi Knalpot	25
4.2 Konsentrasi Emisi PM _{2,5}	28
4.3 Pembahasan	36
BAB V PENUTUP	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	47

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2.1 SISTEM PEMBAKARAN PADA SEPEDA MOTOR	11
GAMBAR 2.2 <i>MUFFLER REACTIVE</i>	13
GAMBAR 2.3 <i>ABSORPTIVE MUFFLER</i>	13
GAMBAR 2.4 KANOMAX DIGITAL DUST MONITOR 3443.....	14
GAMBAR 3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN	16
GAMBAR 3.2 SKEMA KNALPOT 1	17
GAMBAR 3.3 SKEMA KNALPOT 2	18
GAMBAR 4.1 KONSTRUKSI DALAM KNALPOT 1	25
GAMBAR 4.2 KONSTRUKSI DALAM KNALPOT 2	26
GAMBAR 4.3 KONSTRUKSI DALAM KNALPOT 3	26
GAMBAR 4.4 KONSTRUKSI DALAM KNALPOT 4	27
GAMBAR 4.5 KONSTRUKSI DALAM KNALPOT 5	27
GAMBAR 4.6 KONSENTRASI EMISI PM _{2,5} PADA KNALPOT 1	28
GAMBAR 4.7 KONSENTRASI EMISI PM _{2,5} PADA KNALPOT 2	29
GAMBAR 4.8 KONSENTRASI EMISI PM _{2,5} PADA KNALPOT 3	30
GAMBAR 4.9 KONSENTRASI EMISI PM _{2,5} PADA KNALPOT 4	31
GAMBAR 4.10 KONSENTRASI EMISI PM _{2,5} PADA KNALPOT 5	32
GAMBAR 4.11 GRAFIK KONSENTRASI PM _{2,5}	33
GAMBAR 4.12 PENGURANGAN KONSENTRASI PM _{2,5} TERHADAP WAKTU.....	34
GAMBAR 4.13 HUBUNGAN ANTARA TEMPERATUR INPUT DENGAN PENGURANGAN KONSENTRASI PM _{2,5}	39

DAFTAR TABEL

TABEL 2.1 KOMPOSISI UDARA.....	5
TABEL 2.2 KENAIKANKARBON TAHUN 1970-2004.....	6
TABEL 2.3 KANDUNGAN PM2.5 DI UDARA.....	8
TABEL 4.1 VARIASI JENIS KNALPOT.....	15

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 KONSENTRASI $PM_{2,5}$ TANPA KNALPOT.....	47
LAMPIRAN 2 KONSENTRASI $PM_{2,5}$ KNALPOT 1	48
LAMPIRAN 3 KONSENTRASI $PM_{2,5}$ KNALPOT 2	48
LAMPIRAN 4 KONSENTRASI $PM_{2,5}$ KNALPOT 3	50
LAMPIRAN 5 KONSENTRASI $PM_{2,5}$ KNALPOT 4	51
LAMPIRAN 6 KONSENTRASI $PM_{2,5}$ KNALPOT 5	52
LAMPIRAN 7 KONSENTRASI RATA-RATA $PM_{2,5}$ TIAP KNALPOT	53
LAMPIRAN 8 EFISIENSI $PM_{2,5}$ PADA TIAP-TIAP KNALPOT	55
LAMPIRAN 9 DATA TEMPERATUR	57

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Udara adalah campuran beberapa gas yang terkandung pada atmosfer bumi. Di dalam udara terkandung nitrogen (78%), oksigen (21%), argon (0,93%), karbon dioksida (0,03%), beberapa senyawa lain yang kandungannya sangat sedikit seperti neon, helium, krypton, xenon, ozon, hidrogen dan senyawa lainnya. Udara dapat dikatakan murni ketika udara tersebut tidak mengandung senyawa-senyawa yang dapat mengganggu kesehatan manusia atau hewan, merusak tanaman dan berbau tidak sedap. Pencemaran udara ditandai dengan adanya kontaminan di ruang terbuka dengan konsentrasi dan durasi yang sedemikian rupa, sehingga mengakibatkan gangguan merugikan atau berpotensi merugikan kesehatan manusia dan lingkungan. Kontaminan tersebut dapat bersumber secara alamiah (natural) maupun akibat kegiatan manusia (antropogenik). Pencemaran udara yang bersumber dari kegiatan manusia menjadi sumber pencemaran yang banyak terjadi. Salah satu kegiatan manusia yang menjadi sumber dari pencemaran udara yang cukup besar adalah aktivitas transportasi dari kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor yang digunakan sehari-hari guna mendukung mobilitas masyarakat dalam segala bentuk aktifitas ternyata tidak sepenuhnya menjanjikan harapan yang positif. Emisi yang dihasilkan dari pembakaran yang terdapat pada kendaraan bermotor menimbulkan berbagai masalah atau ancaman bagi kesehatan dan lingkungannya. (Suhariyono dan Wiyono, 2011).

Emisi kendaraan bermotor adalah hasil pembakaran bahan bakar fosil, diesel, dan bahan bakar alternatif yang terdapat pada mesin kendaraan bermotor menghasilkan berbagai jenis zat berupa gas dan partikulat yang dapat menurunkan kualitas udara dan kesehatan. Gas yang dihasilkan dari pembakaran mesin antara lain karbondioksida (CO_2), karbonmonoksida (CO), nitrogenoksida (NO_x), sulfurdioksida (SO_2), dan hidrokarbon (HC). Selain itu, juga terdapat zat padat atau cair yang tersuspensi di udara atau disebut juga dengan *particulate matter* (PM). PM merupakan campuran padatan atau liquid yang tersuspensi diudara. Ukuran yang terdapat pada PM yakni nanometer hingga mikrometer. PM dapat berasal dari emisi yang ditimbulkan oleh

proses industri, sistem pembukaran kendaraan bermotor, asap dari pembakaran pertanian, debu, dan penggundulan hutan. $PM_{2,5}$ merupakan partikulat yang memiliki ukuran diameter dari 0,1 hingga 2,5 μg .

$PM_{2,5}$ memiliki dampak berbahaya bagi kesehatan terutama kelompok rentan seperti bayi, anak-anak, ibu hamil dan lanjut usia. Penyakit yang dapat terjadi akibat $PM_{2,5}$ yang tinggi ini antara lain stroke, penyakit jantung, infeksi saluran pernapasan, kanker dan penyakit paru kronis. Khusus untuk penyakit pernapasan, $PM_{2,5}$ menjadi partikel yang dapat memperparah dengan lebih cepat sebab dapat mengendap pada saluran pernafasan daerah bronki dan alveoli. $PM_{2,5}$ tidak dapat disaring oleh sistem pernapasan bagian atas dan menempel pada gelembung paru, sehingga dapat menurunkan kemampuan paru-paru dalam pertukaran gas. $PM_{2,5}$ menjadi partikel udara paling mematikan bagi manusia secara pelan-pelan tanpa korban sadari. $PM_{2,5}$ yang menumpuk di paru-paru dan organ lain bisa menyebabkan munculnya penyakit pernapasan, asma, hingga penyakit jantung. $PM_{2,5}$ juga ampuh untuk membuat penyakit-penyakit tersebut makin parah hingga bisa memicu kematian dini (Shakya dkk., 2017).

Sistem pembuangan emisi kendaraan bermotor adalah saluran yang berfungsi membuang emisi hasil pembakaran sangat panas yang terdapat dalam silinder ke atmosfer. Knalpot merupakan media pembuangan gas buang, dimana pipa pembuangan diharapkan mampu membawa semua sisa gas hasil pembakaran dari ruang bakar kelungkungan, gas buang keluar dari ruang pembakaran melalui sebuah pipa menuju *exhaust manifold*, *catalytic converter*, dan *muffler*. *Muffler*/knalpot adalah sistem pembuangan yang juga berfungsi untuk meredam kebisingan, baik itu sepeda motor, mobil maupun kendaraan lainnya. Sistem pembuangan dirancang sedemikian rupa diharapkan mampu meredam kebisingan yang begitu keras yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor. Dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 07 Tahun 2009 disebutkan bahwa batas maksimal kebisingan motor bermesin dibawah 80 cc adalah 80 desibel (dB) dan motor bermesin 80 – 175 cc maksimal 90 dB. Sedangkan untuk yang bermesin diatas 175 cc kebisingan tidak boleh lebih dari 90 dB. Salah satu faktor penyebab kebisingan dan emisi gas buang tersebut terletak pada jenis aliran *silencer* yang terdapat pada *muffler*, karena banyak sekali beredar di pasar knalpot yang tidak

memikirkan tentang emisi yang dihasilkan. Menurut penelitian diketahui bahwa Jenis aliran *silencer* pada *muffler* sangat berpengaruh pada emisi suara dan gas buang yang dihasilkan oleh *muffler* dimana semakin panjang dan luas aliran yang dilalui gas buang maka kemampuan daya serap dari pada *muffler* tersebut terhadap suara dan gas buang pun semakin baik (Tarigan dkk., 2000).

Sistem pembuangan emisi kendaraan bermotor atau knalpot memiliki desain yang berbeda-beda yang memiliki karakteristik masing-masing dalam mengurangi emisi yang terdapat pada hasil pembakaran kendaraan bermotor. Hal tersebut melatar belakangi penelitian ini untuk menguji kinerja dari sitem pembuangan emisi kendaraan bermotor dalam mengurangi konsentrasi $PM_{2.5}$.

2.1 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui desain konstruksi lima sampel knalpot yang diuji?
2. Bagaimanakah konsentrasi $PM_{2.5}$ hasil emisi sepeda motor yang diuji oleh 5 varian knalpot yang berbeda?
3. Faktor apa saja yang mempengaruhi persentase pengurangan konsentrasi dari $PM_{2.5}$ dari beberapa knalpot tersebut?

2.2 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dalam penelitian ini digunakan knalpot standar yang diperoleh di pasaran.
2. Pengukuran hanya difokuskan pada $PM_{2.5}$.
3. Dalam penelitian ini digunakan lima jenis konstruksi knalpot pada satu jenis kendaraan.
4. Aspek mesin sepeda motor dalam ini diabaikan.

2.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan Penelitiann kali ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh sistem desain *exhaust* terhadap konsentrasi emisi $PM_{2.5}$ dari sepeda motor.

2. Mengetahui faktor apa saja yang mempengaruhi persentase pengurangan konsentrasi dari $PM_{2.5}$ dari beberapa varian knalpot.

2.4 Manfaat penelitian

Sehubungan dengan uraian yang ada di alat latar belakang penelitian di atas, maka manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi dari beberapa varian knalpot yang diuji dalam pada motor 110cc dan mengatasi permasalahan emisi gas buang yang ditimbulkan partikulat $PM_{2.5}$ terhadap lingkungan dan kesehatan manusia secara optimal dengan regulasi-regulasi dan kaidah/etik sosial yang berlaku.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Udara

Komposisi campuran gas dalam udara tidak selalu konstan. Komponen yang konsentrasinya paling bervariasi adalah air dalam bentuk uap dan karbon dioksida. Jumlah uap air yang terdapat di udara bervariasi tergantung dari cuaca dan temperatur. Untuk konsentrasi Karbon dioksida di udara selalu rendah, yaitu sekitar 0.03%. Karbon dioksida dapat naik jika ada proses-proses yang menghasilkan karbon dioksida seperti pembusukan sampah tanaman, pembakaran, atau di sekitar kumpulan massa manusia di dalam ruangan terbatas yaitu karena pernafasan (Lutgens, 2005).

Tabel 2.1 Komposisi udara

(Tan, 2014)

Komponen	Formula	Volume %	Ppm
Nitrogen	N ₂	78,08	780,840
Oksigen	O ₂	21,95	209,460
Argon	Ar	0,93	9,340
Karbondioksida	CO ₂	0,03	384
Neon	Ne	0,008	18,18
Helium	He	0,0005	5,24
Metana	CH ₄	0,0002	1,774
Kripton	Kr	0,0001	1,14

Bentuk standar dari udara dapat didefinisikan dengan udara kering yang di dapat disekitar laut, dimana temperatur dan tekanannya yaitu masing-masing 15 °C dan 101.325 Pa. Udara standar mengandung 78.08% Nitrogen, 20.95% Oksigen, 0.93% Argon, 0.0314% karbon dioksida dan beberapa gas lainnya dalam jumlah yang sedikit. Rasio tersebut dapat berubah sangat sedikit tergantung pada tempat dan waktu. Selain itu kelembaban dapat mempengaruhi udara menjadi terkandung uap air (Tan, 2014).

2.1.1 Polusi udara

Menurut Mudakavi (2010) segala kenaikan atau penurunan abnormal dari konsentrasi komponen yang normal di atmosfer bisa dikatakan sebagai polusi udara. Ini dapat terjadi oleh bertambahnya atau berkurangnya komponen normal dari udara atau dari masuknya substansi kimia yang tidak diinginkan. Beberapa polutan menghasilkan efek yang berbahaya bahkan pada level ppm (*parts per million*).

Tabel 2.2 Kenaikan karbon tahun 1970-2004

(Etheridge dkk, 2011)

Tahun Produksi	Karbon monoksida	Hidrokarbon	Nitrogen
Pre-1968	90.0	15.0	6.2
1970	34.0	4.1	-
1972	28.0	3.0	-
1973-74	28.0	3.0	3.1
1975-76	15.0	1.5	3.1
1977	15.0	1.5	2.0
1980	7.0	0.41	2.0
1981	3.4	0.41	1.0
1994-96	3.4	0.25	0.4
2004	1.7	0.125	0.2

Untuk klasifikasi polusi udara, ada dua kategori yaitu primer dan sekunder. Polusi udara primer berasal dari sumber yang dapat diidentifikasi dan polusi udara sekunder merupakan polusi yang dihasilkan dari dua atau lebih polusi primer dengan dipengaruhi oleh katalitik atau gaya temperatur dari reseptor yang sesuai seperti debu atau partikel asap. Untuk polusi udara primer, yaitu polutan yang mencakup 90% dari jumlah polutan udara dibedakan menjadi lima kelompok yaitu Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NOx), Hidrokarbon (HC), Sulfur Dioksida (SOx) dan partikel.

Pencemaran udara yang tertinggi di Indonesia adalah asap kendaraan bermotor lebih dari 70%. Pencemaran ini merupakan hasil emisi gas buang kendaraan bermotor. Tabel 2.2 menjelaskan tentang standarisasi dari uji emisi gas buang kendaraan yang dilakukan pemerintah Amerika pada tahun 1970 hingga tahun 2004.

