

TUGAS AKHIR

PIPA BERONGGA DARI PEMANFAATAN SKRAP ALUMINIUM LIMBAH PEMESINAN YANG DIGUNAKAN PADA KNALPOT SEPEDA MOTOR UNTUK MENGURANGI PENCEMARAN UDARA

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

**SANDREAN
1907230129**



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

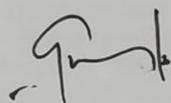
Nama : Sandrean
NPM : 1907230129
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Pipa Berbahan Alumunium Hasil Daur Ulang Limbah Pemasinan Yang Digunakan Pada Knalpot Sepeda Motor Untuk Mengurangi Pencemaran Udara
Bidang ilmu : Konstruksi dan Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Maret 2024

Mengetahui Dan Menyetujui:

Dosen Penguji I



Chandra A Putra Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji II



Affandi, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Chandra A Putra Siregar, S.T., M.T

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Sandrean
Tempat /Tanggal Lahir : Kubu Babusalam 4 September 2000
NPM : 1907230129
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Pipa Berbahan Alumunium Hasil Daur Ulang Limbah Pemesinan Yang Di Gunakan Pada Knalpot Sepeda Motor Untuk Mengurangi Pencemaran Udara”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 April 2024

Saya yang menyatakan,


Sandrean

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Sandrean
Tempat /Tanggal Lahir : Kubu Babusalam 4 September 2000
NPM : 1907230129
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Pipa Berongga Dari Pemanfaatan Skrap Alumunium Limbah Pemesinan Yang Digunakan Pada Knalpot Sepeda Motor Untuk Mengurangi Pencemaran Udara”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, April 2024

Saya yang menyatakan,

Sandrean

ABSTRAK

Polusi udara semakin lama semakin meningkat di karenakan tingginya penggunaan kendaraan bermotor, yang populasinya meningkat dari tahun ke tahun sehingga dapat menimbulkan polusi udara sebesar 70 sampai 80%. Tujuan penelitian ini adalah menurunkan kadar emisi gas buang yang dihasilkan kendaraan bermotor dengan cara memodifikasi saluran gas buang, yaitu dengan memodifikasi bagian dalam knalpot menggunakan pipa berbahan tembaga hasil daur ulang. Penelitian ini membandingkan hasil keluaran gas buang CO, HC dan CO₂ dari knalpot standar dan knalpot modifikasi penambahan pipa berbahan tembaga berdiameter 44mm dan 48mm. Pengujian emisi gas buang menggunakan gas analyzer dengan putaran mesin rata-rata 4500 rpm dengan temperatur mesin 50°C - 91°C. Hasilnya diperoleh bahwa nilai emisi gas buang yang terdapat pada knalpot modifikasi penambahan pipa berbahan tembaga dengan diameter 44mm jika dibandingkan dengan knalpot standar, unsur CO dimenit 10 turun terjadi penurunan hingga 99,75% , menit ke 20 99,84%, menit ke 30 menurun 99,26%, menit ke 40 menurun 99,12%, menit ke 50 menurun 99,12%, dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan 99,24% pada putaran 4500 rpm, HC terjadi kenaikan 98,3 % , menit ke 20 naik 98,29%, sedangkan menit ke 30 mengalami penurunan sebesar 99,27%, menit ke 40 99,09% menit ke 50 turun 99,7%, dan menit ke 60 emisi gas buang terjadi penurunan 99,1 % pada putaran 4500 rpm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa modifikasi knalpot dengan menambahkan pipa berbahan tembaga dapat mengurangi kadar emisi gas buang pada kendaraan bermotor.

Kata Kunci : kendaraan bermotor, gas buang, polusi udara, pipa, tembaga

ABSTRACT

Air pollution is increasing over time due to the high use of motorized vehicles, the population of which is increasing from year to year so that it can cause air pollution by 70 to 80%. The aim of this research is to reduce the level of exhaust emissions produced by motorized vehicles by modifying the exhaust gas channels, namely by modifying the inside of the exhaust using pipes made from recycled copper. This research compares the results of CO, HC and CO₂ exhaust gas output from standard exhausts and modified exhausts with the addition of copper pipes with diameters of 44mm and 48mm. Exhaust gas emission testing uses a gas analyzer with an average engine speed of 4500 rpm with an engine temperature of 50°C - 91°C. The results showed that the exhaust gas emission value contained in the modified exhaust with the addition of a copper pipe with a diameter of 44mm when compared to the standard exhaust, the CO element at the 10th minute decreased to 99.75%, at the 20th minute it was 99.84%, at the 30th minute it decreased. 99.26%, the 40th minute decreased by 99.12%, the 50th minute decreased by 99.12%, and for the 60th minute the exhaust emissions decreased by 99.24% at 4500 rpm, HC increased by 98.3% , the 20th minute increased by 98.29%, while the 30th minute decreased by 99.27%, the 40th minute 99.09%, the 50th minute decreased 99.7%, and the 60th minute exhaust gas emissions decreased by 99.1 % at 4500 rpm. Thus it can be concluded that modifying the exhaust by adding copper pipes can reduce the level of exhaust emissions in motorized vehicles.

Keywords: motor vehicles, exhaust gas, air pollution, pipes, copper

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pemanfaatan Skrap Aluminium Pada Saluran Gas Dalam Sepeda Motor Untuk Mengurangi Pencemaran Udara” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Chandra A Putra Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Affandi, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar ST, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu mengenai teknik mesin kepada penulis.

6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ke teknik mesin kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Jumanik dan Nurul Darmayanti, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis:, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan tugas akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi bidang Teknik.

Medan,.....

Sandean

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
Error! Bookmark not defined.	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Emisi Gas Buang	4
2.1.1 Kandungan Emisi Gas Buang	5
2.1.2 Sumber Polusi Kendaraan Bermotor	6
2.1.3 Rumus Emisi Gas Buang	7
2.1.4 Dampak Gas Buang Kendaraan Bermotor	7
2.1.5 Dampak Pada Kesehatan	7
2.2. Knalpot	8
2.2.1. Jenis – Jenis Knalpot	8
2.1.2. Bagian Bagian Knalpot	8
2.3 Aluminium	10
2.3.1 Sifat-Sifat Aluminium	10
2.1.2 Skrap Aluminium	11
BAB 3 METODE PENELITIAN	13
3.1 Tempat Dan Waktu	13
3.1.1 Tempat Penelitian	13
3.2 Bahan Dan Alat	13
3.2.1 Bahan penelitian	13
3.2.2 Alat Penelitian	14
3.3 Bagan Alir Penelitian	18
3.4 Rancangan Alat Penelitian	19
3.5 Pembuatan Pipa Berongga (pengecoran)	20
3.6 Prosedur Pengujian	20
3.6.1 Pengujian	21
3.6.1.1 Pengujian Knalpot Standart	21
3.6.3.2 Pengujian Knalpot Modifikasi	21
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Tahapan pembuatan dan pengujian	23

4.1.2 Tahapan Pengujian	27
4.1.2.1 Pengujian Knalpot Standart	27
4.1.2.2 Pengujian knalpot modifikasi menggunakan silinder berongga berongga dari pemanfaatan skrap alumunium	29
4.1.2.3 Pengujian knalpot modifikasi menggunakan silinder berongga dari pemanfaatan skrap alumunium	31
4.2 Hasil Penelitian	32
4.3 Pembahasan Penelitian	33
4.3.1 Presentasi dan penurunan emisi menggunakan pipa diameter 44mm	33
4.3.2 Presentasi dan penurunan emisi menggunakan pipa diameter 48mm	40
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Header Knalpot	9
Gambar 2.2 Resonator Knalpot	9
Gambar 2.3 Silencer Knalpot	10
Gambar 2.4 Skrap Alumunium	11
Gambar 3.1 Laptop yang dilengkapi dengan <i>software solidworks</i>	14
Gambar.3.2 Sepeda Motor Honda Beat 110cc	16
Gambar 3.3 Mesin las Asetilin	16
Gambar 3.4 Gas Analyzer	17
Gambar 3.5 Tachometer BRT	17
Gambar 3.6 <i>Fi Scanner</i>	17
Gambar 3.7. Anemometer	18
Gambar 3.8. Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.9. Rancangan kenalpot	23
Gambar 4.1 Knalpot Standart Beat	24
Gambar 4.2. Proses pembelahan knalpot	27
Gambar 4.3. Bagian dalam resonator knalpot standar	23
Gambar 4.4. Core (inti)	24
Gambar 4.5. Pembuatan Cetakan	25
Gambar 4.6. Pembuatan Inti (Rongga)	25
Gambar 4.7. Penuangan logam cair kedalam cetakan	26
Gambar 4.8. Pipa berongga yang sudah dicetak	26
Gambar 4.9. Proses pembubutan	26
Gambar 4.10. Pipa berongga dari pemanfaatan skrap Alumunium	27
Gambar 4.11. Knalpot standar yang telah dimodifikasi	27
Gambar 4.12. Sepeda Motor Beat	27
Gambar 4.13. Socket DLC (data link conector)	28
Gambar 4.14. Pengukuran rpm dengan <i>Fi Scanner</i>	28
Gambar 4.15. Pengukuran kecepatan angin gas buang	28
Gambar 4.16. Pengukuran kecepatan angin gas buang	28
Gambar 4.17. Pengujian emisi gas buang dengan menggunakan Gas Analyzer	29
Gambar 4.18. Knalpot modifikasi menggunakan pipa berongga 44mm	29
Gambar 4.19. Proses pemasangan knalpot	30
Gambar 4.20. Pengukuran rpm dengan <i>Fi scanner</i>	30
Gambar 4.21. Pengukuran kecepatan angin gas buang	30
Gambar 4.22. Pengujian pada kenalpot modifikasi	31
Gambar 4.23. Grafik model kenalpot dengan CO yang di hasilkan	35
Gambar 4.24. Grafik model knalpot dengan HC yang dihasilkan	37
Gambar 4.25. Grafik model knalpot dengan CO2 yang dihasilkan	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ambang Batas Emisi Kendaraan Bermotor	8
Tabel 2.2 Dampak Gas Emisi Terhadap Kesehatan	7
Tabel 3.1 Jadwal dan Waktu Pelaksanaan Penelitian	13
Tabel 3.2 Pengujian Emisi Gas Buang Knalpot Standart	22
Tabel 3.3 Pengujian Emisi Gas Buang Knalpot Pipa Berongga 40mm	23
Tabel 3.4 Pengujian Emisi Gas Buang Knalpot Pipa Berongga 44mm	23
Tabel 4.1. Pengujian emisi gas buang knalpot standar	35
Tabel 4.2. Pengujian emisi gas buang knalpot mdifikasi pipa 44mm	38
Tabel 4.3. Pengujian emisi gas buang knalpot mdifikasi pipa 48mm	40
Tabel 4.4. Data perbandingan pengujian emisi gas buang pada knalpot standard dan pada kenalpot modifikasi dengan pipa berongga	41
Tabel 4.5. Data persentase CO pada emisi dan penurunan emisi gas buang	41
Tabel 4.6. Data persentase HC pada emisi dan penurunan emisi gas buang	43
Tabel 4.7. Data persentase CO ₂ pada emisi dan penurunan emisi gas buang	44

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran udara merupakan suatu keadaan dimana adanya substansi fisika, biologi, atau kimia di lapisan udara bumi (atmosfer) yang jumlahnya membahayakan bagi kesehatan tubuh dan makhluk hidup yang lain. Pencemaran udara ini dapat digolongkan menjadi dua yaitu pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer ialah pencemar yang timbul secara langsung dari sumber pencemarnya.

Contohnya, gas CO₂ dari hasil pembakaran. Pencemaran sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk akibat reaksi beberapa pencemar primer di atmosfer (Siburian, 2020). Kontribusi polusi udara yang berasal dari sektor transportasi mencapai 60%, selebihnya sektor industri 25%, rumah tangga 10% dan sampah 5% (Kusumawardani & Navastara, 2017). Data Badan Pusat Statistik menggambarkan perkembangan jumlah kendaraan bermotor selalu meningkat setiap tahunnya, pada tahun 2013 jumlah kendaraan di Indonesia adalah sebanyak 104,118.969 unit dengan jenis kendaraan terbanyak adalah sepeda motor sebanyak 84,732.652 unit. Dari peningkatan jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya akan berdampak terhadap peningkatan gas buang yang dapat menyebabkan polusi udara.