2.1.1.a PM

Particulate Matter (PM) adalah salah satu polusi yang tersusun oleh partikel padat atau cairan yang sangat kecil dan dapat ditemukan di atmosfer. Partikel individual tidak dapat dilihat secara kasat mata, jika partikel tersebut terkumpul (bergabung) mereka dapat terlihat seperti jelaga hitam, awan debu atau kabut kusam. *Particulate Matter* dapat dihasilkan melalui proses alami (serbuk sari, bakteri, virus, jamur, ragi, tanah hasil erosi) atau melalui kegiatan manusia seperti penggunaan truk diesel, pembangkit listrik, pembakaran kayu dan proses industri.

Partikel kasar PM_{10} memiliki diameter aerodinamis sekitar $2.5\mu m$ hingga $10\mu m$. Mereka terbentuk dari gangguan mekanis (seperti penghancuran, penghalusan, abrasi dari suatu permukaan); evaporasi dari semprotan dan suspensi debu. PM_{10} tersusun atas aluminosilikat dan oksida dari unsur kerak dan sumber utama termasuk buangan debu dari jalan, industri, agrikultur, konstruksi dan pembongkaran, dan abu yang terbang dari pembakaran bahan bakar fosil. Usia dari PM_{10} adalah bisa dari menit hingga jam, dan ini bergerak dengan jarak yang bervariasi mulai $<1km$ hingga $10km$ (Fierro, 2001).

Partikel halus $PM_{2.5}$ tersusun umumnya berasal dari partikel hasil pembakaran dari kendaraan dan pembakaran dari batu bara, bahan bakar minyak, dan kayu, tapi juga mengandung partikel kerak dari debu jalan dan tanah yang tergerus. Dari (gambar 2.2) terdapat tingkatan $PM_{2.5}$ kategori baik sampai dalam kadar yang berbahaya.

Tabel 2.3 Kandungan PM2.5 di udara

Kategori ISPU	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Baik (0 – 50)	0 – 75	0 – 15
Sedang (51 – 100)	76 – 260	16 – 65
Tidak Sehat (101 – 200)	261 – 375	66 – 150
Sangat Tidak Sehat (200 – 300)	376 – 625	151 – 250
Berbahaya (>300)	>625	>251

(Laden dkk., 2000)

2.1.1.b Gas

Salah satu gas yang sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari yakni gas karbon monoksida. Karbon monoksida (CO) adalah gas tidak berbau, tidak berwarna, tidak berasa dan tidak mengiritasi. Gas Karbon monoksida merupakan bahan yang umum ditemui di industri. Gas ini merupakan hasil pembakaran tidak sempurna dari kendaraan bermotor, alat pemanas, peralatan yang menggunakan bahan api berbasis karbon dan nyala api (seperti tungku kayu), asap dari kereta api, pembakaran gas, asap tembakau. Namun sumber yang paling umum berupa residu pembakaran mesin. Banyak pembakaran yang menggunakan bahan bakar seperti alat pemanas dengan menggunakan minyak tanah, gas, kayu dan arang yaitu kompor, pemanas air, alat pembuangan hasil pembakaran dan lain-lain yang dapat menghasilkan karbon monoksida.

Pembuangan asap mobil mengandung 9% karbon monoksida. Pada daerah yang macet tingkat bahayanya cukup tinggi terhadap kasus keracunan. Asap rokok juga mengandung gas CO, pada orang dewasa yang tidak merokok biasanya terbentuk karboksi haemoglobin tidak lebih dari 1 % tetapi pada perokok yang berat biasanya lebih

tinggi yaitu 5 – 10 %. Pada wanita hamil yang merokok, kemungkinan dapat membahayakan janinnya. Asap rokok juga mengandung gas CO, pada orang dewasa yang tidak merokok biasanya terbentuk karboksi haemoglobin tidak lebih dari 1 % tetapi pada perokok yang berat biasanya lebih tinggi yaitu 5 – 10 %. Pada wanita hamil yang merokok, kemungkinan dapat membahayakan janinnya. Karbon monoksida tidak mengiritasi tetapi sangat berbahaya (beracun) maka gas CO dijuluki sebagai “silent killer” (pembunuh diam-diam). Keberadaan gas CO akan sangat berbahaya jika terhirup oleh manusia karena gas itu akan menggantikan posisi oksigen yang berkaitan dengan haemoglobin dalam darah. Gas CO akan mengalir ke dalam jantung, otak, serta organ vital. Ikatan antara CO dan haemoglobin membentuk karboksihaemoglobin yang jauh lebih kuat 200 kali dibandingkan dengan ikatan antara oksigen dan haemoglobin. Akibatnya sangat fatal.

Pertama, oksigen akan kalah bersaing dengan CO saat berikatan dengan molekul haemoglobin. Ini berarti kadar oksigen dalam darah akan berkurang. Padahal seperti diketahui oksigen sangat diperlukan oleh sel-sel dan jaringan tubuh untuk melakukan fungsi metabolisme. Kedua, gas CO akan menghambat kompleks oksidasi sitokrom. Hal ini menyebabkan respirasi intraseluler menjadi kurang efektif. Terakhir, CO dapat berikatan secara langsung dengan sel otot jantung dan tulang. Efek paling serius adalah terjadi keracunan secara langsung terhadap sel-sel tersebut, juga menyebabkan gangguan pada sistem saraf.

Bahaya utama terhadap kesehatan adalah mengakibatkan gangguan pada darah. Batas paparan karbon monoksida yang diperbolehkan oleh OSHA (Occupational Safety and Health Administration) adalah 35 ppm untuk waktu 8 jam/hari kerja, sedangkan yang diperbolehkan oleh ACGIH TLV-TWV adalah 25 ppm untuk waktu 8 jam. Kadar yang dianggap langsung berbahaya terhadap kehidupan atau kesehatan adalah 1500 ppm (0,15%). Paparan dari 1000 ppm (0,1%) selama beberapa menit dapat menyebabkan 50% kejenuhan dari karboksi hemoglobin dan dapat berakibat fatal.

Menurut (Manookar dkk.,2016) Keracunan gas karbon monoksida gejala didahului dengan sakit kepala, mual, muntah, rasa lelah, berkeringat banyak, pyrexia, pernafasan meningkat, confusion, gangguan penglihatan, kebingangan, hipotensi, takikardi, kehilangan kesadaran dan sakit dada mendadak juga dapat muncul pada orang

yang menderita nyeri dada. Kematian kemungkinan disebabkan karena sukar bernafas dan edema paru. Kematian akibat keracunan karbon monoksida disebabkan oleh kurangnya oksigen pada tingkat seluler (seluler hypoxia).

Sel darah tidak hanya mengikat oksigen melainkan juga gas lain. Kemampuan atau daya ikat ini berbeda untuk satu gas dengan gas lain. Sel darah merah mempunyai ikatan yang lebih kuat terhadap karbon monoksida (CO) dari pada oksigen (O_2). Sehingga kalau terdapat CO dan O_2 , sel darah merah akan cenderung berikatan dengan CO. Bila terhitup, karbon monoksida akan berikatan dengan Haemoglobin (Hb) dalam darah membentuk Karboksihemoglobin sehingga oksigen tidak dapat terbawa. Ini disebabkan karbon monoksida dapat mengikat 250 kali lebih cepat dari oksigen. Gas ini juga dapat mengganggu aktifitas seluler lainnya yaitu dengan mengganggu fungsi organ yang menggunakan sejumlah besar oksigen seperti otak dan jantung. Efek paling serius adalah terjadi keracunan secara langsung terhadap sel-sel otot jantung, juga menyebabkan gangguan pada sistem saraf.

2.2 Dampak Emisi PM

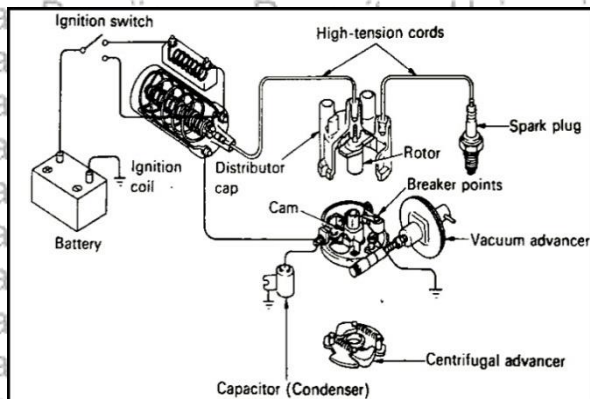
Dalam Efek kesehatan ukuran partikel secara langsung terkait dengan potensi mereka untuk menyebabkan masalah kesehatan. Partikel kecil berdiameter kurang dari 10 mikrometer menimbulkan masalah terbesar, karena mereka dapat masuk ke dalam paru-paru, beberapa bahkan mungkin masuk ke aliran darah. Paparan partikel semacam itu dapat memengaruhi paru-paru dan jantung Anda. Sejumlah penelitian ilmiah telah mengaitkan paparan polusi partikel dengan berbagai masalah, termasuk kematian dini pada orang dengan penyakit jantung atau paru-paru, serangan jantung nonfatal, detak jantung tak teratur, asma diperburuk, penurunan fungsi paru-paru, peningkatan gejala pernapasan, seperti iritasi saluran udara, batuk atau kesulitan bernapas.

Orang dengan penyakit jantung atau paru-paru, anak-anak, dan orang dewasa yang lebih tua adalah yang paling mungkin terkena paparan polusi partikel. Kerusakan visibilitas yang ditimbulkan oleh Partikel halus ($PM_{2.5}$) adalah penyebab utama berkurangnya jarak pandang (kabut) di beberapa bagian Amerika Serikat, termasuk banyak dari taman nasional dan kawasan hutan belantara kita yang berharga. Partikel dapat terbawa jarak jauh oleh angin dan kemudian

menetap di tanah atau air. Tergantung pada komposisi kimianya, efek dari pengendapan ini dapat meliputi membuat danau dan mengalirkan air asam, mengubah keseimbangan gizi di perairan pantai dan cekungan sungai besar, menghabiskan nutrisi di dalam tanah, merusak hutan sensitif dan tanaman pertanian, mempengaruhi keragaman ekosistem dan berkontribusi terhadap efek hujan asam.

2.3 Proses Pembakaran Sepeda Motor

Proses pembakaran pada Sepeda motor (Gambar 2.1) terjadi setelah bahan bakar dan udara yang bercampur oleh sistem aliran udara akibat langkah hisap (pengisian) pada sistem bahan bakar menggunakan karburator, sedangkan pada sistem injeksi, bensin menyalurkan dengan informasi yang diterima sebelumnya dari beberapa sensor sehingga jumlah bahan bakar yang diperlukan lebih proporsional. Bahan bakar dan udara yang tercampur secara homogen akibat *turbulensi* dan gesekan udara pada ruang silinder saat langkah kompresi dan berubah wujud menjadi gas yang siap untuk dibakar. Pembakaran terjadi karena penyulutan (*spark*) oleh busi dari kerja sistem pengapian dan diatur sedemikian rupa waktu penyalan dan pembakaran ini menghasilkan *explorasi* yang besar menekan piston ke bawah. Gaya tersebut akan tersimpan pada roda gaya untuk melakukan langkah berikutnya dan tenaga yang dihasilkan untuk memikul beban kendaraan. (Kwon dkk.,2015)



Gambar 2.0.1 Sistem pembakaran pada sepeda motor (Amin dkk.,2007)

2.4 Sistem Pembuangan Emisi Sepeda Motor

Sistem pembuangan merupakan saluran untuk membuang sisa hasil pembakaran pada mesin pembakaran dalam. Sistem pembuangan terdiri dari beberapa komponen, minimal terdiri dari satu pipa pembuangan yang di Indonesia dikenal juga sebagai knalpot yang diadopsi dari bahasa Belanda yaitu saringan suara. Emisi sepeda motor keluar disalurkan melalui knalpot ke udara luar. Bagian dalam knalpot dikonstruksi sedemikian rupa sehingga di samping menampungemisi, knalpot juga dapat meredam suara (*silencer*). Biasanya panjang dan diameter knalpot sudah tertentu sehingga jika dilakukan perubahan (modifikasi) akan mempengaruhi kemampuan sepeda motor. Konstruksi knalpot tidak boleh (dilarang) untuk dirubah, dilubangi ataupun dicopot. Perubahan ini merupakan pelanggaran hukum dan pelakunya dapat dituntut (Budiyono A.,2008).

Knalpot adalah suatu komponen pada sepeda motor yang memiliki fungsi untuk peredam hasil ledakan di ruang bakar. Ledakan pembakaran campuran bahan bakar dan udara berlangsung begitu cepat di ruang bakar. Ledakan ini menimbulkan suara yang sangat bising. Untuk meredam suara gas sisa hasil pembakaran yang keluar dari klep buang tidak langsung dilepas ke udara terbuka. Gas buang disalurkan terlebih dahulu ke dalam peredam suara atau *muffler* di dalam knalpot (Lilly, 2008).

Ditinjau dari mekanisme kerjanya, maka *muffler* dibedakan menjadi tiga jenis yaitu *reactive muffler*, *absorptive muffler* dan *combination muffler*.

1. *Reactive muffler*

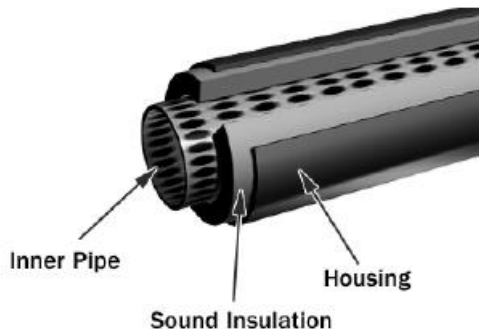
Reactive muffler biasanya terdiri dari beberapa segmen pipa yang tersambung dengan sejumlah ruang. Konstruksi yang demikian menyebabkan terbentuk sejumlah antarmuka di dalam *muffler* yang mana masing-masing segmen di kedua sisi antarmuka memiliki nilai impedansi yang berbeda. Keadaan ini menyebabkan terjadinya pemantulan yang berulang-ulang sehingga fraksi energi gelombang yang diteruskan semakin berkurang.



Gambar 2.0.2 Muffler reactive (Singh,2015)

2. Absorptive muffler

Absorptive muffler terdiri atas material penyerap yang berserat dan berpori dimana dapat menurunkan level kebisingan dengan mengubah energi bunyi menjadi energi panas yang disebabkan adanya gesekan antara gas yang berisolasi dengan material penyerap bunyi. Semakin berserat suatu material penyerap maka semakin bagus kualitas penyerapannya. *Absorptive muffler* biasanya mempunyai karakteristik bentang daerah reduksi suara pada frekuensi tengah dan frekuensi tinggi. *Absorptive muffler* sering digunakan untuk menurunkan masukan bising pada mesin atau tambahan *reactive muffler* untuk pengontrol bising mesin.



Gambar 2.0.3 Absorptive muffler (Löndahl dkk.,2007)

3. Combination muffler

Beberapa *muffler* mengkombinasikan unsur *reactive* dan *absorptive* untuk memperluas bentang serapan bising pada

spektrumnya. *Combinatoin muffler* juga umum digunakan untuk mereduksi bising dari mesin (Löndahl dkk., 2007).

2.5 Kanomax Digital Dust Monitor 3443

Digital Dust Monitor (Kanomax Inc., Model 3443) merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi debu atau partikulat secara akurat. Alat ini (Gambar 2.4) dapat mengukur konsentrasi dari partikulat seperti debu, uap dan asap.



Gambar 2.0.4 Kanomax Digital Dust Monitor 3443

Alat ini dapat mengukur partikulat yang berukuran 0.1 hingga 10 μm . *Range* pengukuran dari Kanomax *Dust Monitor* 3443 berkisar antara 0.001-10.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan tingkat akurasi sekitar $\pm 10\%$ dari pembacaan. *Interface* yang digunakan untuk alat ukur ini yaitu USB sehingga dapat memudahkan untuk pengiriman data hasil pengukuran ke laptop maupun komputer. Kanomax *Dust Monitor* 3443 dapat bekerja menggunakan sumber tegangan berupa AC 100-240 V atau menggunakan 6 buah baterai ukuran AA. Keluaran dari alat ini dapat ditampilkan secara analog maupun digital.

Untuk penggunaan Kanomax *Dust Monitor* 3443 cukup mudah. Yaitu dengan menghubungkan selang berukuran 1/4 inch ke *port* yang sudah disediakan. Lalu tekan tombol Start maka alat ini akan langsung melakukan *sampling data* pengukuran sesuai dengan *time sampling* yang sudah diatur. Saat melakukan pengukuran, alat ini tidak boleh dipaparkan langsung ke sinar matahari karena dapat merusak alat ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November sampai dengan bulan Maret 2018 di Laboratory of Air Quality and Astro Imaging dan Laboratorium Fisika Dasar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah lima buah knalpot sepeda motor dengan berbagai jenis tipe motor yang berbeda, yaitu knalpot sepeda motor M1, M2, M3, M4, & M5. Sedangkan alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Kanomax *Dust Monitor* 3443, termometer digital dengan sensor jenis termokopel (tipe-K), kunci L, kunci Ring, multimeter digital, dan sepeda motor.

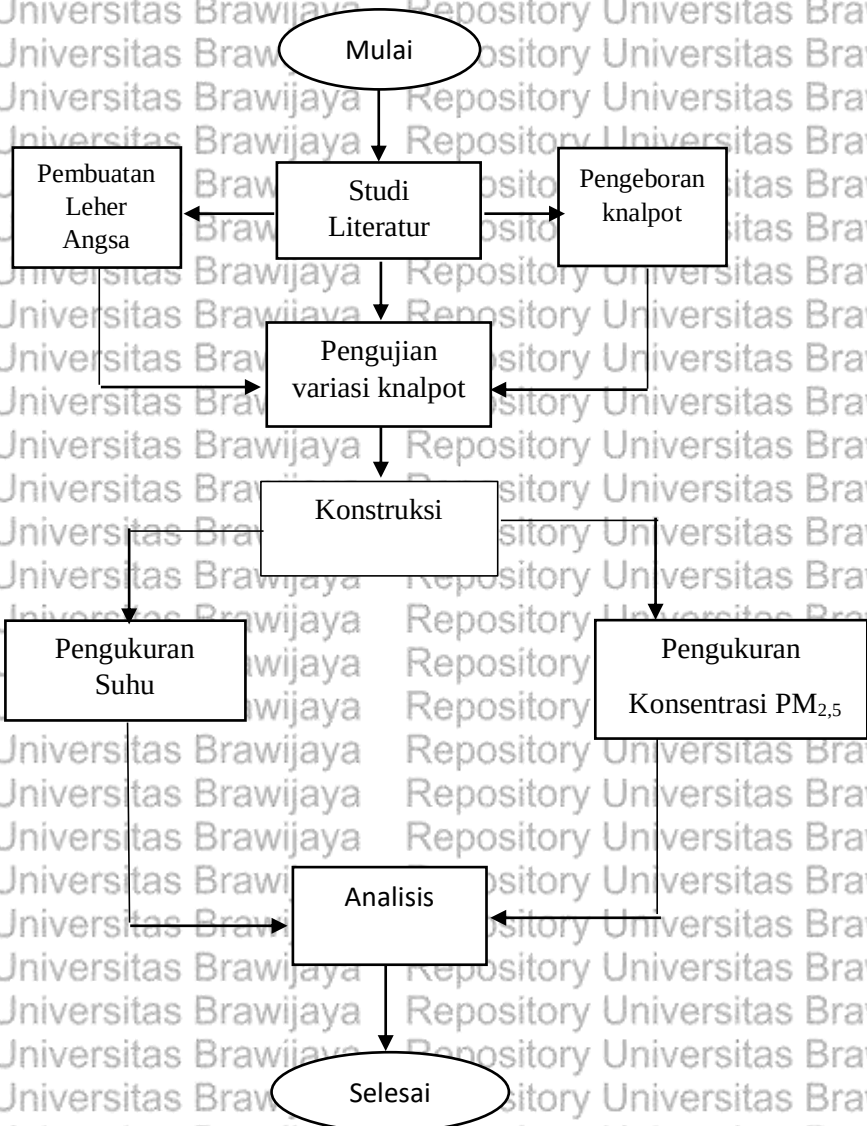
Tabel 4.1 Variasi Jenis Knalpot

Tipe Knalpot	Bahan Knalpot
Knalpot 1	Stainless
Knalpot 2	Stainless
Knalpot 3	Besi
Knalpot 4	Stainless
Knalpot 5	Besi

Adapun Knalpot yang digunakan pada penelitian ini adalah knalpot yang sudah dimodifikasi dengan cara dibor pada tiga bagian, yang akan dipasang termokopel digital agar suhu yang berada di masing-masing ruangan knalpot bisa diamati. Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan satu jenis motor, namun dengan sampel knalpot yang berbeda-beda.

3.3 Diagram Alur Penelitian

Adapun alur penelitian disajikan pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.0.1 Diagram alir penelitian

3.3.1 Studi Literatur

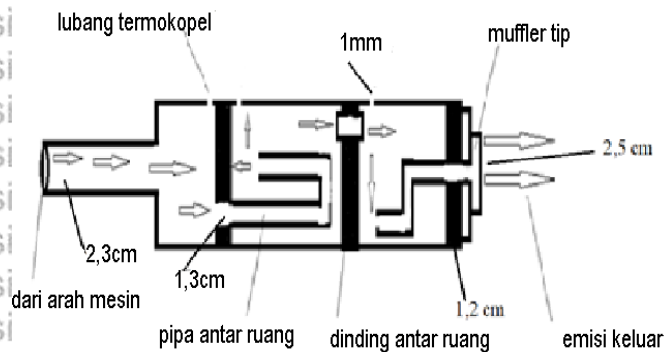
Pada penelitian ini studi literatur yang dipelajari penulis adalah mengenai $PM_{2.5}$. Setelah itu penulis mencari literatur mengenai konsep filter knalpot pada kendaraan bermotor dan juga proses terjadinya pembakaran di dalam mesin sepeda motor. Penulis juga mencari literatur yang berhubungan dengan bahan-bahan yang akan diuji yaitu bahan Stainlees, Besi, Galvanis, dan Carbon.

3.3.2 Pengukuran Suhu

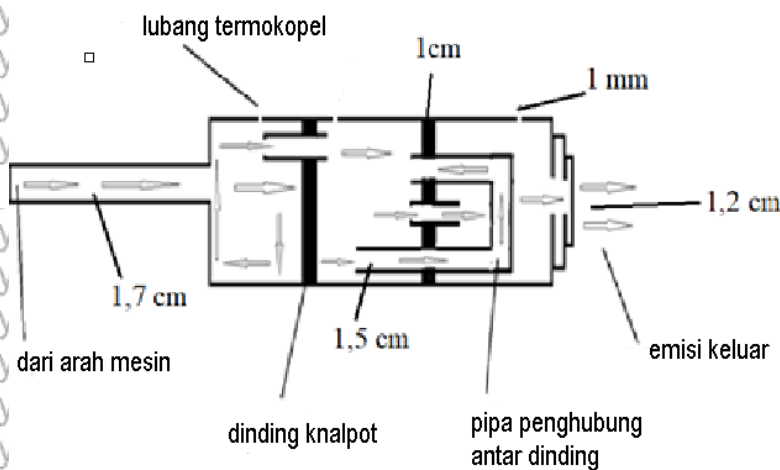
Pada tahap ini knalpot divariasi dengan cara membuat leher angsa yang sesuai dengan lima knalpot yang akan diuji. Selanjutnya knalpot dimodifikasi beberapa bagian dengan cara mengebor permukaan masing-masing knalpot agar dapat dipasang termokopel. Adapun langkah nya sebagai berikut:

a). Pengeboran Knalpot

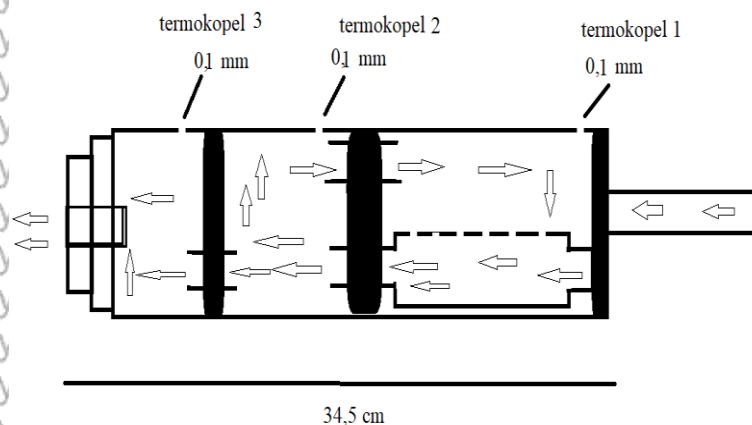
Sebelum knalpot dipasang ke sepeda motor (Gambar 3.2). Knalpot dibor terlebih dahulu pada tiga bagian (*block*). Masing-masing lubang berdiameter sekitar 1mm. Pada proses pengeboran ini lubang harus sejajar dengan pipa filter yang ada di dalam *block* knalpot, karena nantinya lubang tersebut akan diberi termokopel digital (Gambar 3.3). Ini dilakukan agar hasil dari pengamatan suhu yang diterima termokopel lebih akurat.



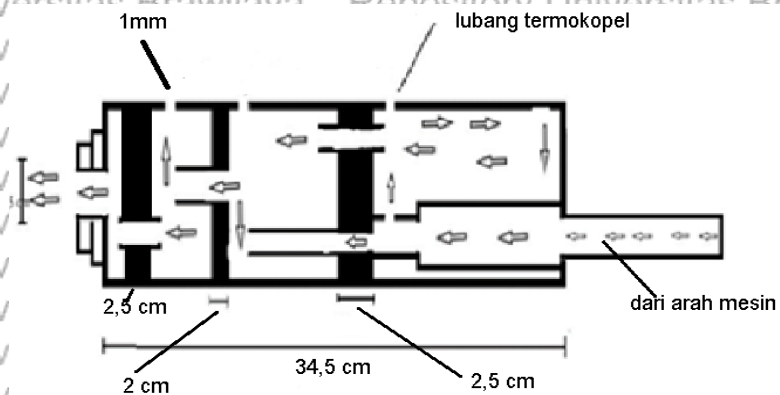
Gambar 3.0.2 Skema knalpot 1



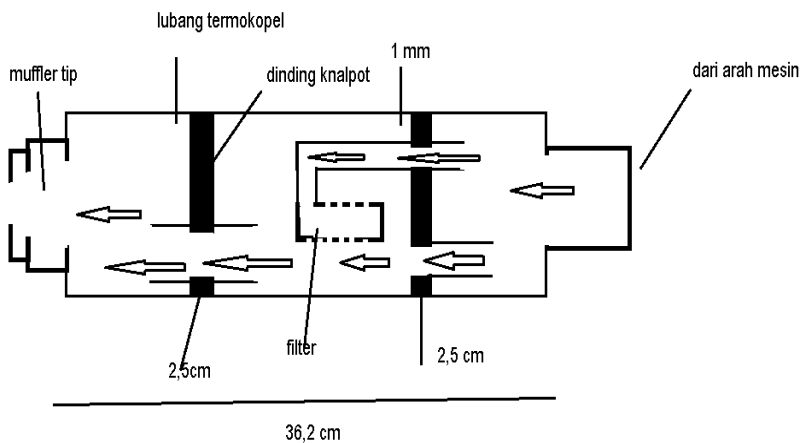
Gambar 3.0.3 Skema knalpot 2



Gambar 3.4 Skema knalpot 3



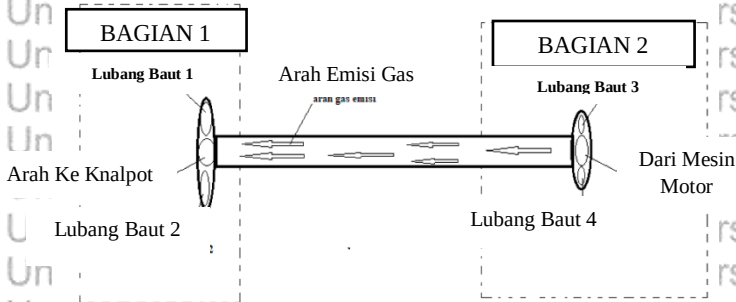
Gambar 3.5 Skema Knalpot 4



Gambar 3.6 Skema Knalpot 5

b). Pembuatan Leher Angsa

Pada tahap ini leher angsa dibuat sesuai dengan ukuran masing-masing knalpot sepeda motor (Gambar 3.4). Ini dikarenakan pada penelitian hanya memakai kendaraan bermotor satu jenis saja, maka dari itu salah satu bagian leher angsa harus disesuaikan ukurannya agar bisa digunakan untuk semua tipe knalpot.