Emisi gas buang kendaraan adalah sisa hasil pembakaran yang dihasilkan oleh pembakaran di dalam mesin kendaraan bermotor (Syahrui & Ghofur, 2019). Umumnya pencemaran udara di kota besar adalah sebesar 70% berasal dari kendaraan bermotor (Ramadhan & Hartono, 2020). Transportasi adalah kebutuhan dasar atau pokok masyarakat di perkotaan, namun memiliki dampak terhadap produksi emisi gas CO₂ di udara (Permatasari et al., 2021). Peningkatan kendaraan bermotor akan dibarengi dengan peningkatan emisi gas CO₂. Situasi seperti ini menyebabkan polusi udara yang semakin memburuk. Permasalahan polusi udara adalah permasalahan yang serius. Efek pencemaran udara sudah dapat dirasakan saat ini, banyaknya penyakit yang ditimbulkan oleh permasalahan

udara, contohnya meningkatnya penyakit ISPA serta bertambahnya orang yang tua sebelum waktunya (Pinontoan et al., 2019).

Hal ini adalah salah satu contoh dari dampak negatif pencemaran udara. Selain efek bagi kesehatan adapun efek negatif bagi lingkungan. Kelebihan konsentrasi CO₂ di atmosfer juga dapat menyebabkan peningkatan suhu udara di bumi. Hal ini terjadi karena gas rumah kaca dengan konsentrasi tinggi akan memantulkan kembali panasnya ke bumi, sehingga mengakibatkan peningkatan suhu bumi, bahkan dapat menyebabkan pemanasan global (Cahyono, 2017). Inventarisasi emisi umumnya mencakup hingga identifikasi sumber, potensi emisi setiap sumber, dan informasi lingkungan. Evaluasi emisi CO₂ sangat penting dilakukan secara kontinyu untuk memperkirakan risiko lingkungan.

Inventarisasi emisi dari sektor transportasi menggunakan pendekatan perhitungan jumlah kendaraan bermotor. Data hasil inventarisasi emisi kemudian dikelola dan akan disajikan dalam bentuk persentasi agar mudah dibaca dan dipahami (Permatasari et al., 2021). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana skrap aluminium mampu mereduksi emisi gas buang.

Penelitian ini diharapkan dapat membantu problem mengatasi pencemaran udara dengan pendekatan dan pemanfaatan teknologi rekayasa.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan latar belakang ini, pertanyaannya adalah bagaimana cara mengurangi jumlah gas berbahaya seperti CO, HC dan CO₂, yang terkandung dalam gas buang kendaraan bermotor, dan bagaimana penggunaan resonator yang sudah dimodifikasi menggunakan pipa yang dibuat dengan mendaur ulang limbah tembaga akan mempengaruhi gas buang kendaraan bermotor.

1.3 Ruang Lingkup

Penelitian ini akan membahas ruang lingkup masalah berkaitan :

1. Pengujian dilakukan untuk mencari hasil emisi gas buang kendaraan bermotor knalpot standart sebagai data pembandingan.
2. Pengujian dilakukan untuk mencari hasil emisi gas buang kendaraan sepeda motor dengan knalpot yang sudah di tambahkan pipa berongga dari

pemanfaatan skrap aluminium sebagai resonator dari limbah pemesinan yang merupakan hasil modifikasi.

3. Pengujian emisi gas buang knalpot modifikasi menggunakan pipa 44mm dan 44mm.
4. Kecepatan putaran mesin diatur hingga ± 4500 rpm.
5. Bahan bakar penelitian menggunakan pertalite.

1.4 Tujuan

Sesuai dengan paparan diatas, penelitian ini bertujuan :

1. Mendaur ulang skrap tembaga limbah pemesinan sebagai resonator knalpot sepeda motor melalui proses pengecoran.
2. Menganalisa apakah tembaga dapat menurunkan kadar karbon monoksida (CO), Hidrocarbon (HC), dan karbon dioksida (CO₂) pada emisi gas buang kendaraan melalui proses reaksi oksidasi.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang di peroleh dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menamba wawasan penulis dalam memahami pengaruh dari penggunaan pipa berongga sebagai resonator terhadap kandungan emisi gas buang dan di harapkan penulis dapat mengaplikasi ilmu yang didapat selama kegiatan perkuliahan
2. Memberikan referensi bagi pengguna kendaraan bermotor dengan penambahan pipa tembaga sebagai resonator pada saluran gas buang dalam sepeda motor yang dapat mengurangi kadar emisi gas buang.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang merupakan polutan yang mengotori udara yang dihasilkan oleh gas buang kendaraan. Gas buang kendaraan yang dimaksud disini adalah gas sisa proses pembakaran yang dibuang ke udara bebas melalui saluran buang kendaraan. Terdapat emisi pokok yang dihasilkan kendaraan (Siswanto 2009)

Gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara terdiri dari banyak komponen gas yang sebagian besar merupakan polusi bagi lingkungan hidup. Gas yang menjadi polusi tersebut kebanyakan merupakan hasil dari reaksi sampingan yang tidak dapat dihindarkan. Sebagaimana diketahui bahwa udara disekitar kita mengandung kurang lebih 21% Oksigen dan 79% terdiri dari sebagian besar Nitrogen dan sisanya gas-gas lain dalam jumlah yang sangat kecil, sedangkan bahan bakar pada umumnya berbentuk ikatan karbon (C_xH_y) yang juga mengandung unsur lain yang terikat kedalamnya. Besarnya kontribusi pencemaran udara yang disebabkan dari sektor transportasi khususnya pada emisi kendaraan bermotor menimbulkan masalah dalam pemeliharaan kualitas udara. Proses pembakaran bahan bakar minyak yang tidak sempurna dalam kendaraan bermotor menghasilkan unsur-unsur kimiawi yang mencemari udara. Unsur-unsur kimiawi tersebut meliputi Karbon Monoksida (CO), Oksida-oksida sulfur (SO_x), Oksida-oksida Nitrogen (NO_x), Hidrokarbon (HC), Partikulat dan Timbal (PB) (Suryanto, 2012).

Zat kimia tersebut dalam jumlah yang berlebih dapat menyebabkan perubahan tatanan komposisi udara normal di lingkungan. Perubahan tersebut menimbulkan pencemaran udara dan dapat mengganggu kesehatan manusia. Senyawa karbon yang berlebih di atmosfer dapat menyebabkan pemanasan global. Emisi gas buang akan terus mengalami peningkatan seiring dengan laju pertumbuhan kendaraan bermotor. Meningkatnya kendaraan bermotor yang beroperasi menyebabkan semakin banyak emisi gas buang yang dikeluarkan. Kondisi tersebut, menyebabkan peningkatan konsentrasi pencemarnya dan dikhawatirkan membahayakan kesehatan manusia. Penyakit yang ditimbulkan akibat emisi gas buang kendaraan bermotor adalah gangguan saluran pernafasan,

gangguan organ dalam, gangguan syaraf, gangguan reproduksi, menurunkan kecerdasan anak serta dapat menimbulkan kematian (Devianti muziansyah dkk, 2015).

2.1.1 Kandungan Emisi Gas Buang

Menurut Awal Syahrani (2006) kandungan emisi pada gas buang meliputi:

1. CO₂ (Karbon Dioksida)

Gas CO₂ merupakan gas yang tidak berwarna maupun berbau, CO₂ didapat dari perpaduan bahan bakar dan oksigen yang seimbang sehingga menghasilkan CO₂.

2. CO (Karbon Monoksida)

Karbon monoksida adalah gas yang diperoleh karena perbandingan antara bahan bakar dan udara yang tidak seimbang. Terlalu banyak bahan bakar atau unsur C tidak dapat berikatan dengan O₂ sehingga terbentuklah CO karena pembakaran yang tidak sempurna.

3. SO₂ (Sulfur Oksida)

Bahan bakar gasoline / bensin mengandung unsur belerang (Sulfur). Pada saat terjadi reaksi pada pembakaran, S akan bereaksi dengan H dan O untuk membentuk senyawa sulfat dan sulfur oksida

4. NO (Nitrogen Oksida)

Gas ini terjadi akibat adanya panas yang tinggi pada proses pembakaran sehingga kandungan nitrogen bereaksi dengan udara sehingga berubah menjadi Nox.

5. H₂O

Gas Hidro Karbon terjadi karena pembakaran yang berlangsung tidak sempurna pada ruang bakar. Aroma yang dihasilkan dari gas tersebut sangat tajam dan berwarna hitam.

6. HC (Hidro Karbon)

Gas Hidro Karbon terjadi karena pembakaran yang berlangsung tidak sempurna pada ruang bakar. Aroma yang dihasilkan dari gas tersebut sangat tajam dan berwarna hitam.

7. Pb (Timbal)

Pada reaksi pembakaran , timbal tidak bereaksi dan menjadi timah hitam saat keluar dari proses pembakaran.

8.Partikulat

Partikulat dihasilkan dari residu bahan bakar yang tidak ikut terbakar pada ruang bakar dan keluar melalui gas buang kendaraan. Partikel tersebut ukurannya sekitar 10 mikrometer sehingga mudah untuk masuk ke dalam saluran pernafasan. Sedangkan ukuran yang lebih kecil, dapat membuat iritasi pada mata.

2.1.2 Sumber Polusi Kendaraan Bermotor

Ada empat sumber polusi yang berasal dari kendaraan bermotor , yaitu;

- 1) Pipa gas buang (knalpot) adalah sumber yang paling utama (65-85%) dan mengeluarkan hidro karbon (HC) yang terbakar maupun tidak terbakar, bermacam-macam nitrogenoksida (NOx), karbon monoksida (CO) dan campuran alkohol, aldehida, keton, penol, asam, ester, ether, epoksida, peroksida dan oksigen yang lain.
- 2) Bak oli adalah sumber kedua (20%) dan mengeluarkan hidrokarbon (HC) yang terbakar maupun tidak.
- 3) Tangki dan bahan bakar adalah faktor yang disebabkan oleh cuaca panas dengan kerugian penguapan hidrokarbon mentah (5%).
- 4) Karbulator adalah faktor lainnya, terutama saat berkendara pada posisi kondisi macet dengan cuaca panas,dengan kerugian penguapan dan bahan bakar mentah (5-10%).

Tabel 2.1 Ambang Batas Emisi Kendaraan Bermotor (kemen LH No.05 tahun 2006)

Katagori	Tahun Pembuatan	Parameter		Metode uji
		CO (% VOL)	HC (ppm)	
Sepeda motor 2 Langkah	< 2010	4,5	12000	Ilde
Sepeda motor 4 Langkah	< 2010	5,5	2400	Ilde
Sepeda motor (2 langkah dan 4 langkah)	(2 ≥ 2010)	4,5	2000	Idle

2.1.3 Rumus Emisi Gas Buang

Rumus Emisi Gas Buang

1. Rumus mencari nilai rata rata emisi gas buang

$$\text{Nilai rata-rata} = \frac{\text{jumlah nilai}}{\text{banyaknya data}} \quad (1)$$

2. Rumus Presentase

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{\text{rata-rata emisi dengan Alumunium}}{\text{rata rata emisi tanpa Alumunium}} \times 100 \% \quad (2)$$

3. Rumus Presentase Penurunan Emisi

$$\text{Presentase menurut emisi} = 100\% - \text{presentase emisi} (\%) \quad (3)$$

2.1.4 Dampak Gas Buang Kendaraan Bermotor

Dampak yang ditimbulkan akibat adanya emisi gas, apabila salah satu zat yang dikeluarkan dari adanya sisa pembakaran kendaraan bermotor adalah gas karbon dioksida (CO₂). Karbon dioksida sendiri apabila diabaikan terus menerus kemudian akan terakumulasi di atmosfer dan berpotensi menyebabkan pemanasan global dan dalam jangka panjang akan mengakibatkan perubahan iklim yang berbahaya bagi kehidupan manusia. Secara langsung dan tak langsung emisi menyumbangkan lebih dari 35% terhadap pemanasan global dan sejalan dengan emisi CO₂ yang dari waktu ke waktu yang terus meningkat. Lebih lanjut emisi gas buang juga memberikan pengaruh terhadap kesehatan manusia dan gangguan metabolisme tubuh. (Agus, Yudi Prabuwo 2013)

2.1.5 Dampak Pada Kesehatan

Tabel 2.2 Dampak Gas Emisi Terhadap Kesehatan (Sumber : Laporan WHO-Europe 2004 dalam Rimantho 2010)

Pencemaran	Dampak
CO(Carbon Monoksida)	Mengganggu konsentrasi dan refleksi tubuh, menyebabkan kantuk, dan dapat mempengaruhi penyakit kardiovaskular akibat defenisi oksigen. CO mengikat hemoglobin sehingga jumlah oksigen dalam darah berkurang
CO ₂ (Carbon Dioksida)	Meningkatkan risiko penyakit paru-paru dan menimbulkan batuk pada pemajanan singkat dengan konsentrasi tinggi.
HC (Hidrokarbon)	Menimbulkan iritasi mata, batuk, rasa mengantuk, bercak kulit, dan perubahan kode genetic
NOx	Meningkatkan total mortalitas, penyakit kardiovaskular, mortalitas pada bayi, serangan asma, dan penyakit paru-paru kronis.