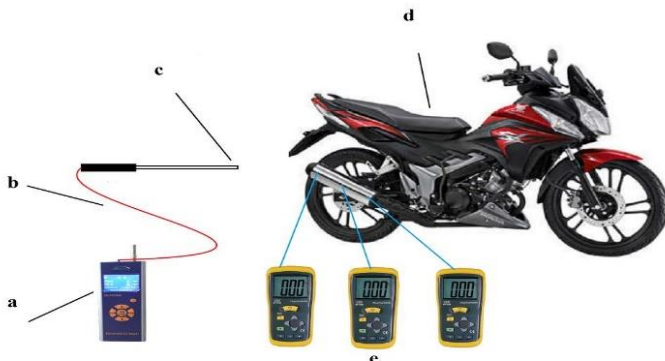


Gambar 3.7 Skema leher angsa

Pada leher angsa bagian I ukuran baut dibuat seperti ukuran pada sepeda motor yang digunakan sebagai sumber emisi yaitu 10 mm. Sedangkan pada bagian II lubang baut dibuat sedikit lebih panjang dan lebar agar baut dari 5 jenis knalpot bisa terpasang dengan baik.

3.3.3 Pengukuran konsentrasi $PM_{2.5}$

Langkah pertama yang dilakukan pada saat pengambilan data adalah knalpot yang akan diuji dipasang terlebih dahulu ke sepeda motor. Selanjutnya sensor termokopel digital dikalibrasi terlebih dahulu untuk mendapatkan hasil data yang akurat. Setelah itu suhu lingkungan dicatat sebagai data ($T_{ambient}$). Termokopel dipasang pada bagian knalpot yang masing-masing lubangnya sudah dibor terlebih dahulu. Data dari termokopel yang sudah terpasang di knalpot motor diamati sebagai data (T_0). Selanjutnya alat pengukur *Particulate Matter* ($PM_{2.5}$) dengan tipe Kanomax *Dust Monitor* 3443 dihidupkan dan dikalibrasi. Selanjutnya sensor dan selang dari alat dipasang. Penempatan selang dari alat Kanomax *Dust Monitor* 3443 ke knalpot sepeda motor berjarak 40cm dari Muffler tip knalpot.



Gambar 3.8 Skema pengambilan data (A= Kanomax Dust Monitor 3443; B=Selang; C= Probe; D=Sepeda Motor; E=Termokopel Digital

Setelah semua sudah terpasang maka sepeda motor dihidupkan, Selanjutnya data pembuangan knalpot (C_p) dan data suhu knalpot setelah motor dihidupkan (T_1) dicatat pada menit ke 5, 10, 15, 20, dan 25 menit dengan masing-masing 5 sampel data. Sedangkan untuk pengambilan data tanpa knalpot (C_{in}) sama dengan pengambilan data menggunakan knalpot (C_{out}) selang berada 40cm dari pembuangan emisi mesin sepeda motor, dan data yang diambil mulai dari menit ke 5, 10, 15, 20, dan 25 menit.

3.4 Analisis Data

Pada tahap analisis data, data yang sudah didapat berupa data konsentrasi dari $PM_{2.5}$ dan data temperatur. Pertama-tama data konsentrasi $PM_{2.5}$ yang didapat pada masing-masing kelompok yaitu kelompok 5 menit, kelompok 10 menit, kelompok 15 menit, kelompok 20 menit dan kelompok 25 menit dan kelompok 30 menit diambil 10 data dan dihitung rata-ratanya. Dalam pengambilan data didapatkan nilai konsentrasi $PM_{2.5}$ tanpa menggunakan knalpot (C_{in}) dan dengan menggunakan knalpot (C_{out}). Untuk perhitungan konsentrasi rata-rata yaitu:

- Konsentrasi rata-rata tanpa menggunakan knalpot (C_0),

$$\bar{C_0} = \frac{\sum C_0}{n} \quad (3.1)$$

Dimana :

C_0 : konsentrasi $PM_{2.5}$ tanpa menggunakan knalpot

n : jumlah data

- Defiasi konsentrasi rata-rata tanpa menggunakan knalpot (C_0)

$$\delta C_0 = \sqrt{\frac{\sum (C_0 - \bar{C_0})^2}{n(n-1)}} \quad (3.2)$$

Dimana :

C_0 : konsentrasi $PM_{2.5}$ tanpa menggunakan knalpot

$\bar{C_0}$: konsentrasi rata-rata tanpa menggunakan knalpot

n : jumlah data

- Konsentrasi rata-rata menggunakan knalpot (C_t).

$$\bar{C_t} = \frac{\sum C_t}{n} \quad (3.3)$$

Dimana :

C_t : konsentrasi $PM_{2.5}$ dengan menggunakan masing-masing knalpot

n : jumlah data

- Defiasi konsentrasi menggunakan knalpot (C_t).

$$\delta C_t = \sqrt{\frac{\sum (C_t - \bar{C_t})^2}{n(n-1)}} \quad (3.4)$$

Dimana:

C_t : konsentrasi $PM_{2.5}$ dengan menggunakan masing-masing knalpot

$\bar{C_t}$: konsentrasi rata-rata $PM_{2.5}$ dengan menggunakan masing-masing knalpot

n : jumlah data

- Efisiensi konsentrasi $PM_{2.5}$

$$Ef = \frac{(c_0 - c_t)}{c_0} \times 100\% \quad (3.5)$$

Dimana :

Ef : Efisiensi Pengurangan konsentrasi $PM_{2.5}$

c_0 : konsentrasi $PM_{2.5}$ tanpa menggunakan knalpot

c_t : konsentrasi $PM_{2.5}$ dengan menggunakan masing-masing knalpot

- Defiasi Efisiensi

$$\delta Ef = \sqrt{\left(\frac{\partial Ef}{\partial c_0} \cdot \delta c_0\right)^2 + \left(\frac{\partial Ef}{\partial c_t} \cdot \delta c_t\right)^2} \quad (3.6)$$

Dimana:

δc_0 : Defiasi konsentrasi tanpa menggunakan knalpot

δc_t : Defiasi konsentrasi menggunakan knalpot

Data yang telah diperoleh pada penelitian ini setelah diolah kemudian diinterpretasikan dalam grafik.

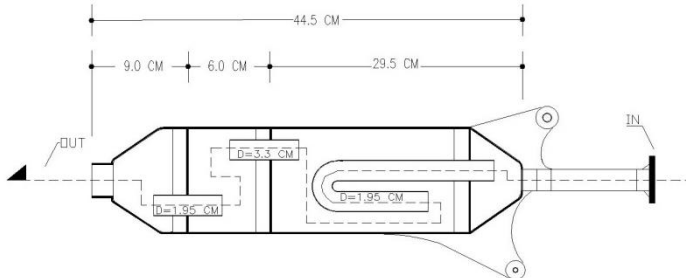
(Halaman Sengaja Dikosongkan)

24

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

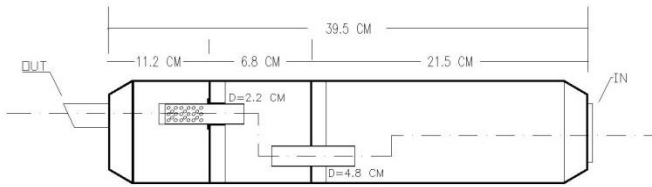
4.1 Konstruksi Knalpot

Knalpot 1 yang digunakan dalam penelitian ini berbahan dasar dari stainless (Gambar 4.1). Knalpot 1 memiliki panjang sekitar 44,5 cm. Knalpot 1 memiliki 3 ruang dalam *silencer*. Setiap ruang dalam *silencer* knalpot 1 memiliki ukuran yang berbeda yaitu pada ruang 1 memiliki panjang 29,5 cm. Ruang 2 knalpot 1 memiliki panjang 6 cm. Ruang 3 knalpot 1 memiliki panjang 9 cm. Knalpot 1 memiliki arah aliran gas dengan masuk ke dalam ruang 1 melalui pipa lengkungan yang kemudian masuk ke dalam ruang 2 dan akhirnya keluar dari knalpot.



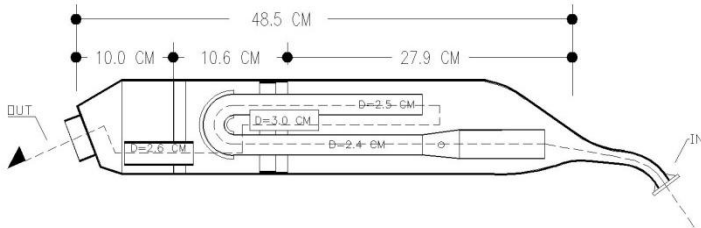
Gambar 4.1 Konstruksi dalam knalpot 1

Knalpot 2 yang digunakan dalam penelitian ini berbahan dasar dari stainless (Gambar 4.2). Knalpot 2 memiliki panjang sekitar 39,5 cm. Knalpot 2 memiliki 3 ruang dalam *silencer*. Setiap ruang dalam *silencer* knalpot 2 memiliki ukuran yang berbeda yaitu pada ruang 1 memiliki panjang 21,5 cm. Ruang 2 knalpot 2 memiliki panjang 6,8 cm dan ruang 3 memiliki panjang 11,2 cm. Knalpot 2 memiliki arah aliran gas dengan masuk ke dalam ruang 1 yang kemudian masuk ke dalam ruang 2 selanjutnya menuju ruang 3 dan akhirnya keluar dari knalpot.



Gambar 4.2 Konstruksi dalam knalpot 2

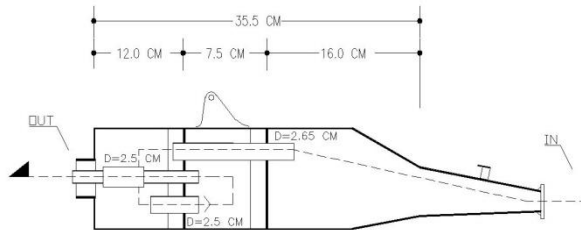
Knalpot 3 yang digunakan dalam penelitian ini berbahan dasar dari besi (Gambar 4.3). Knalpot 3 memiliki panjang sekitar 48,5 cm. Knalpot 3 memiliki 3 ruang dalam *silencer*. Setiap ruang dalam *silencer* knalpot 3 memiliki ukuran yang berbeda yaitu pada ruang 1 memiliki panjang 27,9 cm. Ruang 2 knalpot 3 memiliki panjang 10,6 cm dan ruang 3 knalpot 3 memiliki panjang 10 cm. Knalpot 3 memiliki arah aliran gas dengan masuk ke dalam ruang 1 melalui pipa lengkungan yang kemudian masuk ke dalam ruang 2 selanjutnya menuju ruang 3 dan akhirnya keluar dari knalpot.



Gambar 4.3 Konstruksi dalam knalpot 3

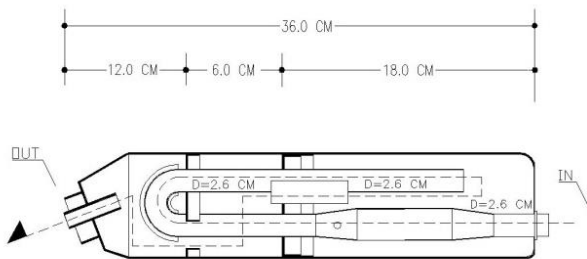
Knalpot 4 yang digunakan dalam penelitian ini berbahan dasar dari besi (Gambar 4.4). Knalpot 4 memiliki panjang sekitar 35,5 cm. Knalpot 4 memiliki 3 ruang dalam *silencer*. Setiap ruang dalam *silencer* knalpot 3 memiliki ukuran yang berbeda yaitu pada ruang 1 memiliki panjang 16 cm. Ruang 2 knalpot 4 memiliki panjang 7,5 cm dan ruang 3 knalpot 4 memiliki panjang 12 cm. Knalpot 4 memiliki arah aliran

gas dengan masuk ke dalam ruang 1 kemudian ke dalam ruang 3 melalui pipa yang menyambungkan antara ruang 1 dan ruang 3. Kemudian dari ruang 3 aliran menuju ke dalam ruang 2 dan selanjutnya keluar dari *silencer* melalui pipa yang berada di ruang 2 menuju keluar.



Gambar 4.4 Konstruksi dalam knalpot 4

Knalpot 5 yang digunakan dalam penelitian ini berbahan dasar dari besi (Gambar 4.5). Knalpot 5 memiliki panjang sekitar 36 cm. Knalpot 5 memiliki 3 ruang dalam *silencer*. Setiap ruang dalam *silencer* knalpot 3 memiliki ukuran yang berbeda yaitu pada ruang 1 memiliki panjang 18 cm.



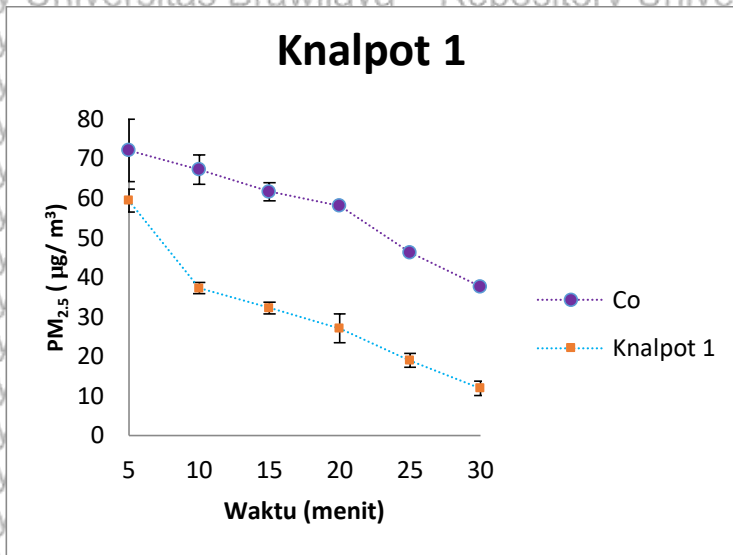
Gambar 4.5 Konstruksi dalam knalpot 5

Ruang 2 knalpot 5 memiliki panjang 6 cm dan ruang 3 memiliki panjang 12 cm. Knalpot 5 memiliki arah aliran gas dengan masuk ke dalam ruang 1 melalui pipa panjang yang melengkung sampai ruang

3 dan kembali ke ruang 1 kemudian gas masuk ke dalam ruang 2 melalui pipa yang menyambungkan antara ruang 1 dan ruang 2. Kemudian masuk ke dalam ruang 3 aliran selanjutnya keluar dari *silencer* menuju keluar.

4.2 Konsentrasi Emisi PM_{2.5}

4.2.1 Konsentrasi Emisi PM_{2.5} Pada Knalpot 1



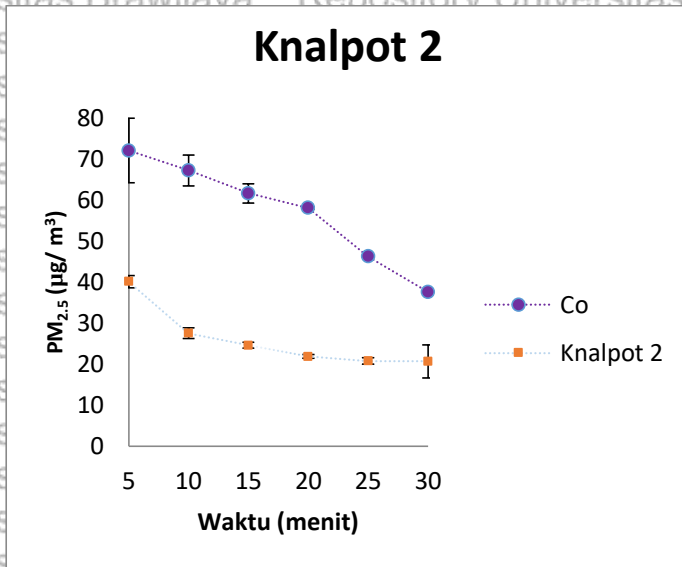
Gambar 4.6 Konsentrasi Emisi PM_{2.5} Pada Knalpot 1

Berdasarkan Gambar 4.6 dan juga pada lampiran 7, dapat diketahui bahwa data emisi PM_{2.5} pada menit ke-5 sebelum dipasang knalpot (Co) menunjukkan angka diatas 72,05(µg/m³). Sedangkan pada menit ke-10 data emisi PM_{2.5} menunjukkan penurunan yakni 67,19(µg/m³), pada menit ke-15 data menunjukkan 61,62(µg/m³), pada menit ke-20 data menunjukkan 58,04(µg/m³), menit ke-25 menunjukkan 46,24(µg/m³) dan pada menit ke-30 data menunjukkan 35,57(µg/m³).

Sedangkan emisi PM_{2.5} sesudah dipasang knalpot (Ci) menunjukkan angka 59,38(µg/m³). Namun setelah mesin dihidupkan

selama 10 menit, data emisi $PM_{2.5}$ sesudah knalpot dipasang, menunjukkan angka penurunan sekitar $37,19(\mu g/m^3)$. Sedangkan pada menit ke-15 emisi $PM_{2.5}$ berkurang hingga $32,19(\mu g/m^3)$. Pada menit ke-20 hingga menit ke-30 emisi terus berkurang, yakni $26,99(\mu g/m^3)$, $18,95(\mu g/m^3)$, dan $11,91(\mu g/m^3)$.

4.2.2 Konsentrasi Emisi $PM_{2.5}$ Pada Knalpot 2



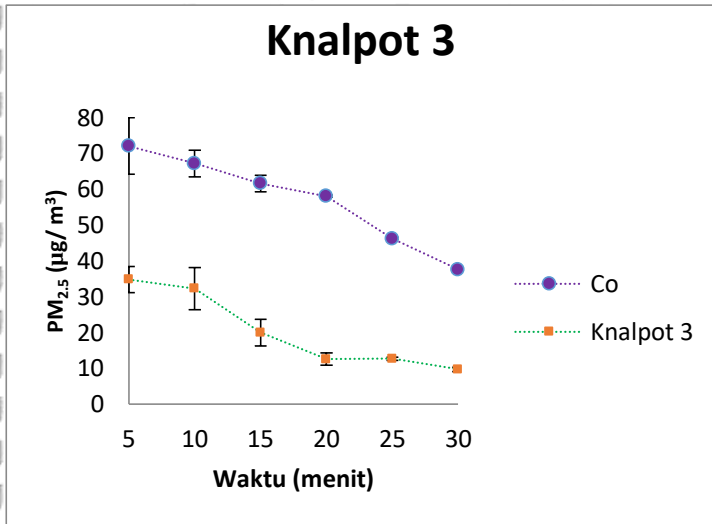
Gambar 4.7 Konsentrasi Emisi $PM_{2.5}$ Pada Knalpot 2

Berdasarkan Gambar 4.7 dan juga pada lampiran 7, dapat diketahui bahwa data emisi $PM_{2.5}$ pada menit ke-5 sebelum dipasang knalpot (C_0) menunjukkan angka diatas $72,05(\mu g/m^3)$. Sedangkan pada menit ke-10 data emisi $PM_{2.5}$ menunjukkan penurunan yakni $67,19(\mu g/m^3)$, pada menit ke-15 data menunjukkan $61,62(\mu g/m^3)$, pada menit ke-20 data menunjukkan $58,04(\mu g/m^3)$, menit ke-25 menunjukkan $46,24(\mu g/m^3)$ dan pada menit ke-30 data menunjukkan $35,57(\mu g/m^3)$.

Sedangkan emisi $PM_{2.5}$ sesudah dipasang knalpot (C_1) menunjukkan angka $40,14(\mu g/m^3)$. Namun setelah mesin dihidupkan selama 10 menit, data emisi $PM_{2.5}$ sesudah knalpot dipasang,

menunjukkan angka penurunan sekitar $27,52(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Sedangkan pada menit ke-15 emisi $\text{PM}_{2,5}$ berkurang hingga $24,62(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Pada menit ke-20 hingga menit ke-30 emisi terus berkurang, yakni $21,91(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, $20,76(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, dan $20,72(\mu\text{g}/\text{m}^3)$.

4.2.3 Konsentrasi Emisi $\text{PM}_{2,5}$ Pada Knalpot 3



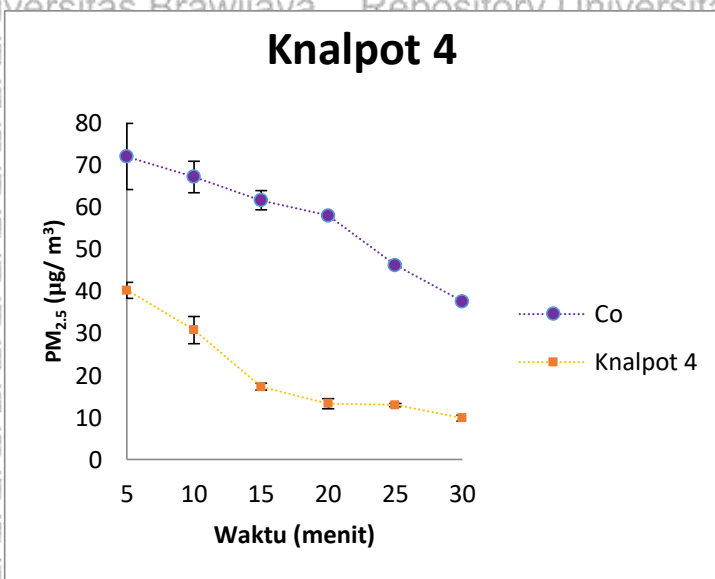
Gambar 4.8 Konsentrasi Emisi $\text{PM}_{2,5}$ Pada Knalpot 3

Berdasarkan Gambar 4.8 dan juga pada lampiran 7, dapat diketahui bahwa data emisi $\text{PM}_{2,5}$ pada menit ke-5 sebelum dipasang knalpot (Co) menunjukkan angka diatas $72,05(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Sedangkan pada menit ke-10 data emisi $\text{PM}_{2,5}$ menunjukkan penurunan yakni $67,19(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, pada menit ke-15 data menunjukkan $61,62(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, pada menit ke-20 data menunjukkan $58,04(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, menit ke-25 menunjukkan $46,24(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ dan pada menit ke-30 data menunjukkan $35,57(\mu\text{g}/\text{m}^3)$.

Sedangkan emisi $\text{PM}_{2,5}$ sesudah dipasang knalpot (C_i) menunjukkan angka $34,81(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Namun setelah mesin dihidupkan selama 10 menit, data emisi $\text{PM}_{2,5}$ sesudah knalpot dipasang, menunjukkan angka penurunan sekitar $32,29(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Sedangkan pada menit ke-15 emisi $\text{PM}_{2,5}$ berkurang hingga $20,00(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Pada menit

ke-20 hingga menit ke-30 emisi terus berkurang, yakni $12,57(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, $12,67(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, dan $9,71(\mu\text{g}/\text{m}^3)$.

4.2.4 Konsentrasi Emisi $\text{PM}_{2,5}$ Pada Knalpot 4



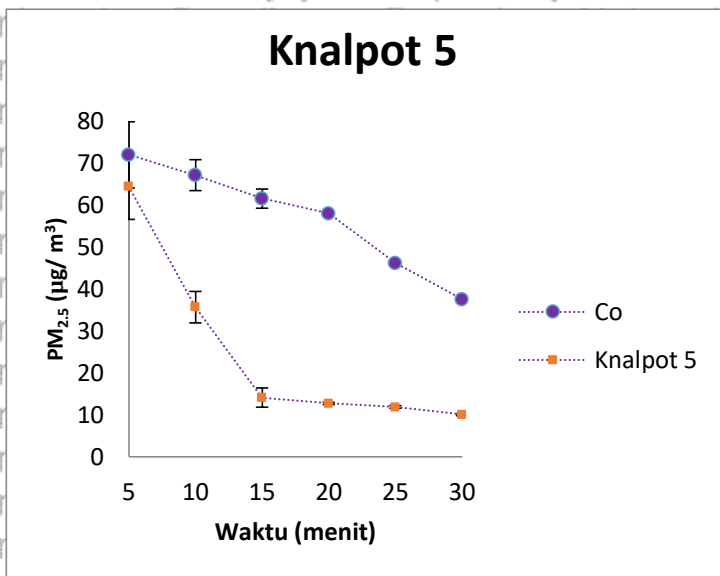
Gambar 4.9 Konsentrasi Emisi $\text{PM}_{2,5}$ Pada Knalpot 4

Berdasarkan Gambar 4.9 dan juga pada lampiran 7, dapat diketahui bahwa data emisi $\text{PM}_{2,5}$ pada menit ke-5 sebelum dipasang knalpot (C_0) menunjukkan angka diatas $72,05(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Sedangkan pada menit ke-10 data emisi $\text{PM}_{2,5}$ menunjukkan penurunan yakni $67,19(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, pada menit ke-15 data menunjukkan $61,62(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, pada menit ke-20 data menunjukkan $58,04(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, menit ke-25 menunjukkan $46,24(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ dan pada menit ke-30 data menunjukkan $35,57(\mu\text{g}/\text{m}^3)$.

Sedangkan emisi $\text{PM}_{2,5}$ sesudah dipasang knalpot (C_1) menunjukkan angka $40,24(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Namun setelah mesin dihidupkan selama 10 menit, data emisi $\text{PM}_{2,5}$ sesudah knalpot dipasang, menunjukkan angka penurunan sekitar $30,81(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Sedangkan pada menit ke-15 emisi $\text{PM}_{2,5}$ berkurang hingga $17,33(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Pada menit

ke-20 hingga menit ke-30 emisi terus berkurang, yakni $13,29(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, $13,00(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, dan $9,86(\mu\text{g}/\text{m}^3)$.

4.2.5 Konsentrasi Emisi $\text{PM}_{2,5}$ Pada Knalpot 5

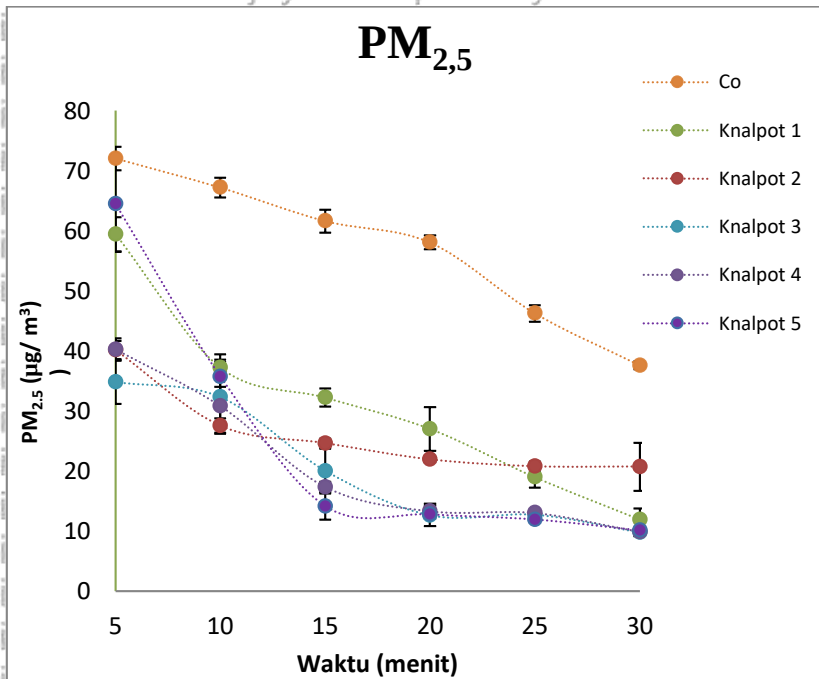


Gambar 4.10 Konsentrasi Emisi $\text{PM}_{2,5}$ Pada Knalpot 5

Berdasarkan Gambar 4.10 dan juga pada lampiran 7, dapat diketahui bahwa data emisi $\text{PM}_{2,5}$ pada menit ke-5 sebelum dipasang knalpot (C_0) menunjukkan angka diatas $72,05(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Sedangkan pada menit ke-10 data emisi $\text{PM}_{2,5}$ menunjukkan penurunan yakni $67,19(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, pada menit ke-15 data menunjukkan $61,62(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, pada menit ke-20 data menunjukkan $58,04(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, menit ke-25 menunjukkan $46,24(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ dan pada menit ke-30 data menunjukkan $35,57(\mu\text{g}/\text{m}^3)$.

Sedangkan emisi $\text{PM}_{2,5}$ sesudah dipasang knalpot (C_1) menunjukkan angka $64,47(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Namun setelah mesin dihidupkan selama 10 menit, data emisi $\text{PM}_{2,5}$ sesudah knalpot dipasang, menunjukkan angka penurunan sekitar $35,71(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Sedangkan pada menit ke-15 emisi $\text{PM}_{2,5}$ berkurang hingga $14,14(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Pada menit ke-20 hingga menit ke-30 emisi terus berkurang, yakni $12,76(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, $11,90(\mu\text{g}/\text{m}^3)$, dan $10,10(\mu\text{g}/\text{m}^3)$.