2.2. Knalpot

Knalpot adalah merupakan instrument atau alat yang digunakan untuk menyalurkan gas buang yang dihasilkan dari sisa pembakaran mesin dengan jalan pipa yang menjulur untuk akses pembuangan, knalpot masih satu kesatuan dari proses langkah buang. Pada knalpot inilah, efek turbulensi terus menerus terjaga. Fungsi lain knalpot adalah sebagai peredam getaran, getaran akibat naik turun piston dari kepala silinder diteruskan ke body knalpot, rangka.

2.2.1. Jenis – Jenis Knalpot

Menurut Syaief, dkk.,2014 jenis knalpot ada dua antara lain:

1. Knalpot chamber, konstruksi knalpot chamber seperti knalpot standar, knalpot jenis ini baik pada putaran bawah.
2. Knalpot free flow, konstruksi dari knalpot free flow baik bekerja pada mesin dengan putaran tinggi. Knalpot jenis ini sistem pelepasan gas buang lebih ringkas dan singkat turbulensinya, sehingga dikenal dengan sistem pembuangan los (free flow).

2.1.2. Bagian Bagian Knalpot

Knalpot sendiri pada kendaraan bermotor terdiri dari beberapa bagian. Berikut Ini adalah beberapa bagian dari knalpot pada kendaraan bermotor:

1.Header knalpot

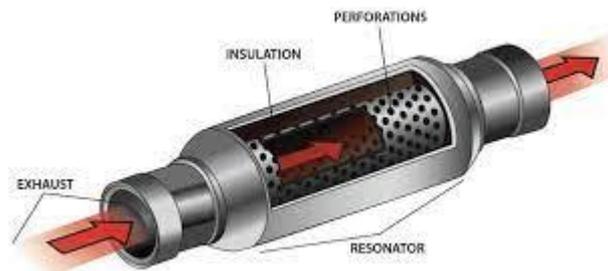
Header merupakan bagian ujung knalpot yang dipasangkan kepada mesin. Jumlah header pada knalpot sangat tergantung dengan berapa banyak jumlah pipa yang diperlukan atau dimiliki oleh mesin kendaraan. Fungsi utama dari header adalah menghubungkan keseluruhan dari sistem knalpot (full system) dengan sistem buang atau ex yang dimiliki oleh suatukendaraan bermotor. Sistem ex atau gas buang ini merupakan sisa dari hasil pembakaran yang terjadi di alam ruang bakar suatu kendaraan bermotor.



Gambar 2.1 Header Knalpot (Motogokil, n.d.)

2. Resonator Knalpot

Resonator Knalpot atau yang biasa kita kenal dengan nama saringan knalpot. Resonator banyak dimiliki oleh kendaraan bermotor yang berfungsi untuk mengolah bunyi bising yang dihasilkan oleh hasil pembakaran mesin.



Gambar 2.2 Resonator Knalpot (Taufik, n.d.)

3. Silencer Knalpot

Silencer juga memiliki fungsi yang mirip dengan resonator, untuk membantu meminimalisir suara bising yang dihasilkan oleh hasil pembakaran dari kendaraan bermotor. Silencer biasa diletakkan pada bagian ujung knalpot. Pada kendaraan bermotor roda dua, biasanya silencer juga berisi saringan yang berfungsi sebagai resonator, sedangkan pada roda 4 biasanya resonator berada di bagian kolong mobil, sedangkan silencer berada terpisah.



Gambar 2.3 Silencer Knalpot_(Suzuki, 2021)

2.3 Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodikunsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol (sma). Didalam udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida (Al_2O_3) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa. (Anton J. Hartono, 1992).

2.3.1 Sifat-Sifat Aluminium

1. Berat Aluminium

Aluminium punya sifat densitas yang rendah hanya sepertiga dari kepadatan atau densitas dari logam baja. Densitas logam ini hanya 2,7 g/cm³ atau kalau dikonversikan ke kg/m³ menjadi 2.700 kg/m³ Kepadatan yang relatif kecil membuatnya ringan tapi sama sekali tidak mengurangi kekuatannya.

2. Kekuatan Aluminium

Berbagai paduan logam aluminium memiliki kekuatan tarik antara 70 hingga 700 mega pascal. Kekuatan yang sangat besar. Sifat aluminium ini unik tidak seperti baja. Pada suhu rendah baja akan cenderung rapuh tapi sebaliknya dengan aluminium. Pada suhu rendah kekuatannya akan meningkat dan pada suhu tinggi malah menurun.

3. Pemuai linier

Jika dibandingkan dengan logam lain, aluminium punya koefisien ekspansi linier yang relatif besar.

4. Konduktivitas

Sifat konduktivitas panas dan listrik aluminium sangat baik. Luar biasanya lagi konduktor dari aluminium beratnya hanya setengah dari konduktor yang terbuat dari bahan Aluminium

5. Reflektor

Aluminium adalah reflektor cahaya tampak yang baik. Sifat aluminium ini juga berlaku untuk pemancaran panas.

6. Tahan karat (korosi)

Aluminium bereaksi dengan oksigen di udara membentuk lapisan oksida tipis yang ampuh melindungi badan logam dari korosi.

7. Non Magnetik

Aluminium adalah bahan nonmagnetik. Karena sifatnya ini maka aluminium sering digunakan sebagai alat dalam perangkat X-ray yang menggunakan magnet.

8. Tidak Beracun

Logam aluminium punya sifat tidak beracun sama sekali. Ia berada pada urutan ketiga setelah oksigen dan silikon unsur yang paling banyak di kerak bumi. Beberapa senyawa aluminium juga secara alami terbentuk dalam makanan yang kita konsumsi setiap hari.

2.1.2 Skrap Aluminium

Skrap Aluminium terdiri dari sisa pembuatan dan konsumsi produk seperti sisa pembubutan, bagian kendaraan, persediaan bangunan, dan bahan surplus. Tidak seperti limbah, skrap memiliki nilai moneter, terutama logam yang diperoleh kembali, dan bahan non-logam juga ditemukan untuk didaur ulang.



Gambar.2.3 Skrap *aluminium*

2.5. Bahan-Bahan Untuk Pembuatan Pola (inti)

Bahan-bahan yang dipakai untuk pembuatan pola adalah kayu, resin atau logam. Dalam hal-hal tertentu atau pemakaian khusus juga bisa dipakai bahan seperti plaster atau lilin. Kayu yang dipakai untuk pola adalah kayu saru, kayu aras, kayu pinus, kayu mahoni, kayu jati dan lain-lain. Pemilihan kayu menurut macam dan ukuran pola, jumlah produksi, dan lamanya pemakaian. Kayu yang kadar airnya lebih dari 14 % tidak dapat dipakai karena akan terjadi pelentingan yang disebabkan perubahan kadar air dalam kayu. Kadang-kadang suhu udara luar harus diperhitungkan, dan ini tergantung pada daerah dimana pola itu dipakai (Universitas Negeri Yogyakarta, 2020).

2.6 Bahan Bakar Minyak (BBM)

Spesifikasi yang dimiliki pertalite yang bersumber dari web resmi PT Pertamina berdasarkan keputusan Dirjen Migas No.313.K/10/DJ.T/2013 tentang Standar dan Mutu Bahan Bakar Bensin 90 yang dipasarkan di dalam negeri. Adapun keunggulan produk bahan bakar terbaru dari Pertamina adalah tidak menimbulkan kotoran atau kerak pada mesin. Bahannya yang tidak mengandung logam dan timbal sesuai dengan program Langit Biru milik kementerian lingkungan. Selain itu, dengan menggunakan Pertalite, pembakaran mesin Anda dapat lebih optimal daripada Premium. Sehingga mesin lebih bertenaga dan halus. Bahan adiktif dan pewarnanya pun lebih berkualitas jika di bandingkan dengan Premium. Spesifikasi BBM Pertalite diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Spesifikasi BBM Pertalite (Pertamina, 2020)

No	Kandungan	Keterangan
1	Kadar oktan	: 90-91
2	Kandungan sulfur maksimal	: 0,05% m/m (setara dengan 500ppm)
3	Kandungan timbal	: Tidak ada
4	Kandungan Logam	: Tidak ada
5	Bensin maksimal	: 2,0%
6	Berat jenis	: Maksimal 770 kg/m ³ minimal 715 kg/m ³ (pada 15°C)
7	Penampilan	: Jernih dan terang

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu

3.1.1 Tempat Penelitian

Adapun tempat pelaksanaan dalam menyelesaikan Analisa pemanfaatan skrap aluminium pada saluran gas dalam sepeda motor untuk mengurangi pencemaran udara ini adalah di Laboratorium

Adapun waktu pelaksanaan Analisa pemanfaatan skrap aluminium pada saluran gas dalam sepeda motor untuk mengurangi pencemaran udara ini dimulai dari persetujuan yang diberikan oleh pembimbing, kemudian dilakukan pada bulan Januari 2023 sampai dinyatakan selesai.

Jadwal dan Kegiatan Saat Melakukan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Pengajuan Judul							
2	Studi Literatur							
3	Penulisan Laporan							
4	Seminar Proposal							
5	Pembuatan Alat							
5	Pengambilan Data dan Menganalisa							
6	Penulisan Laporan Akhir							
7	Seminar Hasil dan Sidang Sarjana							

3.2 Bahan Dan Alat

3.2.1 Bahan penelitian

Bahan- bahan penelitian yang diperlukan pada penelitian ini sebagai berikut:
Kertas untuk gambar sketsa dan print out gambar rancangan kenalpot yang

dimodifikasi serta direkayasa. Kertas juga diperlukan untuk mencatat saat penelitian.

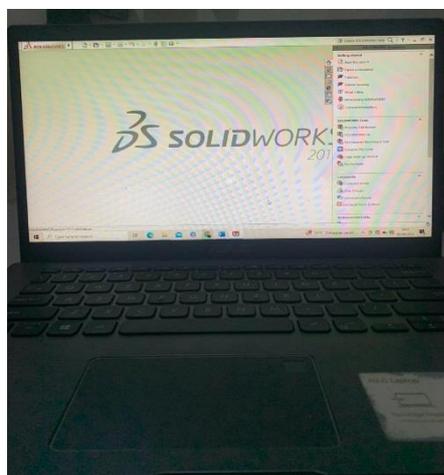
Bahan-bahan yang diperlukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kertas untuk gambar sketsa dan print out gambar rancangan pipa berongga pemanfaatan skrap alumunium dimodifikasi serta direkayasa. Kertas juga diperlukan untuk mencatat saat penelitian.
2. Cetakan pasir, Skrap Alumunium yang telah di lelehkan , untuk pembuatan resonator knalpot
3. BBM pertalite, bahan bakar minyak yang digunakan untuk diuji
4. Skrap atau gram sisa pembubutan, yang akan digunakan adalah gram skrap alumunium, berat skrap atau gram akan menjadi variable pada penelitian ini. Skrap ini nantinya akan di lelehkan lalu di tuang ke dalam pasir cetak untuk mendapatkan bentuk pipa berongga yang di gunakan sebagai resonator knalpot.

3.2.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antra lain:

1. Komputer yang dilengkapi dengan *Software solidworks* untuk merancang part knalpot atau susunan part knalpot yang berupa assembling dengan tampilan 3D untuk mempresentasikan part sebelum real partnya dibuat atautampilan 2D (drawing) untuk gambar proses pemesinan.



Gambar 3.1. Leptop yang dilengkapi dengan *software solidworks*
2. Sepeda Motor Beat 115 CC Tahun 2015

Spesifikasi HONDA Beat

Tipe mesin	: 4-langkah, SOHC dengan pendinginan udara, eSP
Volume Langkah	: 108,2 cm ³
Diameter X Langkah	: 50 x 55,1 mm
Perbandingan Kompresi	: 9,5 : 1
Daya Maksimum	: 6.38 kW (8.68 PS) / 7.500 rpm
Torsi Maksimum	: 9,01 Nm (0,92 kgf.m) / 6.500 rpm
Kapasitas Minyak Pelumas Mesin	: 0,7 liter pada penggantian periodik
Tipe Kopling	: Otomatis, sentrifugal, tipe kering
Tipe Transmsi	: Otomatis, V-Matic
Pola Pengoperan Gigi	: -
Tipe Starter	: ACG Starter, pedal & elekterik
Tipe Battery	: Battery 12V-3Ah, tipe MF
Busi :	NGK MR9C-9N / Denso V27EPR-N9
Pengapian	: Full Transisterized, Baterai
Panjang X Lebar X Tinggi	: 1.873 x 678 x 1.074 mm
Jarak Sumbu Roda	: 1.256 mm
Jarak terendah ke tanah	: 140 mm
Berat kosong	: 95 kg / (Tipe CW: 94 kg)
Kapasitas tangki bahan bakar	: 3,7 liter
Rangka	: Tulang punggung
Tipe suspensi depan	: Teleskopik
Tipe suspensi belakang	: Lengan ayun dengan peredam kejut tunggal
Ukuran Ban Depan	: 80/90 - 14 M/C 40P
Ukuran Ban Belakang	: 90/90 - 14 M/C 46P
Rem Depan	: Cakram Hidrolik dengan Piston Tunggal
Rem Belakang	: Tromol - sistem pengereman CBS



Gambar.3.2. Sepeda motor Honda Beat

3. Kunci pas, obeng, kunci sock, dan kunci lainnya untuk membuka dan memasang knalpot standart dan knalpot yang telah dibuat.
4. Mesin las Asetilin, untuk menyambung part knalpot



Gambar 3.3. Mesin las Asetilin

5. Gas Analyzer, sebagai alat instrument yang bermanfaat untuk mengukur proporsi dan komposisi dari gabungan gas. Gas yang bisa diukur dari perangkat ini ialah gas karbon dioksida (CO_2), Karbon monoksida (CO), dan Hidro Carbon (HC)



Gambar 3.4. Gas Analyzer

6. Sebagai alat yang dimasukkan ke dalam knalpot untuk menghubungkan ke dalam gas analyzer

7. Tacometer untuk mengukur putaran mesin



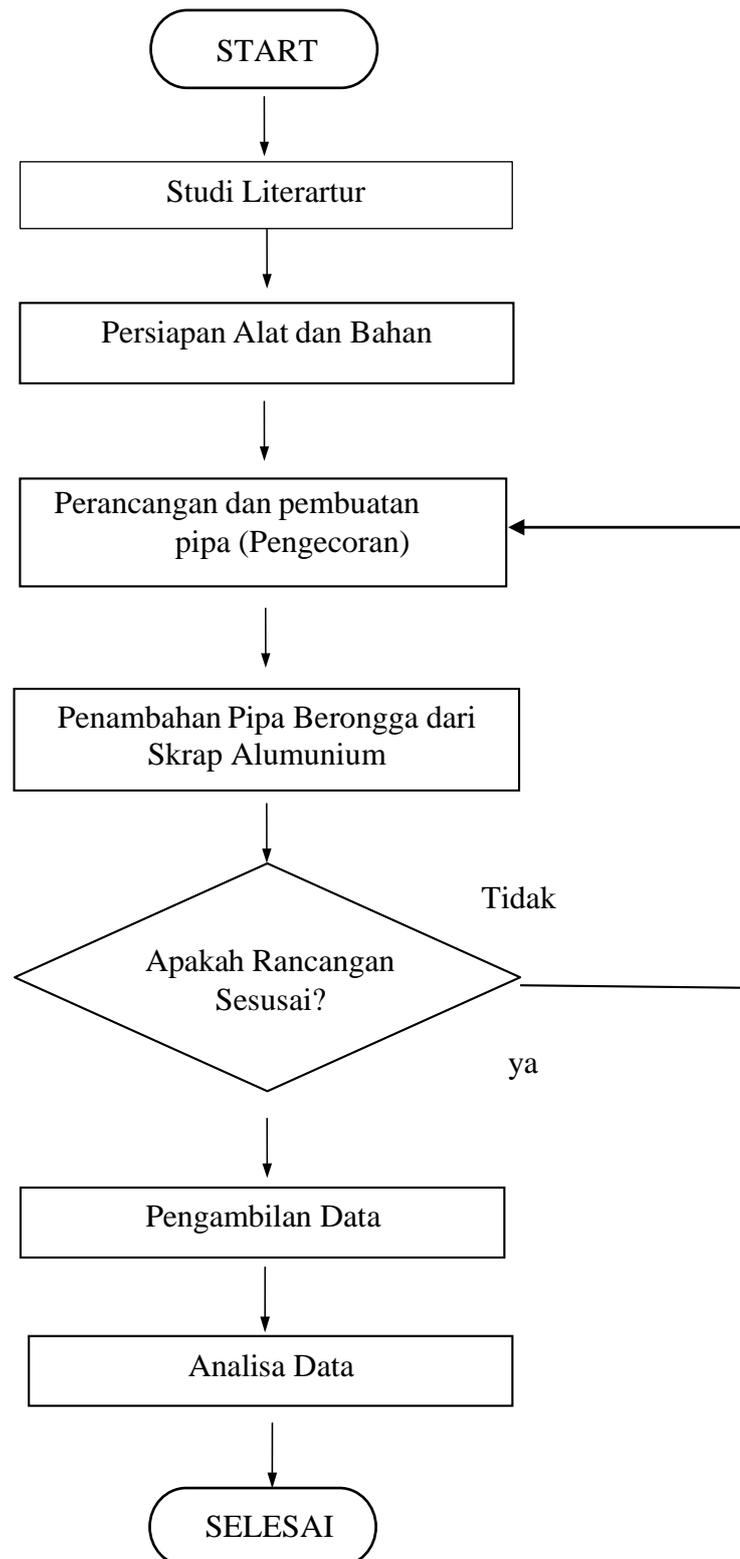
Gambar 3.6. Tachometer BRT

8. Anemometer, untuk mengukur kecepatan angin gas buang sepeda motor sekaligus mengukur suhu udara keluaran knalpot



Gambar 3.7 Anemometer

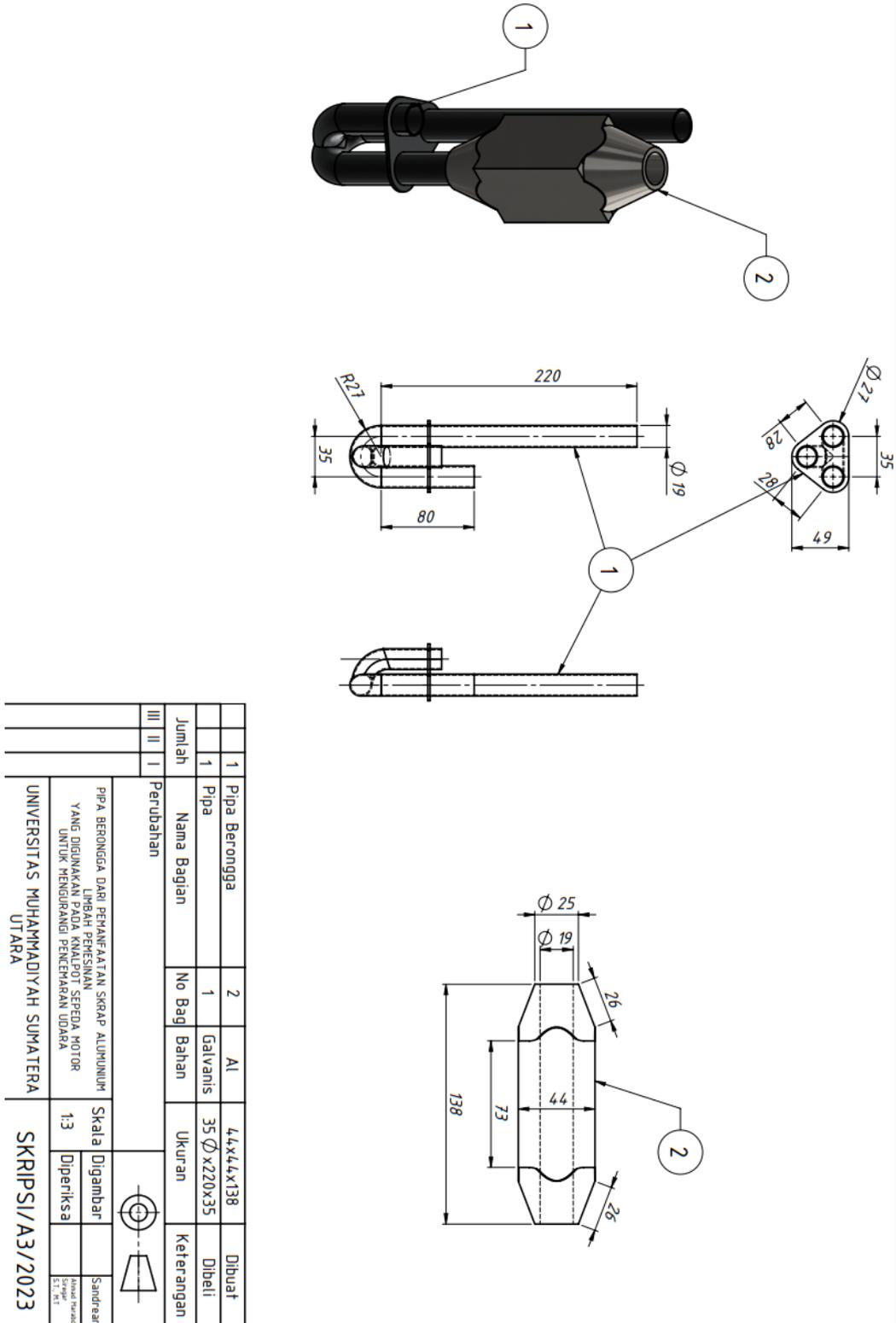
3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.9 Diagram alir penelitian

3.4 Rancangan Alat Penelitian

Merancang setiap part knalpot, dan hasilnya seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3.10. Rancangan Knalpot

3.5 Pembuatan Pipa Berongga (pengecoran)

1. Membuat sketsa gambar rakayasa dan modifikasi kenalpot
2. Menyalakan computer dan menggambar dengan sofwer solidworks untuk merancang setiap part dalam modifikasi kenalpot
3. Pembuatan pola, sesuai dengan bentuk coran yang akan dibuat
4. Persiapan pasir cetak
5. Pembuatan cetakan
6. Pembuatan inti (bila diperlukan)
7. Peleburan Skrap Alumunium
8. Penuangan alumunium cair kedalam cetakan
9. Pendinginan dan pembekuan
10. Pembongkaran cetakan pasir
11. Pembersihan dan pemeriksaan hasil coran
12. Produk cor selesai.

Pembuatan kenalpot

1. Membeli kenalpot standart untuk dimodifikasi
2. Pembuatan kenalpot modifikasi sesuai rancangan
3. Menyatukan setiap part kenalpot

3.6 Prosedur Pengujian

Dalam pendahuluan telah disebutkan bahwa tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan tingkat emisi dan kemampuan mereduksi emisi yang di hasilkan oleh antara knalpot standar dengan kenalpot rekayasa yang sudah di tambahkan pipa berongga dari pemanfaatan skrap alumunium limbah pemesinan. Guna mencapai tujuan tersebut maka dilakukan penelitian dengan menggunakan metode penelitian eksperimental yaitu metode dengan cara membandingkan antara penggunaan knalpot standard dan knalpot rekayasa dengan perlakuan variable (pemanfaatan sisa pembubutan yang disebut skrap alumunium untuk mengurangi emisi gas buang).