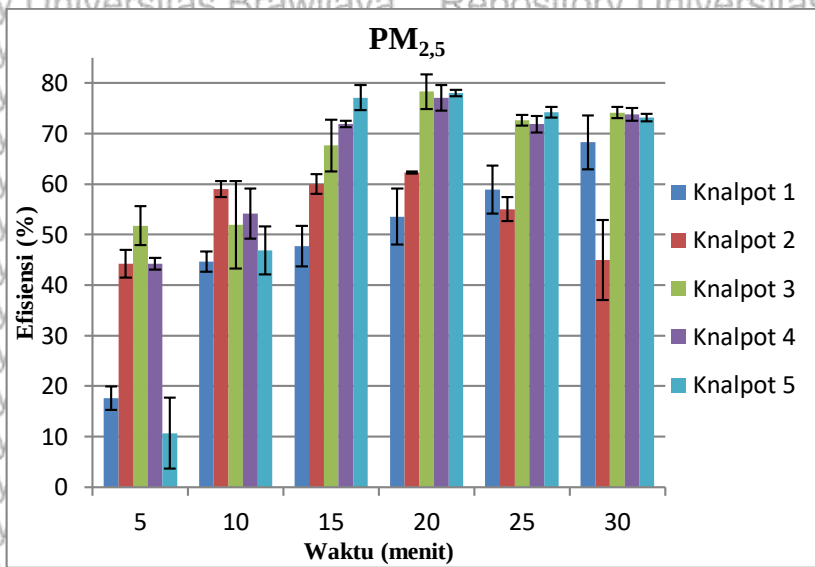
Pengukuran diambil dari lima sampel knalpot sepeda motor yang berbeda dan digunakan sebuah sepeda motor. Setiap sampel diukur besar konsentrasi gas $PM_{2,5}$ sebelum dan sesudah melewati knalpot. Hasil pengukuran dikelompokkan berdasarkan waktu pengambilan data yaitu 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit. Konsentrasi $PM_{2,5}$ diinterpretasikan dalam Gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.11 Grafik konsentrasi $PM_{2,5}$

Pada gambar 4.11 menunjukkan hubungan antara konsentrasi $PM_{2,5}$ dengan waktu. Berdasarkan gambar 4.11 diatas didapatkan konsentrasi tertinggi dari $PM_{2,5}$ adalah pada knalpot 3. Berdasarkan data yang diperoleh dengan menggunakan knalpot terlihat mengalami penurunan konsentrasi $PM_{2,5}$ sejalan dengan bertambahnya waktu. Dalam setiap kelompok waktu yang ditentukan didapatkan konsentrasi $PM_{2,5}$ yang berbeda pada masing-masing knalpot. Pada rentan waktu menit 15 sampai menit 30 data konsentrasi $PM_{2,5}$

didapatkan data yang relatif konstan. Pada menit 5 sampai menit 10 data yang didapat belum konstan atau terdapat anomali, hal ini akan dijelaskan secara detail di pembahasan.



Gambar 4.12 Pengurangan Konsentrasi $PM_{2.5}$ terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 4.12 dan juga lampiran 8, Konsentrasi $PM_{2.5}$ tertinggi pada menit 5 dengan menggunakan knalpot adalah knalpot 1, dilanjut dengan knalpot 5, knalpot 4, knalpot 2, dan knalpot 3 didapatkan konsentrasi $PM_{2.5}$ yang terendah. Konsentrasi $PM_{2.5}$ tertinggi pada menit 10 dengan menggunakan knalpot adalah knalpot 1, dilanjut dengan knalpot 5, knalpot 3, knalpot 4, dan knalpot 2 didapatkan konsentrasi $PM_{2.5}$ terendah. Konsentrasi $PM_{2.5}$ tertinggi pada menit 15 dengan menggunakan knalpot adalah knalpot 1, dilanjut dengan knalpot 2, knalpot 3, knalpot 4, dan knalpot 5 didapatkan konsentrasi $PM_{2.5}$ terendah. Konsentrasi $PM_{2.5}$ pada menit 20 dengan menggunakan knalpot adalah knalpot 1, dilanjut dengan knalpot 2, knalpot 4, knalpot 5, dan knalpot 3 didapatkan konsentrasi $PM_{2.5}$ terendah. Konsentrasi $PM_{2.5}$ tertinggi pada menit 25 dengan menggunakan knalpot adalah knalpot 2, dilanjutkan dengan knalpot 1, knalpot 4, knalpot 3, dan knalpot 5 memiliki konsentrasi $PM_{2.5}$ terendah. Konsentrasi $PM_{2.5}$ tertinggi pada menit 30 adalah knalpot 2,

dilanjut dengan knalpot 1, knalpot 5, knalpot 4, dan knalpot 3 memiliki konsentrasi $PM_{2,5}$ terendah.

Pada Gambar 4.12 menunjukkan hubungan nilai pengurangan konsentrasi $PM_{2,5}$ dengan waktu. Semakin besar nilai persentase ini mempunyai arti bahwa knalpot yang digunakan menghasilkan emisi $PM_{2,5}$ yang sedikit. Berdasarkan Gambar 4.7 pada menit ke 5 pengurangan konsentrasi $PM_{2,5}$ tertinggi diperoleh knalpot 3, kemudian disusul oleh knalpot 2, knalpot 4, dan knalpot 5. Knalpot 1 pada menit 5 memiliki pengurangan konsentrasi terendah. Pada menit 10 pengurangan konsentrasi $PM_{2,5}$ diperoleh knalpot 2, kemudian disusul oleh knalpot 4, knalpot 3, dan knalpot 5. Knalpot 1 memiliki konsentrasi pengurangan $PM_{2,5}$ terkecil pada menit 10. Pada menit 15 pengurangan konsentrasi $PM_{2,5}$ tertinggi didapat oleh knalpot 5, kemudian di bawahnya ada knalpot 4, knalpot 3, knalpot 2, dan knalpot 1 memiliki pengurangan konsentrasi terendah pada menit ke 15. Pada menit ke 20 didapatkan pengurangan konsentrasi $PM_{2,5}$ tertinggi pada knalpot 3, kemudian selanjutnya disusul oleh knalpot 5, knalpot 4 dan knalpot 2. Knalpot 1 memiliki pengurangan konsentrasi $PM_{2,5}$ terendah pada menit ke 20. Pada menit ke 25 pengurangan konsentrasi $PM_{2,5}$ didapatkan oleh knalpot 5, kemudian pengurangan konsentrasi $PM_{2,5}$ diperoleh knalpot 3, knalpot 4, dan knalpot 1. Knalpot 2 memperoleh pengurangan konsentrasi terendah pada menit ke 25. Pada menit ke 30 pengurangan konsentrasi $PM_{2,5}$ tertinggi didapatkan oleh knalpot 5, kemudian selanjutnya knalpot 4, knalpot 5, dan knalpot 1. Knalpot 2 memiliki pengurangan konsentrasi terendah pada menit 30.

Dari lima buah knalpot yang sudah diuji, knalpot yang paling banyak dalam memfilter $PM_{2,5}$ adalah knalpot 3, itu dibuktikan dengan knalpot 3 yang mengeluarkan emisi $PM_{2,5}$ yang lebih sedikit dari pada knalpot lainnya. Apabila ditinjau dari segi bahan, knalpot 3 terbuat dari bahan besi yang dipadukan dengan cat karbon.

Karbon merupakan jenis material yang memiliki banyak kegunaan diantaranya sebagai adsorben baik adsorben gas maupun adsorben cair. Karbon juga memiliki keunggulan, semakin luas permukaan maka semakin tinggi tingkat selektivitas terhadap beberapa jenis gas maupun partikulat. Dengan keunggulan demikian,

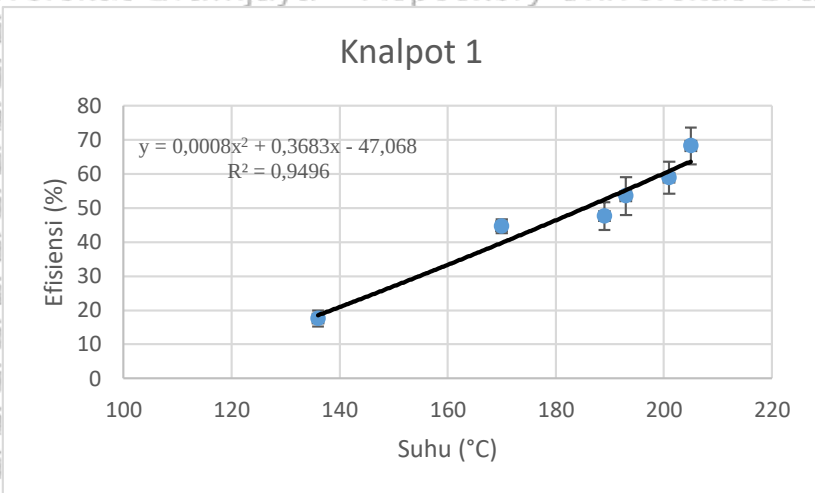
menjadikan material tersebut banyak dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (filter).

4.3 Pengurangan $PM_{2.5}$ Terhadap Suhu

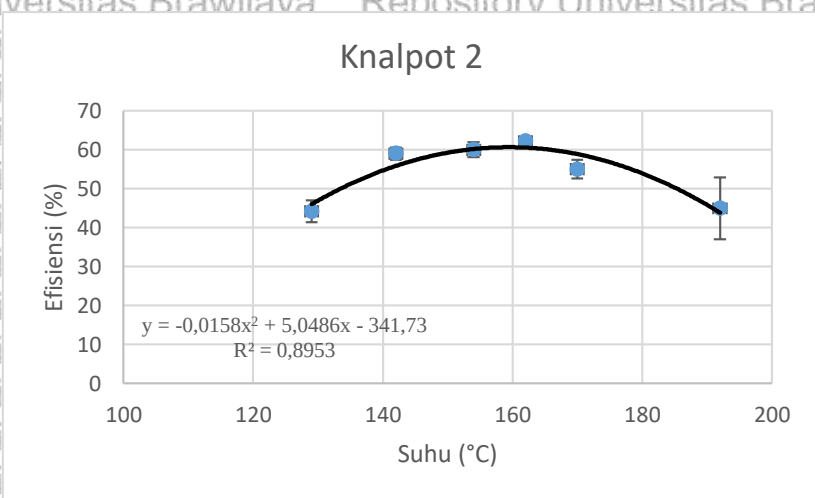
Penggunaan knalpot pada sepeda motor dapat mengurangi konsentrasi emisi $PM_{2.5}$. Tingkatan pengurangan nilai konsentrasi dalam masing-masing knalpot yang digunakan didapatkan berbeda-beda. Hal ini diduga karena tidak hanya $PM_{2.5}$. Dengan kata lain dapat dikatakan terdapat substansi lain yang mempengaruhi konsentrasi yang didapatkan.

Secara langsung menunjukan indikasi pengaruh temperatur *output* terhadap presentase pengurangan konsentrasi $PM_{2.5}$. Semakin besar nilai temperatur *output*, nilai persentase pengurangan konsentrasi $PM_{2.5}$ tidak selalu bertambah besar. Dalam gambar tersebut dapat dilihat, dalam suhu awal konsentrasi pengurangan $PM_{2.5}$ akan naik berbanding lurus dengan temperatur *output*. Akan tetapi pada suhu tertentu pada tiap knalpot, pengurangan konsentrasi $PM_{2.5}$ akan mencapai titik tertinggi dan kemudian mengalami penurunan pengurangan konsentrasi walaupun temperatur *output* terus bertambah.

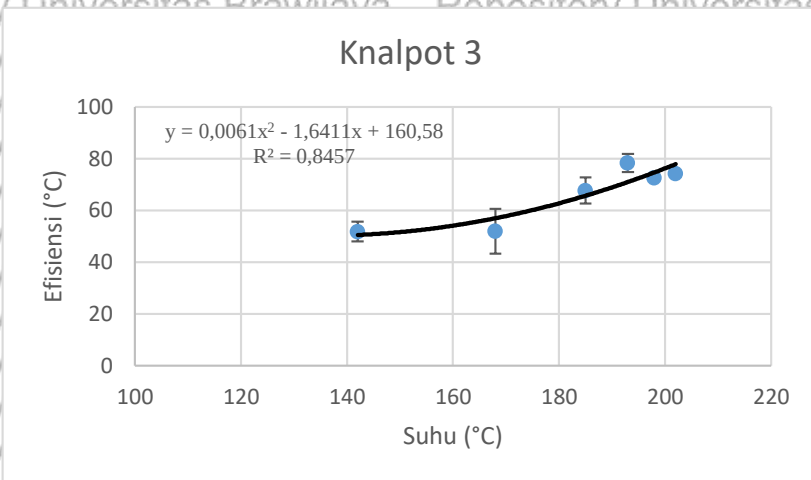
Di dalam penelitian, didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu pengukuran, semakin besar persentase pengurangan konsentrasi $PM_{2.5}$ dalam waktu tertentu dan kemudian persentase pengurangan konsentrasi $PM_{2.5}$ akan mengalami penurunan ketika telah mencapai titik tertingginya. Di sisi lain, semakin lama waktu pengukuran, semakin tinggi temperaturnya.