Pengujian dan analisa data pada uji emisi gas buang ini akan diatur variable terikat terikatnya dengan putaran mesin ± 4500 rpm dan dengan suhu tabung luar kenalpot 50 aggnih $C^{\circ}91^{\circ}C$. Setelah pengujian model kenalpot standart, kemudian

kenalpot rekayasa yang dimodifikasi pipa berongga dari pemanfaatan skrap alumunium limbah pemesinan.

3.6.1 Pengujian

3.6.1.1 Pengujian Kenalpot Standart

1. Mempersiapkan sepeda motor dan mengisi BBM pertalite.
2. Mempersiapkan alat dan bahan penelitian
3. Set up alat uji Gas analyzer dan probe, probe ini sebagai alat yang dimasukkan kedalam kenalpot untuk menghubungkan ke gas analyzer
4. Menunggu ± 20 menit untuk memanaskan knalpot
5. Membuka cover (belum di perbaiki)
6. Putaran mesin di atur hingga ± 4500 rpm
7. Mengukur kecepatan angin gas buang.
8. Mengukur panas pangkal tabung knalpot.
9. Implementasi dan menguji pada kenalput standart.
10. Masukkan probe ke knalpot
11. Perhatikan gas analyzer, baca data emisi gas buang yang diprin-out.
12. Catat data untuk diolah atau dianalisa.
13. Buka kenalpot standart.

3.6.3.2 Pengujian Knalpot Modifikasi

Dengan pipa berongga dari pemanfaatan skrap limbah pemesinan yang telah di modifikasi kedalam knalpot hasil modifikasi dengan tahap sebagai berikut. Persiapkan knalpot yang telah dimodifikasi.

1. Buka tabung knalpot
2. Masukkan pipa berongga alumunium dengan diameter 40mm, dan 44 mm kedalam knalpot yang telah di modifikasi
3. Pasang kembali pipa dan tabung bagian dalam yang telah di tambahkan pipa berongga dari pemanfaatan skrp alumunium pada tabung bagian luar knalpot.
4. Hidupkan kembali sepeda motor.
5. Putaran mesin diatur hingga ± 4500 rpm

6. Masukkan probe ke kenalpot
7. Perhatikan gas analyzer, baca data emisi gas buang yang diprin-out
8. Catat data untuk di olah atau dianalisa.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahapan pembuatan dan pengujian

4.1.1. Tahapan Pembuatan

1. Knalpot Standart



Gambar 4.1 Knalpot Standart Beat

2. Pembelahan Knalpot

Knalpot di belah menggunakan Blinder dan gergaji besi agar dapat diketahui bagian-bagian dalam knalpot sehingga dapat memudahkan dalam proses pembuatan pipa berongga



Gambar 4.2 Proses Pembelahan Knalpot

a. Bagian dalam resonator knalpot standart

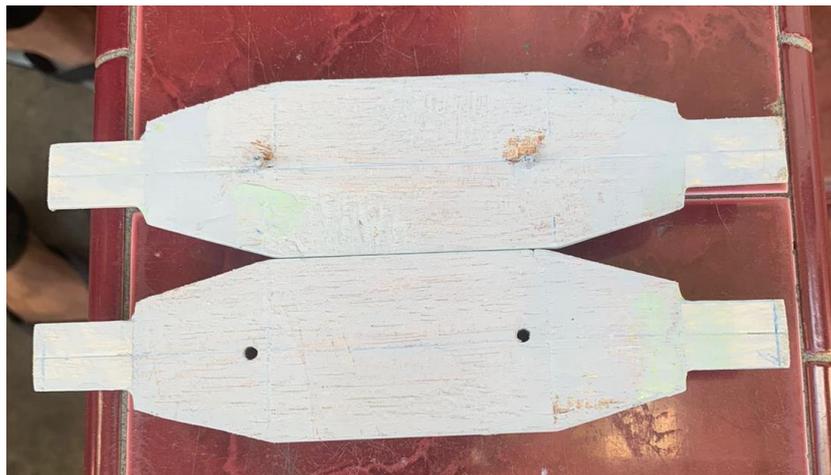
Bagian dalam resonator knalpot standart di ambil dan diukur untuk memudahkan pembuatan core pengecoran



Gsmbar 4.3 Bagian dalam resonator knalpot standart

b. Pembuatan core (Inti)

Fungsinya adalah membuat rongga pada benda coran. Inti dibuat terpisah dengan cetakan dan dirakit pada saat cetakan akan digunakan (Universitas Negri Yogyakarta 2020).



Gambar 4.4 Core (inti)

3. Proses pembuatan pipa berongga dari skrap alumunium limbah pemesinan

a. Pembuatan Cetakan

Pembuatan cetakan, sesuai dengan bentuk coran yang akan dibuat



Gambar 4.5 Pembuatan Cetakan

b. Pembuatan Inti

Inti adalah pasir yang dibentuk yang dipadatkan kemudian di pasangkan pada rongga cetakan untuk mencegah pengisian logam pada bagian yang seharusnya berbentuk lubang atau rongga dalam suatu coran.



Gambar 4.6 Pembuatan Inti (Rongga)

c. Penuangan logam cair kedalam cetakan.



Gambar 4.7 Penuangan logam cair kedalam cetakan

d. Pengambilan pipa berongga yang sudah tercetak dari dalam cetakan.



Gambar 4.8 Pipa berongga yang sudah dicetak

e. Proses Pembubutan

Untuk merapikan dan membuat ukuran pipa berongga sesuai dengan yang di inginkan



Gambar 4.9 Proses pembubutan

f. Pipa berongga setelah proses finishing



Gambar 4.10 Pipa berongga dari pemanfaatan skrap Alumunium

g. Menyatukan setiap part knalpot yang telah dimodifikasi



Gambar 4.11 Knalpot standart yang telah dimodifikasi

4.1.2 Tahapan Pengujian

4.1.2.1 Pengujian Knalpot Standart

1. Mempersiapkan sepeda motor dengan BBM pertalite



Gambar 4.12 Sepeda Motor Beat

2. Membuka cover baterai sepeda motor, hal ini dilakukan untuk memasang *Fi Scanner* ke socket DLC untuk mengukur putaran mesin.



Gambar 4.13 Socket DLC (data link conector)

3. Proses pengukuran putaran mesin sekaligus mengukur suhu pada mesin menggunakan alat *Fi Scanner*.



gambar 4.14 Pengukuran rpm dengan *Fi Scanner*

4. Ukur kecepatan angin gas buang menggunakan alat anemometer dengan jarak alat ukur dari lubang knalpot 7 inchi.



Gambar 4.15 Pengukuran kecepatan angin gas buang

5. Pengujian emisi pada knalpot standard Honda Beat 115cc tahun 2015



Gambar 4.16 Pengujian emisi gas buang dengan menggunakan Gas Analyzer

6. Baca data emisi gas buang yang sudah diprint out

7. Catat data untuk dianalisis. Berikut ini adalah contoh tabel yang akan diisi saat pengujian dan pengambilan data.

4.1.2.2 Pengujian knalpot modifikasi menggunakan silinder berongga dari pemanfaatan skrap alumunium Dengan memodifikasi bagian katalis knalpot menggunakan pipa berongga dari pemanfaatan skrap alumunium berdiameter 44mm, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan knalpot yang telah dimodifikasi menggunakan pipa berongga alumunium berdiameter 44mm



Gambar 4.17 Knalpot modifikasi menggunakan pipa berongga 44mm

2. Pemasangan knalpot yang telah dimodifikasi pada sepeda motor honda beat 115cc



Gambar 4.18 Proses pemasangan knalpot

3. Proses pengukuran putaran mesin sekaligus mengukur suhu pada mesin menggunakan alat *Fi Scanner*.



Gambar 4.19 Pengukuran rpm dengan *Fi scanner*

4. Ukur kecepatan angin gas buang menggunakan alat anemometer dengan jarak alat ukur dari lubang knalpot 7 inchi.



Gambar 4.20 Pengukuran kecepatan angin gas buang

5. Pengujian emisi pada knalpot modifikasi honda beat 115cc tahun 2015



Gambar 4.21 Pengujian pada knalpot modifikasi

6. Baca emisi gas buang yang sudah di print out

7. Catat data untuk di olah atau dianalisis. Berikut ini adalah contoh tabel yang akan diisi saat pengujian dan pengambilan data.

4.1.2.3 Pengujian knalpot modifikasi menggunakan silinder berongga dari pemanfaatan skrap alumunium

Dengan memodifikasi bagian katalis knalpot menggunakan pipa berongga dari pemanfaatan skrap alumunium berdiameter 48mm, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan knalpot yang telah dimodifikasi menggunakan pipa berongga alumunium berdiameter 48mm
2. Pemasangan knalpot yang telah dimodifikasi pada sepedamotor honda beat 115cc
3. Proses pengukuran putaran mesin sekaligus mengukur suhu pada mesin menggunakan alat *Fi Scanner*.
4. Ukur kecepatan angin gas buang menggunakan alat anemometer dengan jarak alat ukur dari lubang knalpot 7 inchi.
5. Pengujian emisi pada knalpot modifikasi honda beat 115cc tahun 2015
6. Baca emisi gas buang yang sudah di printout

7. Catat data untuk diolah atau dianalisis. Berikut ini adalah contoh tabel yang akan diisi saat pengujian dan pengambilan data

4.1. Hasil Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka diperoleh hasil pengujian emisi gas buang pada 3 jenis knalpot yang berbeda-beda, yang di tampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.1. Hasil pengujian knalpot standar

No.	Waktu Menit	Putaran Mesin Rpm	Kecepatan angin gas buang m/s	Suhu Mesin °C	Carbon monoksida (CO)	Hidro carbon (HC)	Carbon dioksida (CO ₂)
					%	Ppm	%
1	Ke 10	4500	12,5	69°	6,74	459	4,5
2	Ke 20	4500	13	73°	7,05	552	4,2
3	Ke 30	4500	10,6	75°	4,43	281	6,7
4	Ke 40	4500	10,3	78°	5,56	231	4,8
5	Ke 50	4500	11,2	77°	5,59	327	4,8
6	Ke 60	4500	10,5	81°	6,87	390	4,1

Tabel 4.2 Hasil pengujian knalpot modifikasi penambahan pipa Aluminium 44mm

No.	Waktu Menit	Putaran Mesin Rpm	Kecepatan angin gas buang m/s	Suhu Mesin °C	Carbon monoksida (CO)	Hidro carbon (HC)	Carbon dioksida (CO ₂)
					%	Ppm	%
1	Ke 10	4500	10,1	59°	1,21	324	4,5
2	Ke 20	4500	8,6	65°	2,74	405	5,2
3	Ke 30	4500	10,6	69°	4,01	250	5,8
4	Ke 40	4500	12,7	73°	3,60	220	5,4
5	Ke 50	4500	10,1	75°	4,15	208	4,2
6	Ke 60	4500	10,8	78°	6,06	304	3,7

Tabel 4.3 Hasil pengujian knalpot modifikasi penambahan pipa Aluminium 48mm

No.	Waktu Menit	Putaran Mesin Rpm	Kecepatan angin gas buang m/s	Suhu Mesin °C	Carbon monoksida (CO)	Hidro carbon (HC)	Carbon dioksida (CO ₂)
					%	Ppm	%
1	Ke 10	4500	12,5	60°	2,77	444	3,5
2	Ke 20	4500	11,5	67°	4,64	240	5,5
3	Ke 30	4500	13,2	65°	1,87	259	6,0
4	Ke 40	4500	11,5	79°	2,44	155	3,6
5	Ke 50	4500	11,7	86°	5,57	311	3,9
6	Ke 60	4500	11,5	91°	4,61	358	5,8

4.2. Pembahasan Penelitian

4.2.1 Presentasi dan penurunan emisi menggunakan pipa diameter 44mm

Dengan menggunakan persamaan 2 dan 3 pada halaman 9 dihitung persentase emisi serta persentase penurunan emisi yang terjadi

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{\text{rata-rata emisi dengan tembaga}}{\text{rata rata emisi tanpa tembaga}} \times 100 \%$$

$$\text{Persentase penurunan emisi} = 100 \% - \text{persentase emisi} (\%)$$

- a. Perentase dan penurunan unsur carbon monoksida (CO) pada emisi gas buang knalpot modifikasi dengan pipa alumunium diameter 44mm.