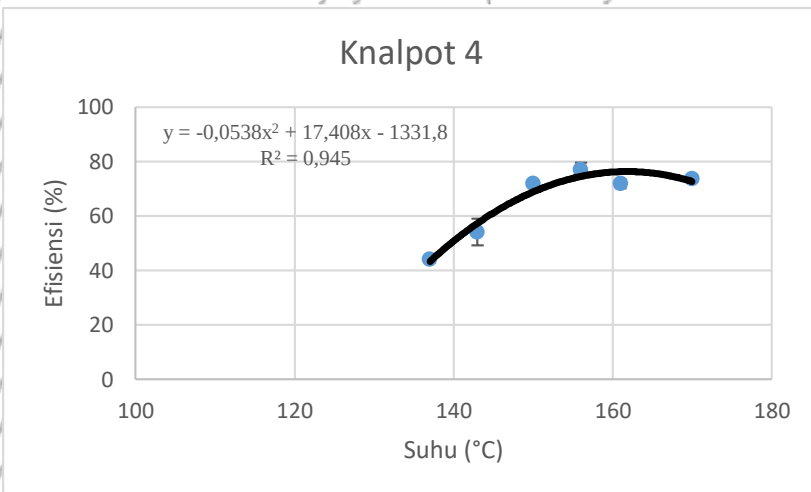
(a) Hubungan pengurangan konsentrasi dengan suhu pada knalpot 1



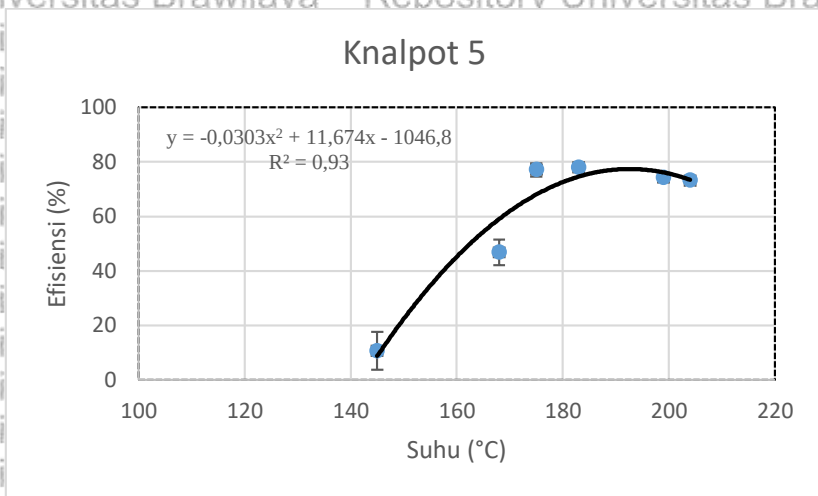
(b) Hubungan pengurangan konsentrasi dengan suhu pada knalpot 2



(c) Hubungan pengurangan konsentrasi dengan suhu pada knalpot 3



(d) Hubungan pengurangan konsentrasi dengan suhu pada knalpot 4



(e) Hubungan pengurangan konsentrasi dengan suhu pada knalpot 5

Gambar 4.13 Hubungan antara temperatur *input* dengan pengurangan konsentrasi PM_{2,5}

Dari gambar diatas terdapat hubungan antara temperature terhadap pengurangan konsentrasi PM_{2,5} (lampiran 8 & lampiran 9). Pada gambar grafik tersebut diketahui bahwa PM_{2,5} didapatkan nilai R² sekitar 0,84 sampai dengan 0,94. Penelitian ini menunjukkan bahwa ada hubungan yang kuat antara pengurangan konsentrasi PM_{2,5} dengan suhu output dimana hasil R² nya R²>0.75. Dari lima buah knalpot yang diuji, didapatkan nilai pengurangan konsentrasi PM_{2,5} yang paling banyak pengurangannya terdapat pada knalpot 3. Ini berarti bahwa knalpot 3 memiliki nilai efisiensi yang tinggi dari knalpot yang lainnya.

Hal tersebut terjadi karena selain dari faktor bahan yang digunakan, pola konstruksi dari knalpot juga berpengaruh terhadap pengurangan PM_{2,5}. Karena apabila konstruksi didalam knalpot baik dan memiliki banyak ruang, maka laju aliran udara dan suhu yang keluar dari mesin didalam knalpot akan lebih efisien. Didalam knalpot terdapat 3 ruang, dimana pada ruang pertama, suhu yang terbaca bisa mencapai 100-200°C. Radiasi panas yang terdapat dalam knalpot inilah yang akan membakar partikulat menjadi ukuran yang lebih

kecil karena akan memutuskan rantai energi ikat antar partikel penyusun. Pada proses ini PM_{10} akan terbakar menjadi $PM_{2,5}$. Sedangkan $PM_{2,5}$ akan terbakar menjadi $PM_{0,1}$ dan $PM_{0,1}$ akan berubah menjadi $PM_{0,1}$ yang lebih kecil lagi. Peristiwa perubahan partikulat ini akan terus terjadi seiring dengan meningkatnya temperatur emisi kendaraan.

$PM_{2,5}$ didapatkan nilai pengurangan konsentrasi tertinggi dengan menggunakan knalpot 3, ini mempunyai arti bahwa knalpot 3 lebih efektif dalam mengurangi konsentrasi $PM_{2,5}$. Hal tersebut diduga karena pada knalpot 3 jalur perambatan energi panas paling cepat dan knalpot yang paling panjang, yaitu sebesar 48,5cm. Knalpot 3 memiliki arah aliran gas dengan masuk ke dalam ruang 1 melalui pipa lengkungan yang kemudian masuk ke dalam ruang 2 selanjutnya menuju ruang 3 dan akhirnya keluar dari knalpot dilalui oleh $PM_{2,5}$. Pernyataan ini berkaitan dengan teori yang ada yaitu menentukan laju perpindahan panas yang berpindah secara konduksi, digunakan persamaan (4.1)

$$Q = k \cdot A \frac{\Delta T}{L} \quad (4.1)$$

Keterangan :

Q : Laju perpindahan panas (W)

k : Konduktivitas termal ($J/m^{\circ}C$)

A : Luas penampang (m^2)

ΔT : Perubahan temperatur ($^{\circ}C$)

L : Tebal lapisan (m)

Persamaan di atas menyatakan nilai laju perpindahan panas dapat dipengaruhi dari beberapa faktor, salah satunya adalah luas penampang knalpot. Semakin panjang knalpot mengakibatkan laju perpindahan panas semakin tinggi. Semakin tinggi perubahan temperatur dapat mengakibatkan laju perpindahan panas menjadi tinggi. Dalam kasus ini, pada $PM_{2,5}$ saat suhu bertambah dari waktu ke waktu, $PM_{2,5}$ akan mencapai titik maksimalnya dan konsentrasinya setelah itu akan menurun walau temperatur dalam knalpot terus naik. Jika ditinjau dari nilai konduktivitas suatu bahan diduga kurang sesuai dalam hal ini. Hal ini disebabkan karena bahan knalpot yang digunakan tidak diketahui secara tepat.

Selain ditinjau dari perpindahan panas secara konduksi, dapat ditinjau dari perpindahan panas secara konveksi. Untuk menentukan

laju perpindahan panas yang berpindah secara konveksi, digunakan persamaan (4.2) di bawah ini:

$$Q = h \cdot A \Delta T \quad (4.2)$$

Q adalah laju perpindahan panas (W), h merupakan koefisien konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), A merupakan luas penampang (m^2), dan ΔT merupakan perubahan temperatur ($^\circ C$). Sama dengan perpindahan panas secara konduksi, ditinjau dari perubahan waktu yang didapatkan pada knalpot 3 tertinggi. Hal ini mengakibatkan laju perpindahan panas yang semakin besar sehingga konsentrasi $PM_{2.5}$ semakin menurun.

Knalpot 3 ini memiliki 3 ruang yaitu ruang 1 dapat dikatakan sebagai area panas. Kemudian ruang 2 dapat dikatakan area sedang sedangkan pada ruang 3 dapat dikatakan ruang dingin. Hal ini berhubungan dengan aliran dalam knalpot. Dimana urutan aliran dimulai dari area panas menuju area sedang kemudian menuju area dingin kemudian $PM_{2.5}$ akan keluar. Ini bermula dari aliran gas yang sudah dijelaskan diatas, karena adanya perbedaan temperatur dan $PM_{2.5}$ mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah (ruang 1) kemudian masuk ke dalam ruang 2 yang temperaturnya lebih tinggi dibandingkan dengan ruang 3, hal ini berhubungan dengan tekanan. Dimana jika terdapat temperatur yang tinggi memiliki tekanan yang tinggi, sehingga pada knalpot 3 ruang 1 memiliki tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan pada ruang 2. Kemudian dari ruang 2 diteruskan ke ruang 3 yang memiliki tekanan dan temperatur yang rendah.

Ditinjau dari dari volume ruang, meskipun volume ruang 1 lebih kecil dibandingkan dengan knalpot 1, tetapi dalam knalpot 3 memiliki ruang 2 lain yang lebih besar, hal tersebut mengakibatkan area pendinginan lebih luas kemudian kondensasi akan lebih efektif di dalam ruang 3 sehingga gas akan lebih cepat menjadi cair. Pada knalpot 4 memiliki volume pada ruang 2 dan 1 lebih kecil. Aliran gas dalam knalpot 4 dari ruang 1 ke ruang 3 kembali ke ruang 2 setelah itu baru masuk ke output. Gerakan turbulensi dalam pipa knalpot 4 yang menyebabkan knalpot ini tidak memiliki efisiensi tinggi terhadap konsentrasi $PM_{2.5}$.

Knalpot 1 dan knalpot 2 tidak terjadi perputaran aliran $PM_{2.5}$. Aliran $PM_{2.5}$ pada knalpot 1 dan knalpot 2 sistemnya sama dengan di knalpot 3, dimulai dari ruang 1 kemudian menuju ruang 2

selanjutnya menuju ruang 3 dan menuju *output*. Dalam hal ini dapat dikatakan knalpot 1 dan knalpot 2 tidak adanya manipulasi udara, sehingga tidak terdapat adanya gerakan turbulensi layaknya yang terjadi pada knalpot 4.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian desain sistem *exhaust* dapat disimpulkan bahwa :

1. Faktor yang mempengaruhi pengurangan konsentrasi emisi $PM_{2.5}$ dari sepeda motor adalah aliran gas, suhu, konstruksi knalpot dan panjang knalpot.
2. Dari hasil pengujian diketahui bahwa variasi knalpot 3 memiliki pengurangan konsentrasi emisi $PM_{2.5}$ terbesar yakni 78%.

5.2 Saran

Diharapkan untuk penelitian selanjutnya digunakan variasi konstruksi knalpot yang lebih beragam. Selain itu, digunakan bahan knalpot yang lebih beragam juga serta waktu pengambilan data yang lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M., & Subri, M. (2016). Dalam Pembuatan Material Cmc Untuk Filter Gas Buang Kendaraan Bermotor, *15*(September), 16–23.
- Bernstein, J. A., Alexis, N., Barnes, C., Bernstein, I. L., Bernstein, J. A., Nel, A., ... Williams, P. B. (2004). Health effects of air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2004.08.030>
- Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *Lancet*. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)11274-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)11274-8)
- Budiyono, A. (2008). Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan. *Berita Dirgantara*, 2(1), 21–27.
- Dwyer, H., Ayala, A., Zhang, S., Collins, J., Huai, T., Herner, J., & Chau, W. (2010). Emissions from a diesel car during regeneration of an active diesel particulate filter. *Journal of Aerosol Science*, 41(6), 541–552. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2010.04.001>
- Etheridge, D. (2011). Natural Ventilation of Buildings: Theory, Measurement and Design. Natural Ventilation of Buildings: Theory, Measurement and Design. <https://doi.org/10.1002/9781119951773>
- Fierro, M. (2001). Particulate matter. In Environmental Protection (pp. 1–11). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2>
- Hamzah, Z., & Kenn, L. S. (2007). Pm 10 and Total Suspended Particulates (TSP) Measurements in Various Power Stations. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 11(1), 255–261.
- Handler, M., Puls, C., Zbiral, J., Marr, I., Puxbaum, H., & Limbeck, A. (2008). Size and composition of particulate emissions from motor vehicles in the Kaisermuhlen-Tunnel, Vienna. *Atmospheric Environment*, 42(9), 2173–2186. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.11.054>
- Hartono, B., Resosoedarmo, B., Utami, S. T. B., Haryanto, B., & Hermawati, E. (2016). Effect of Ambient Particulate Matter 2.5 Micrometer (PM2.5) to Prevalence of Impaired Lung Function and Asthma in Tangerang and Makassar. *Kesmas*:

National Public Health Journal,
<https://doi.org/10.21109/kesmas.v10i4.823>

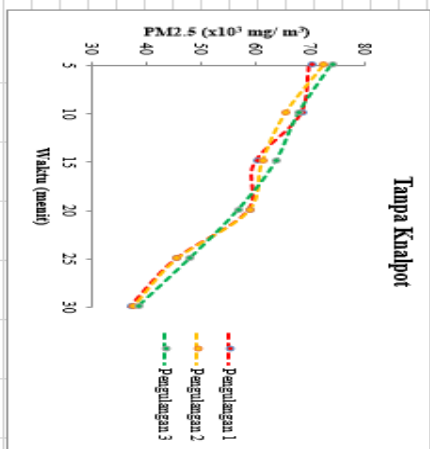
- Kwon, S.-B., Jeong, W., Park, D., Kim, K.-T., & Cho, K. H. (2015). A multivariate study for characterizing particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁) in Seoul metropolitan subway stations, Korea. *Journal of Hazardous Materials*, 297, 295–303. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.05.015>
- Laden, F., Neas, L. M., Dockery, D. W., & Schwartz, J. (2000). Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U.S. cities. *Environmental Health Perspectives*, 108(10), 941–947. <https://doi.org/10.1289/ehp.00108941>
- Lilly, J. G. (2006). *Engine Exhaust Noise Control*. JGL Acoustic, Inc.
- Löndahl, J., Massling, A., Pagels, J., Swietlicki, E., Vaclavik, E., & Loft, S. (2007). Size-resolved respiratory-tract deposition of fine and ultrafine hydrophobic and hygroscopic aerosol particles during rest and exercise. *Inhalation Toxicology*, 19(2), 109–116. <https://doi.org/10.1080/08958370601051677>
- Lutgens, F. K. and E. J. T. (2005). *The Atmosphere. An Introduction to Meteorology*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Manoorkar, S., Sedes, O., & Morris, J. F. (2016). Journal of Natural Gas Science and Engineering. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 29, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.04.008>
- Mudakavi, J. R. (2010). *Principles and Practices of Air Pollution Control and Analysis*. New Delhi: International Publishing House.
- Pandey, A., & Venkataraman, C. (2014). Estimating emissions from the Indian transport sector with on-road fleet composition and traffic volume. *Atmospheric Environment*, 98, 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.08.039>
- Riojas-Rodriguez, H., Romieu, I., & Hernández-Ávila, M. (2017). Air pollution. In *Occupational and Environmental Health*. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190662677.003.0018>

- Sandra, C. (2013). Pengaruh penurunan kualitas udara terhadap fungsi paru dan keluhan pernafasan pada polisi lalu lintas polwiltabes surabaya. *Jurnal IKESMA*, 9(1), 1–8.
- Shakya, K. M., Peltier, R. E., Shrestha, H., & Byanju, R. M. (2017). Measurements of TSP , PM₁₀ , PM_{2.5} , BC , and PM chemical composition from an urban residential location in Nepal. *Atmospheric Pollution Research*, 8(6), 1123–1131. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.05.002>
- Singh, N. K., & Rubini, P. A. (2015). Large Eddy Simulation of acoustic pulse propagation and turbulent flow interaction in expansion mufflers. *Applied Acoustics*, 98, 6–19. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.04.015>
- Suhariyono, G., & Wiyono, M. (2003). Distribusi Diameter Partikel Debu PM₁₀ Dan PM_{2.5} Dalam Udara Sekitar Kawasan Pabrik Semen, Citeureup-Bogor. *Prosiding Seminar Aspek Keselamatan Radiasi Dan Lingkungan Pada Industri Non Nuklir*, (Maret), 161–173.
- Tan, Z. (2014). Air Pollution and Greenhouse Gases. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-212-8>
- Tarigan, K., Suhadi, A., Medan, S. M. K. I., & Utara, S. (2000). Pengaruh Jenis Aliran Silencer Muffler Knalpot Terhadap Tingkat Kebisingan Dan Emisi Gas Buang Pada Kendaraan Roda Empat Kapasitas 1600 CC, 5(2), 71–78.
- Zhou, Q. Q., Zhong, K., Fu, W., Huang, Q., Wang, Z. Z., Nie, B. C., ... He, J. J. J. (2015). Nanofiber air filters with high-temperature stability for efficient PM_{2.5} removal from the pollution sources. *Procedia Engineering*, 51(1–2), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.187>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Konsentrasi $PM_{2.5}$ tanpa knalpot

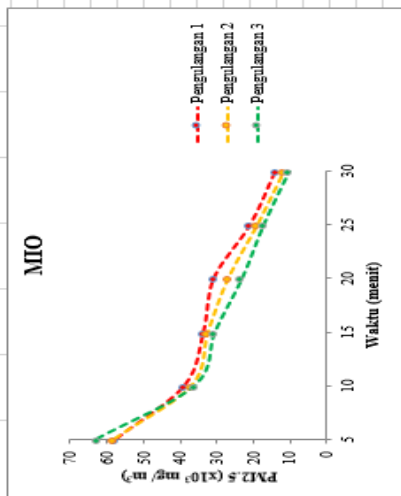
CoPn(2,2)																		
water(mm)	5			10			15			20			25			30		
80	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	77	70	85	72	79	66	67	62	64	45	65	60	51	46	50	40	40	40
2	76	69	85	58	65	66	62	63	65	65	68	60	57	46	52	38	35	40
3	77	77	39	70	60	65	66	64	64	66	65	55	40	45	55	39	36	41
4	77	76	84	71	66	71	64	58	63	66	53	67	42	49	40	35	37	37
5	76	77	85	66	60	78	63	56	64	66	55	65	44	47	52	32	41	36
6	66	68	70	66	63	71	48	63	62	50	50	45	40	46	43	38	37	37
7	41	69	69	76	64	58	50	62	64	53	55	45	44	39	43	37	36	37



Lampiran 2 Konsentrasi PM_{2.5} Knapot 1

48

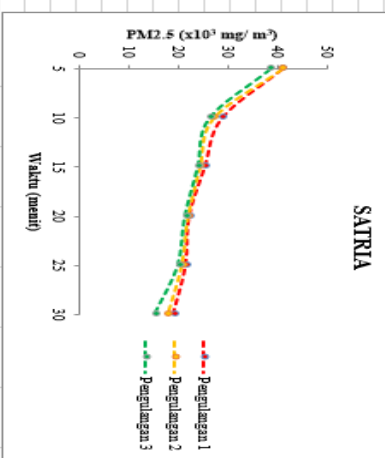
waktu(menit)		Co(PM _{2.5})																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		5				10				15				20				25				30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
no		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I



Lampiran 3 Konsentrasi PM_{2.5} Knapot 2

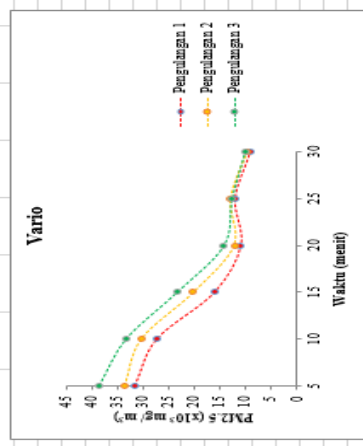
Copn 2.9

Waktu (menit)	5			10			15			20			25			30			5
no	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
1	40	40	38	30	27	26	25	24	24	23	22	21	23	20	20	19	18	16	10
2	41	41	38	28	27	26	25	24	24	22	22	21	21	21	20	19	18	17	15
3	40	40	38	28	28	26	27	25	24	22	22	21	21	20	20	19	18	17	20
4	41	42	38	29	27	27	25	24	24	22	22	21	21	21	20	19	17	16	25
5	42	43	39	30	27	26	26	25	24	23	22	22	22	21	20	19	18	17	30
6	42	40	39	28	27	27	25	25	24	22	22	22	21	21	20	19	18	16	
7	41	41	39	29	27	26	25	24	24	22	22	22	22	21	20	19	18	15	
Jumlah	287,00	287,00	269,00	202,00	190,00	184,00	178,00	171,00	168,00	156,00	154,00	150,00	151,00	145,00	140,00	133,00	125,00	107,00	
Rata-rata	41,00	41,00	38,43	28,86	27,14	26,29	25,43	24,43	24,00	22,29	22,00	21,43	21,57	20,71	20,00	19,00	17,86	15,29	



Lampiran 4 Konsentrasi PM_{2.5} Knalpot 3

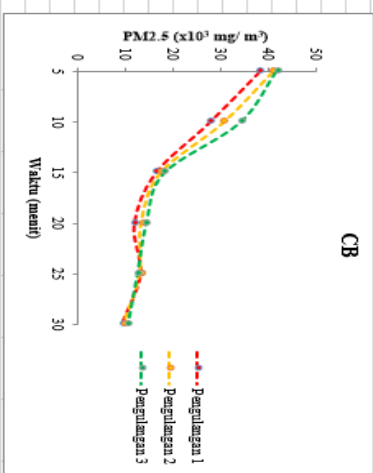
waktu(jam)	Co(PM _{2.5})											
	5			10			15			20		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	31	33	37	25	31	32	14	20	25	11	12	14
2	32	34	36	27	30	33	15	20	22	11	12	15
3	31	34	37	28	30	34	14	19	25	11	12	16
4	31	33	38	29	32	35	16	20	23	11	12	14
5	32	34	40	26	31	32	18	21	25	11	12	14
6	33	35	40	28	30	33	17	20	22	11	13	14
7	32	34	44	29	30	36	19	22	23	11	13	14
JUDAH	222,00	237,00	272,00	192,00	214,00	235,00	113,00	142,00	165,00	77,00	86,00	101,00
RATA-RATA	31,71	33,86	38,86	27,43	30,57	33,57	16,14	20,29	23,57	11,00	12,29	14,43



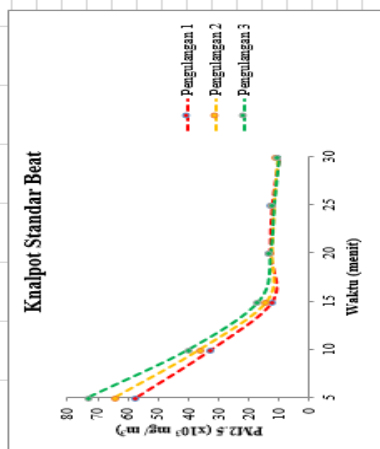
Lampiran 5 Konsentrasi PM_{2.5} Knapot 4

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

waktu (menit)		5			10			15			20			25			30		
no		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	40	43	42	28	30	34	16	17	18	12	13	15	13	14	13	9	10	11	
2	40	41	45	28	31	34	17	17	19	12	13	15	14	13	14	9	10	10	
3	37	41	40	29	32	35	16	18	18	12	13	14	12	13	13	9	10	11	
4	37	40	40	28	30	34	16	17	18	12	13	15	14	12	12	10	10	10	
5	38	40	42	27	30	33	17	17	18	12	13	14	14	13	12	10	9	10	
6	38	40	41	27	31	35	17	18	18	12	14	14	12	12	12	9	10	11	
7	37	41	42	27	30	34	16	18	18	12	15	14	14	15	12	9	10	11	
JUMLAH	267,00	286,00	292,00	184,00	214,00	239,00	115,00	122,00	127,00	84,00	84,00	101,00	93,00	92,00	88,00	65,00	68,00	74,00	
KAPARITA	38,14	40,86	41,71	27,71	30,57	34,14	16,43	17,43	18,14	12,00	13,43	14,43	13,29	13,14	12,57	9,29	9,71	10,57	



waktu (menit)		CoPM _{2.5}																							
		5			10			15			20			25			30								
no		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III						
1		55	61	70	31	36	38	11	12	16	13	12	16	11	12	11	9	10	9						
2		55	62	71	30	36	37	12	13	16	13	12	14	13	11	12	9	10	11						
3		57	61	72	33	35	39	13	14	17	13	12	12	12	12	11	10	11	10						
4		58	64	72	34	35	40	12	15	17	13	12	12	11	13	12	11	10	10						
5		54	64	71	33	36	39	11	15	16	13	12	12	13	12	11	10	11	9						
6		60	66	78	31	37	41	12	14	17	13	13	12	12	11	12	11	10	10						
7		60	68	75	32	35	42	13	14	17	13	14	12	14	11	13	9	11	11						
JUMLAH		399,00	446,00	509,00	224,00	250,00	276,00	84,00	97,00	116,00	91,00	87,00	90,00	86,00	82,00	82,00	69,00	73,00	70,00						
RATA-RATA		57,00	63,71	72,71	32,00	35,71	39,43	12,00	13,86	16,57	13,00	12,43	12,86	12,29	11,71	11,71	9,86	10,43	10,00						



Lampiran 6 Konsentrasi rata-rata PM_{2,5} tiap knalpot

KNALPOT 1					
Time	I	II	III	MEAN	SD
5	57,43	58,00	62,71	59,38	2,90
10	38,71	36,86	36,00	37,19	1,38
15	33,57	32,43	30,57	32,19	1,51
20	30,71	26,86	23,41	26,99	3,65
25	20,71	18,86	17,29	18,95	1,71
30	13,86	11,57	10,29	11,91	1,81
KNALPOT 2					
Time	I	II	III	MEAN	SD
5	41,00	41,00	38,43	40,14	1,48
10	28,86	27,41	26,29	27,52	1,29
15	25,43	24,43	24,00	24,62	0,73
20	22,29	22,00	21,43	21,91	0,44
25	21,57	20,71	20,00	20,76	0,79
30	19,00	17,86	25,29	20,72	4,00
KNALPOT 3					
Time	I	II	III	MEAN	SD
5	31,71	33,86	38,86	34,81	3,67
10	27,43	30,57	38,86	32,29	5,91
15	16,14	20,29	23,57	20,00	3,72
20	11,00	12,29	14,43	12,57	1,73
25	12,14	13,00	12,86	12,67	0,46
30	9,14	9,71	10,29	9,71	0,58
KNALPOT 4					
Time	I	II	III	MEAN	SD
5	38,14	40,86	41,71	40,24	1,86
10	27,71	30,57	34,14	30,81	3,22
15	16,43	17,43	18,14	17,33	0,86
20	12,00	13,43	14,43	13,29	1,22

25	13,29	13,14	12,57	13,00	0,38
30	9,29	9,71	10,57	9,86	0,65
KNALPOT 5					
Time	I	II	III	MEAN	SD
5	57,00	63,71	72,71	64,47	7,88
10	32,00	35,71	39,43	35,71	3,72
15	12,00	13,86	16,57	14,14	2,30
20	13,00	12,43	12,86	12,76	0,30
25	12,29	11,71	11,71	11,90	0,33
30	9,86	10,43	10,00	10,10	0,30
C_o					
Time	I	II	III	MEAN	SD
5	70,00	72,29	73,86	72,05	1,94
10	68,43	65,29	67,86	67,19	1,67
15	60,00	61,14	63,71	61,62	1,90
20	58,71	58,71	56,71	58,04	1,15
25	45,43	45,43	47,86	46,24	1,40
30	37,00	37,43	38,29	37,57	0,66

Lampiran 7 Efisiensi PM_{2.5} pada tiap-tiap Knalpot

menit	KNALPOT 1				
	I	II	III	%	SD
5,00	17,95714	19,7676	15,09613	17,60696	2,355343
10,00	43,43124	43,54419	46,9496	44,64168	1,999519
15,00	44,05	46,9578	52,01695	47,67492	4,031597
20,00	47,69205	54,2497	58,7198	53,55385	5,546712
25,00	54,41338	58,48558	63,8738	58,92425	4,745439
30,00	62,54054	69,08897	73,12614	68,25188	5,342216

menit	KNALPOT 2				
	I	II	III	%	SD
5,00	41,42857	43,284	47,96913	44,22723	2,752211
10,00	57,82552	58,01807	61,25847	59,03402	1,574889
15,00	57,61667	60,04253	62,3293	59,99617	1,924206
20,00	62,03373	62,52768	62,21125	62,25755	0,204296
25,00	52,52036	54,41338	58,21145	55,0484	2,366369
30,00	48,64865	52,28426	33,95142	44,96145	7,925481

menit	KNALPOT 3				
	I	II	III	%	SD
5,00	54,7	53,16088	47,38695	51,74928	3,85547
10,00	59,91524	53,17813	42,73504	51,9428	8,656462
15,00	73,1	66,81387	63,00424	67,63937	5,098254
20,00	81,26384	79,0666	74,55475	78,29506	3,42044
25,00	73,27757	71,38455	73,12996	72,59736	1,052916
30,00	75,2973	74,05824	73,12614	74,16056	1,089188

menit	KNALPOT 4				
	I	II	III	%	SD
5,00	45,51429	43,47766	43,5283	44,17341	1,161505
10,00	59,50606	53,17813	49,69054	54,12491	4,975785
15,00	72,61667	71,49166	71,52723	71,87852	0,639502
20,00	79,56055	77,12485	74,55475	77,08005	2,5032
25,00	70,7462	71,07638	73,7359	71,85283	1,639121
30,00	74,89189	74,05824	72,39488	73,78167	1,271273

menit	KNALPOT 5				
	I	II	III	%	SD
5,00	18,57143	11,86886	1,557	10,66576	6,998013
10,00	53,23688	45,30556	41,89508	46,81251	4,751302
15,00	80	77,33072	73,99152	77,10741	2,458027
20,00	77,85726	78,82814	77,32322	78,00288	0,622947
25,00	72,94739	74,22408	75,5328	74,23476	1,055517
30,00	73,35135	72,13465	73,88352	73,12317	0,731976

Lampiran 8 Data Temperatur

Knalpot Beat

Menit	Tin	Tout
5	145	32
10	168	35
15	175	37
20	183	38
25	199	40
30	204	39

Knalpot Vario

Menit	Tin	Tout
5	142	38
10	168	40
15	185	43
20	193	39
25	198	40
30	202	41

Knalpot Satria

Menit	Tin	Tout
5	129	39
10	142	41
15	154	40
20	162	42
25	170	43
30	192	41

Knalpot CB

Menit	Tin	Tout
5	137	34
10	143	36
15	150	38
20	156	38
25	161	40
30	170	42

Knalpot Mio

Menit	Tin	Tout
5	136	40
10	170	42
15	189	39
20	193	41
25	201	40
30	205	41