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 10

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{1,21}{6,74} \times 100 \% = 0,17\%$$

Penurunan emisi CO adalah:

$$100\% - 0,17\% = 99,83\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 20

- $\text{Presentasi Emisi} = \frac{2,74}{7,05} \times 100 \% = 0,38\%$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,38\% = 99,62\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 30

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{4,01}{4,43} \times 100 \% = 0,90\%$$

Penurunan emisi CO adalah:

$$100\% - 0,90\% = 99,1\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 40

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{3,60}{5,56} \times 100 \% = 0,64\%$$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,64\% = 99,36\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 50

- Presentasi Emisi = $\frac{4,15}{5,59} \times 100 \% = 0,74\%$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,74\% = 99,26\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 60

Presentasi Emisi = $\frac{6,06}{6,87} \times 100 \% = 0,88\%$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,88\% = 99,12\%$$

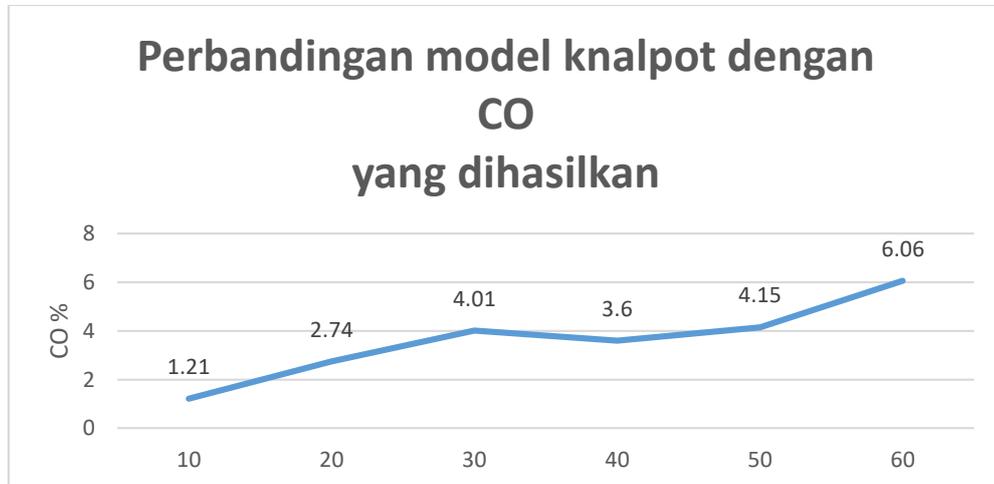
Tabel 4.4. Data persentase CO pada emisi dan penurunan emisi gas buang

NO	Waktu	CO	Pengukuran CO
	Menit	(%)	(%)
1	Ke 10	1,21	99,83
2	Ke 20	2,74	99,62
3	Ke 30	4,01	99,1
4	Ke 40	3,60	99,36
5	Ke 50	4,15	99,26
6	Ke 60	6,06	99,12

Kondisi CO pada emisi gas buang dengan knalpot modifikasi dengan pipa alumunium berdiameter 44mm menit ke 10 terjadi penurunan 99,83% , menit ke 20 terjadi penurunan 99,62%, menit ke 30 menurun 99,1%, menit ke 40 menurun 99,36%, menit ke 50 menurun 99,26%, dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan 99,12%. Menurut (Muhammad, Amin, & Sugiarto, 2018) menurunnya kandungan emisi gas CO pada sepeda motor dikarenakan sifat dari kimia alumunium yaitu dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C_uO sehingga gas buang karbon monoksida apabila melewati tembaga panas akan beroksidasi dengan oksigen menjadi CO_2 , bahwa pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu

sekitar 300°C tembaga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C_uO yang berwarna hitam.

Untuk melihat lebih jelas, maka data disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini dengan membandingkan emisi gas buang yang sejenis dengan putaran yang sama tetapi menggunakan diameter knalpot yang berbeda.



Gambar 4.22 Grafik model knalpot dengan CO yang di hasilkan

b. Perentase dan penurunan unsur carbon monoksida (HC) pada emisi gas buang knalpot modifikasi dengan pipa alumunium diameter 44mm.

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 10

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{324}{459} \times 100 \% = 0,70\%$$

Penurunan emisi CO adalah:

$$100\% - 0,70\% = 99,3\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 20

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{405}{552} \times 100 \% = 0,73\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 0,73\% = 99,27\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 30

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{250}{281} \times 100 \% = 0,88\%$$

Penurunan emisi HC adalah:

$$100\% - 0,88\% = 99,12\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 40

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{220}{231} \times 100 \% = 0,95\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 0,95\% = 99,05\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 50

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{208}{327} \times 100 \% = 0,63\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 0,63\% = 99,37\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 60

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{304}{390} \times 100\% = 0,77\%$$

Penurunan HC adalah:

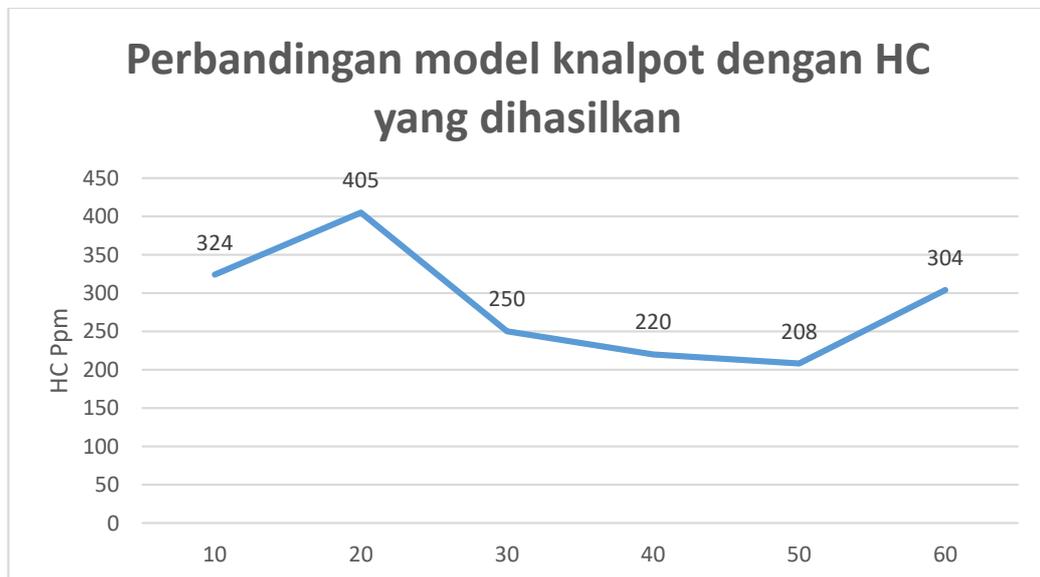
$$100\% - 0,77\% = 99,23\%$$

Tabel 4.5. Data persentase HC pada emisi dan penurunan emisi gas buang

NO	Waktu	HC	Pengukuran HC
	Menit	(%)	(%)
1	Ke 10	324	99,3
2	Ke 20	405	99,27
3	Ke 30	250	99,12
4	Ke 40	220	98,05
5	Ke 50	208	99,37
6	Ke 60	304	99,23

Kondisi HC pada emisi gas buang dengan knalpot dimodifikasi dengan pipa alumunium berdiameter 44mm menit ke 10 terjadi penurunan 99,3% ,menit ke 20 99,27%, menit ke 30 terjadi penurunan sebesar 99,12%, menit ke 40 juga mengalami penurunan sebesar 99,05%, menit ke 50 mengalami penurunan 99,37% dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan sebesar 99,23%. Menurut (Muhammad et al., 2018) menurunnya kandungan emisi gas HC pada sepeda motor dikarenakan sifat dari kimia alumunium yaitu dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C_uO sehingga gas buang hidrokarbon apabila melewati tembaga panas akan beroksidasi dengan oksigen menjadi H_2O , pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu sekitar $300^{\circ}C$ alumunium dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C_uO yang berwarna hitam.

Untuk melihat lebih jelas, maka data disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini dengan membandingkan emisi gas buang yang sejenis dengan putaran yang sama tetapi menggunakan diameter knalpot yang berbeda.



Gambar 4.23. Grafik model knalpot dengan HC yang dihasilkan

- c. Perentase dan penurunan unsur carbon monoksida (CO_2) pada emisi gas buang knalpot modifikasi dengan pipa alumunium diameter 44mm.
- Untuk kandungan (CO_2) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 10

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{4,5}{4,5} \times 100 \% = 1$$

Penurunan emisi CO₂ adalah:

$$100\% - 1\% = 99\%$$

- Untuk kandungan (CO₂) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 20

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{5,2}{4,2} \times 100\% = 1,23\%$$

Penurunan CO₂ adalah:

$$100\% - 1,23\% = 98,77\%$$

- Untuk kandungan (CO₂) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 30

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{5,8}{6,7} \times 100\% = 0,86\%$$

Penurunan emisi CO₂ adalah:

$$100\% - 0,86\% = 99,14\%$$

- Untuk kandungan (CO₂) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 40

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{5,4}{4,8} \times 100\% = 1,12\%$$

Penurunan CO₂ adalah:

$$100\% - 0,12\% = 99,88\%$$

- Untuk kandungan (CO₂) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 50

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{4,2}{4,8} \times 100\% = 0,87\%$$

Penurunan CO₂ adalah:

$$100\% - 0,87\% = 99,13\%$$

- Untuk kandungan (CO₂) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 60

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{3,7}{4,1} \times 100\% = 0,90\%$$

Penurunan HC adalah:

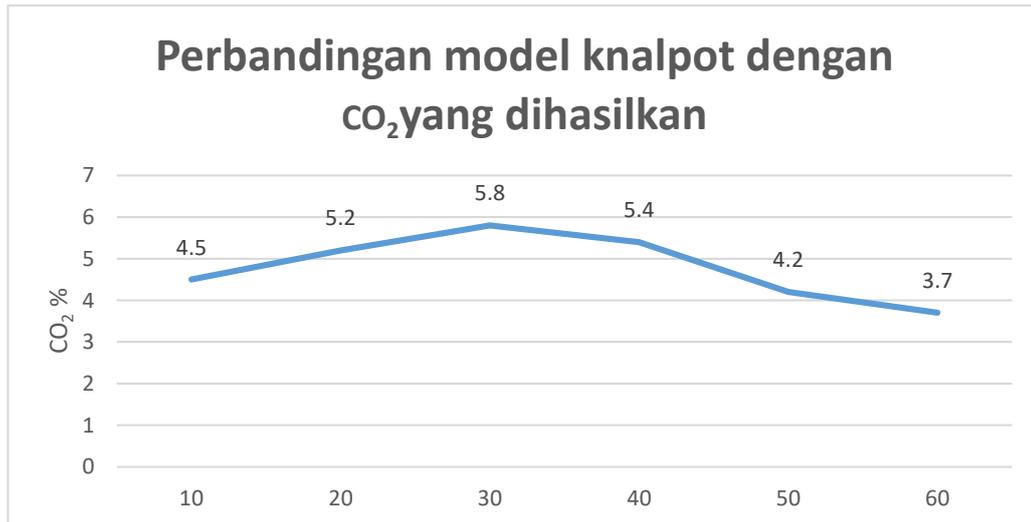
$$100\% - 0,90\% = 99,1\%$$

Tabel 4.6. Data persentase CO₂ pada emisi dan penurunan emisi gas buang

NO	Waktu	CO ₂	Pengukuran CO ₂
	Menit	(%)	(%)
1	Ke 10	4,5	99
2	Ke 20	5,2	98,77
3	Ke 30	5,8	99,14
4	Ke 40	5,4	99,88
5	Ke 50	4,2	99,13
6	Ke 60	3,7	99,1

Kondisi CO₂ pada emisi gas buang dengan knalpot dimodifikasi dengan pipa alumunium berdiameter 44mm menit ke 10 terjadi penurunan 99 % , menit ke 20 naik 98,77%, sedangkan menit ke 30 mengalami penurunan sebesar 99,14%, menit ke 40 turun 99,88% menit ke 50 turun 99,13%, dan menit ke 60 emisi gas buang terjadi penurunan 99,1 %. Menurut (Muhammad et al., 2018) menurunnya kandungan emisi gas CO₂ pada sepeda motor dikarenakan sifat dari kimia alumunium yaitu dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C_uO sehingga gas buang karbon monoksida apabila melewati tembaga panas akan beroksidasi dengan oksigen menjadi CO, yang mengemukakan bahwa Pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu sekitar 300°C alumunium dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C_uO yang berwarna hitam.

Untuk melihat lebih jelas, maka data disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini dengan membandingkan emisi gas buang yang sejenis dengan putaran yang sama tetapi menggunakan diameter knalpot yang berbeda.



Gambar 4.24. Grafik model knalpot dengan CO₂ yang dihasilkan

4.2.2 Presentasi dan penurunan emisi menggunakan pipa alumunium diameter 48mm

Dengan menggunakan persamaan 2 dan 3 pada halaman 9 dihitung persentase emisi serta persentase penurunan emisi yang terjadi

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{\text{rata-rata emisi dengan tembaga}}{\text{rata rata emisi tanpa tembaga}} \times 100 \%$$

$$\text{Persentase penurunan emisi} = 100 \% - \text{persentase emisi} (\%)$$

- a. Perentase dan penurunan unsur carbon monoksida (CO) pada emisi gas buang knalpot modifikasi dengan pipa alumunium diameter 48mm.

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 10

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{2,77}{6,74} \times 100 \% = 0,41\%$$

Penurunan emisi CO adalah:

$$100\% - 0,41\% = 99,59\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 20

- Presentasi Emisi = $\frac{4,64}{7,05} \times 100 \% = 0,65\%$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,65\% = 99,35\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 30

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{1,87}{4,43} \times 100\% = 0,42\%$$

Penurunan emisi CO adalah:

$$100\% - 0,42\% = 99,58\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 40

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{2,44}{5,56} \times 100\% = 0,43\%$$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,43\% = 99,57\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 50

- $\text{Presentasi Emisi} = \frac{5,57}{5,59} \times 100\% = 0,99\%$

Penurunan CO adalah:

$$100\% - 0,99\% = 99,01\%$$

- Untuk kandungan (CO) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 60

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{4,61}{6,87} \times 100\% = 0,67\%$$

Penurunan CO adalah:

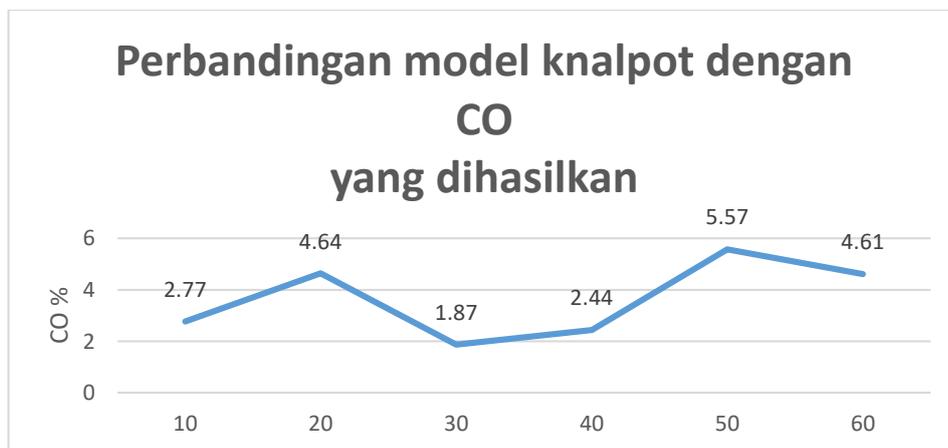
$$100\% - 0,67\% = 99,33\%$$

Tabel 4.7. Data persentase CO pada emisi dan penurunan emisi gas buang

NO	Waktu Menit	CO	Pengukuran CO
		(%)	(%)
1	Ke 10	2,77	99,59
2	Ke 20	4,64	99,35
3	Ke 30	1,87	99,58
4	Ke 40	2,44	99,57
5	Ke 50	5,57	99,01
6	Ke 60	4,61	99,33

Kondisi CO pada emisi gas buang dengan knalpot modifikasi dengan pipa alumunium berdiameter 48mm menit ke 10 terjadi penurunan 99,59% , menit ke 20 menurun 99,35%, menit ke 30 kenaikan sebesar 99,58%, menit ke 40 menurun 99,57%, menit ke 50 menurun 99,01%, dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan 99,33%. Menurut (Muhammad et al., 2018) menurunnya kandungan emisi gas CO pada sepeda motor dikarenakan sifat dari kimia tembaga yaitu dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C_uO sehingga gas buang karbon monoksida apabila melewati tembaga panas akan beroksidasi dengan oksigen menjadi CO_2 , bahwa pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu sekitar $300^{\circ}C$ tembaga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C_uO yang berwarna hitam.

Untuk melihat lebih jelas, maka data disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini dengan membandingkan emisi gas buang yang sejenis dengan putaran yang sama tetapi menggunakan diameter knalpot yang berbeda.



Gambar 4.25. Grafik model knalpot dengan CO yang di hasilkan

b. Perentase dan penurunan unsur carbon monoksida (HC) pada emisi gas buang knalpot modifikasi dengan pipa alumunium diameter 48mm.

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 10

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{444}{459} \times 100 \% = 0,96\%$$

Penurunan emisi CO adalah:

$$100\% - 0,96\% = 99,04\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 20

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{240}{552} \times 100 \% = 0,43\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 0,43\% = 99,57\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 30

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{259}{281} \times 100 \% = 0,92\%$$

Penurunan emisi HC adalah:

$$100\% - 0,92\% = 99,08\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 40

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{155}{231} \times 100 \% = 0,67\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 0,67\% = 99,33\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 50

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{311}{327} \times 100 \% = 0,95\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 0,95\% = 99,05\%$$

- Untuk kandungan (HC) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 60

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{358}{390} \times 100 \% = 0,91\%$$

Penurunan HC adalah:

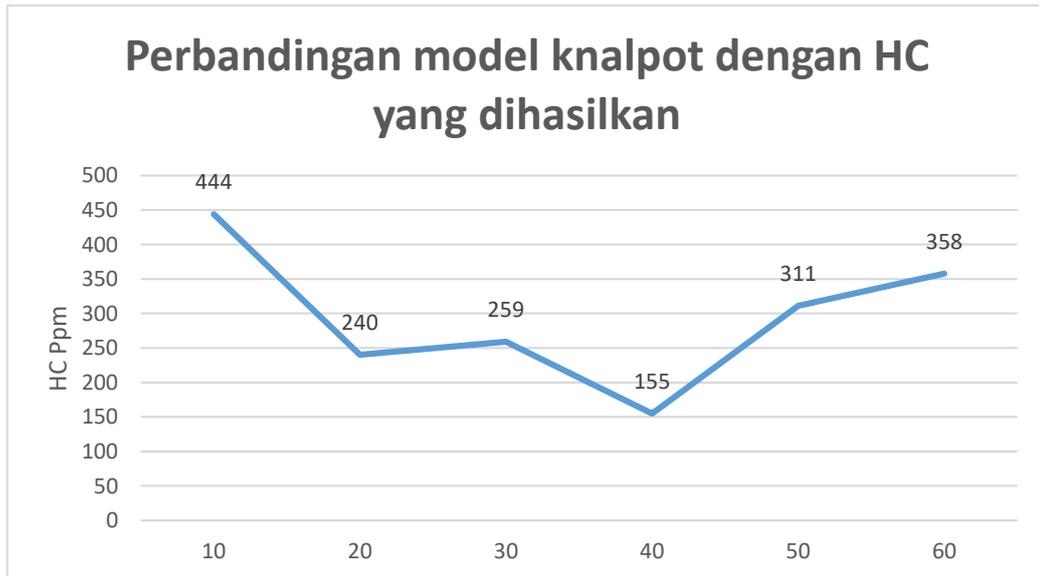
$$100\% - 0,91\% = 99,09\%$$

Tabel 4.8. Data persentase HC pada emisi dan penurunan emisi gas buang

NO	Waktu Menit	HC	Pengukuran HC
		(%)	(%)
1	Ke 10	444	99,04
2	Ke 20	240	99,57
3	Ke 30	259	99,08
4	Ke 40	155	99,33
5	Ke 50	311	99,05
6	Ke 60	358	99,09

Kondisi HC pada emisi gas buang dengan knalpot dimodifikasi dengan pipa alumunium berdiameter 48mm menit ke 10 terjadi penurunan 99,04% ,menit ke 20 menurun 99,57%, menit ke 30 terjadi menurun 99,08%, menit ke 40 mengalami kenaikan sebesar 99,33%, menit ke 50 mengalami penurunan 99,05% dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan 99,09%. Menurut (Muhammad et al., 2018) menurunnya kandungan emisi gas HC pada sepeda motor dikarenakan sifat dari kimia tembaga yaitu dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C_uO sehingga gas buang hidrokarbon apabila melewati tembaga panas akan beroksidasi dengan oksigen menjadi H_2O , pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu sekitar $300^{\circ}C$ tembaga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk C_uO yang berwarna hitam.

Untuk melihat lebih jelas, maka data disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini dengan membandingkan emisi gas buang yang sejenis dengan putaran yang sama tetapi menggunakan diameter knalpot yang berbeda.



Gambar 4.26. Grafik model knalpot dengan HC yang dihasilkan

c. Perentase dan penurunan unsur carbon monoksida (CO_2) pada emisi gas buang knalpot modifikasi dengan pipa alumunium diameter 48mm.

- Untuk kandungan (CO_2) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 10

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{3,5}{4,5} \times 100 \% = 0,7\%$$

Penurunan emisi CO_2 adalah:

$$100\% - 0,7\% = 99,3\%$$

- Untuk kandungan (CO_2) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 20

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{5,5}{4,2} \times 100 \% = 1,30\%$$

Penurunan CO_2 adalah:

$$100\% - 1,30\% = 98,7\%$$

- Untuk kandungan (CO_2) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 30

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{6,0}{6,7} \times 100 \% = 0,89\%$$

Penurunan emisi CO_2 adalah:

$$100\% - 0,89\% = 99,11\%$$

- Untuk kandungan (CO₂) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 40

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{3,6}{4,8} \times 100 \% = 0,75\%$$

Penurunan CO₂ adalah:

$$100\% - 0,75\% = 99,25\%$$

- Untuk kandungan (CO₂) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 50

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{3,9}{4,8} \times 100 \% = 0,81\%$$

Penurunan CO₂ adalah:

$$100\% - 0,81\% = 99,19\%$$

- Untuk kandungan (CO₂) yang ada pada emisi dalam pengujian knalpot modifikasi dengan pipa alumunium menit ke 60

$$\text{Presentasi Emisi} = \frac{5,8}{4,1} \times 100 \% = 1,41\%$$

Penurunan HC adalah:

$$100\% - 1,41\% = 98,59\%$$

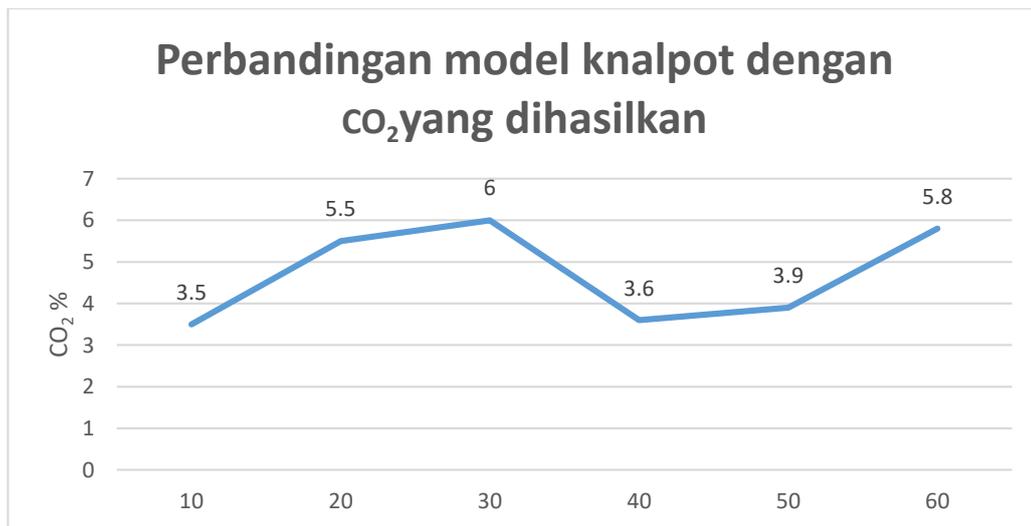
Tabel 4.9. Data persentase CO₂ pada emisi dan penurunan emisi gas buang

NO	Waktu Menit	CO ₂	Pengukuran CO ₂
		(%)	(%)
1	Ke 10	3,5	99,3
2	Ke 20	5,5	99,7
3	Ke 30	6,0	99,11
4	Ke 40	3,6	99,25
5	Ke 50	3,9	99,19
6	Ke 60	5,8	98,59

Kondisi CO₂ pada emisi gas buang dengan kenalpot dimodifikasi dengan pipa tembaga berdiameter 48mm menit ke 10 terjadi kenaikan 99,3 % , menit ke 20 menurun 99,7%, sedangkan menit ke 30 mengalami penurunan sebesar 99,11%, menit ke 40 menurun 99,25% menit ke 50 turun 99,19%, dan menit ke 60 emisi gas buang terjadi penurunan 0,98%. Menurut (Muhammad et al., 2018)

menurunnya kandungan emisi gas CO₂ pada sepeda motor dikarenakan sifat dari kimia tembaga yaitu dapat bereaksi dengan oksigen membentuk Cu₂O sehingga gas buang karbon monoksida apabila melewati tembaga panas akan beroksidasi dengan oksigen menjadi CO, yang mengemukakan bahwa Pada kondisi yang istimewa yakni pada suhu sekitar 300°C tembaga dapat bereaksi dengan oksigen membentuk Cu₂O yang berwarna hitam.

Untuk melihat lebih jelas, maka data disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini dengan membandingkan emisi gas buang yang sejenis dengan putaran yang sama tetapi menggunakan diameter knalpot yang berbeda.



Gambar 4.27. Grafik model knalpot dengan CO₂ yang dihasilkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data pada uji emisi gas buang dengan putaran rata-rata 4500 rpm, dengan suhu mesin 89°C hingga 91°C. Setelah pengujian model knalpot, kemudian model knalpot modifikasi menggunakan pipa berongga alumunium berdiameter 44mm dan 48mm diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan pengujian kadar CO, HC dan CO₂ dengan menggunakan gas analyzer, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi rpm kendaraan bermotor maka semakin tinggi pula kadar CO, HC, CO₂ yang dihasilkan kendaraan tersebut.
2. Hasil dari pengujian unsur carbon monoksida menurun (CO), hidrocarbon (HC) dan carbon dioksida menurun (CO₂), maka yang paling baik untuk penurunan dan mengurangi bahaya emisi gas buang adalah knalpot *Modifikasi* menggunakan pipa tembaga berdiameter 44mm. jika dibandingkan dengan knalpot standar, unsur CO 10 terjadi penurunan 99,83% , menit ke 20 terjadi penurunan 99,62%, menit ke 30 menurun 99,1%, menit ke 40 menurun 99,36%, menit ke 50 menurun 99,26%, dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan 99,12% pada putaran 4500 rpm, HC pada menit 10 terjadi penurunan 99,3% , menit ke 20 menurun 99,27%, menit ke 30 terjadi penurunan sebesar 99,12%, menit ke 40 juga mengalami penurunan sebesar 99,05%, menit ke 50 mengalami penurunan 99,37% dan untuk menit ke 60 pada emisi gas buang terjadi penurunan sebesar 99,23% pada putaran 4500 rpm. Unsur CO₂ yang terbaik adalah modifikasi knalpot menggunakan pipa tembaga 44 mm di menit 10 terjadi penurunan 99 % , menit ke 20 naik 98,77%, sedangkan menit ke 30 mengalami penurunan sebesar 99,14%, menit ke 40 turun 99,88% menit ke 50 turun 99,13%, dan menit ke 60 emisi gas buang terjadi penurunan 99,1 % pada putaran 4500 rpm.

3. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pipa tembaga hasil daur ulang skrap aluminium limbah pemesinan sebagai resonator knalpot mampu mereduksi emisi gas buang melalui proses reaksi oksidasi.

5.2 Saran

Penelitian ini memiliki keunggulan dan kelemahan yang belum bisa di paparkan oleh penulis, adapun saran dan masukan dari penulis adalah :

1. Sebelum melakukan pengujian pada saat menaikkan putaran mesin (rpm) jangan lupa memperhatikan campuran udara dan bahan bakar karena itu mempengaruhi hasil pengujian gas buang.
2. Penelitian dan eksperimen selanjutnya dapat merekayasa knalpot dengan bentuk dan model lain serta menambahkan jenis bahan logam yang lain untuk penurunan emisi gas buang yang lebih efektif dan signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Marabdi Siregar., C A Siregar., & M.Yani (2019).” *Rekayasa Saluran Gas Buang Sepeda Motor Guna Mengurangi Pencemaran Udara*”. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi,,Vol.2, No.2, September 2019, 171-179, Doi : <http://doi.org/10.30596/nnme.v2i2.3672>.
- Agus, Yudi Prabowo. (2013). *Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang*.
Anton J Hartono, 1992, *Mengenal Pelapis Logam (Elektroplating)*. Andi Offset Yogyakarta.
- Awal Syahrani, 2006, *Analisa Kinerja Mesin Bensin Berdasarkan Hasil Uji Emisi*.
- Bagus Irawan Rm, 2012 *Rancang bangun Catalytic Converter dengan bahan katalis Alumunium- Mangan untuk unjuk kemampuan dalam mengurangi emisi gas buang*. (Portalgaruda.Orang articel=4740), di akses 27 Desember 2019
- Muziansyah Devianti dkk, “*model emisi gas buangan kendaraan bermotor akibat aktivitas transportasi (studi kasus: terminal Pasar bawah Kota Bandar Lampung)*JRSDD, Edisi Maret 2015, Vol. 3, No. 1, (ISSN:2303-0011) .
- Decky Maryanto, 2009 . *Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) Dengan Penambahan Arang Aktif Pada Kendaraan Bermotor Di Yogyakarta*.
- (Motogokil, n.d.)Motogokil. (n.d.). Mudah bin Gampang Merancang Knalpot Racing, Caranya. Retrieved April 29, 2024, from <https://motogokil.com/2013/10/12/mudah-bin-gampang-merancang-knalpot-racing-caranya/>
- Muhammad, M., Amin, B., & Sugiarto, T. (2018). Pengaruh Penggunaan Katalis Plat Tembaga Pada Knalpot Sepeda Motor Terhadap Kandungan Emisi Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC). *Automotive Engineering Education Journals*, 7(2), 1–12.
- Pertamina. (2020). Spesifikasi Produk BBM, BBN & LPG. *Spesifikasi Produk BBM, BBN & LPG*, 23.
- Laporan WHO-Europe 2004.
- Muhammad Nur Cahyo, 2017, *Analisi Pengaruh Penggunaan Katalis Aluminium Di Anodize Dengan H2SO4 Pada Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang*.
- Suzuki. (2021). Cari Tahu Apa Itu Silencer Knalpot Serta Bahan dan Fungsinya.

Retrieved March 1, 2024, from <https://www.suzuki.co.id/tips-trik/cari-tahu-apa-itu-silencer-knalpot-serta-bahan-dan-fungsinya?pages=all>

Siswantoro, 2009 . ‘*Analisa Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor 4 Tak Berbahan Bakar Campuran Premium Degan Variasi Penambahan Zat Aditif* ‘ (jurnal Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal) h. 77.

Svehla, G. 1985.*Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Mikro dan Semimikro*. PT. KalmanMedia Pustaka. Jakarta.

Syaief, Dkk, 2013. *Pemgaruh Exhaust Manifold Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pada Suzuki SMESH Tahun 2007*.

Taufik. (n.d.). Fungsi Resonator di sistem Knalpot Sepeda Motor. Retrieved March 1, 2024, from <https://tmcblog.com/2019/06/02/fungsi-resonator-di-sistem-knalpot-sepeda-motor/>

Tugaswati, A.Tri. 2013 *Emisi gas buang kendaraan bermotor dan dampaknya terhadap kesehatan*. (Makalah Emisi Gas Buang Bermotor Dampaknya Terhadap kesehatan). Di akses 24 Desember 2019.

LAMPIRAN

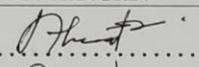
**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2023 – 2024**

Peserta seminar

Nama : Sandrean

NPM : 1907230129

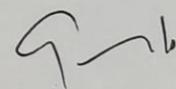
Judul Tugas Akhir : Pipa Berongga Dari Pemanfaatan Skrap Aluminium Limbah Permesinan
Yang Di Gunakan Pada Knalpot Sepeda Motor Untuk Mengurangi
Pencemaran Udara

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT 
Pembanding – I : Chandra A Siregar, ST, MT 
Pembanding – II : Affandi, ST, MT 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1807230033	SAFRI SAPUTRA	
2	1807230161	KEMAL ARIANTA DIK	
3	1907230038	HANJAH HAZ	
4	1967230171	MARA HENDRI SAHYUTI	
5	1907230062	REHAN AGIL FAUZI	
6	1907230014	FIKRI RANAH GIPRI PALUNGAN	
7	1907230017	DIMAS BIMANTORO	
8			
9			
10			

Medan, 11 Ramadhan 1445 H
21 Maret 2024 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Nama : Sandrean
NPM : 1907230129
Judul Tugas Akhir : Pipa Berongga Dari Pemanfaatan Skrap Aluminium Limbah Permesinan
Yang Di Gunakan Pada Knalpot Sepeda Motor Untuk Mengurangi
Pencemaran Udara
Dosen Pembanding – I : Chandra A Siregar, ST, MT
Dosen Pembanding – II : Affandi, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

lihat buku log rek album

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan, 11 Ramadhan 1445 H
21 Maret 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- I



Chandra A Siregar, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Sandrean
NPM : 1907230129
Judul Tugas Akhir : Pipa Berongga Dari Pemanfaatan Skrap Aluminium Limbah Permesinan
Yang Di Gunakan Pada Knalpot Sepeda Motor Untuk Mengurangi
Pencemaran Udara

Dosen Pembanding – I : Chandra A Siregar, ST, MT
Dosen Pembanding – II : Affandi, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....
..... Perbaikan
..... Lemat Beker Stenpsi

3. Harus mengikuti seminar kembali

Perbaikan :
.....
.....
.....

Medan 11 Ramadhan 1445 H
21 Maret 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- II


Chandra A Siregar, ST, MT


Affandi, ST, MT

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN SKRAP ALUMINIUM LIMBAH PEMESINAN BERUPA
PIPA BERONGGA UNTUK MENGURANGI PENCEMARAN UDARA
PADA KNALPOT SEPEDA MOTOR

Nama : Sandrean
NPM : 1907230129

Dosen Pembimbing : Ahmad Marabdi Siregar S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Kamis $\frac{27}{7} 23$	penyerahan SK bimbingan	AH
2.	Kamis $\frac{10}{8} 23$	perbaiki Bab 2, lanjut } Bab 3	AH
3.	Senin $\frac{14}{8} 23$	perbaiki prosedur	AH
4.	Rabu $\frac{16}{8} 23$	Ace, persiapan Sempu	AH
5.	Rabu $\frac{24}{7} 24$	perbaiki Daftar isi } perbaiki Bab 4	AH
6.	Jumat $\frac{26}{1} 24$	teliti lagi & perbaiki	AH
7.	Sabtu $\frac{27}{2} 24$	Ace, persiapan Semulas	AH
8.	Rabu $\frac{1}{4} 24$	Ace, persiapan Sidang	AH

Print out hasil uji emisi gas buang knalpot standar

Menit 10



Menit 20



Menit 30

STANDAR 30

5 Gas
Emission
Analyzer

2024/04/02
AM 3:33
CAR NUMBER: 0000
CO : 4.43 %
HC : 281 ppm
CO2 : 6.7 %
O2 : 12.32 %
NOx : 0 ppm
LAMBDA: 1.918
AFR : 28.1
FUEL : GASOLINE
H/C : 1.8500
O/C : 0.0000

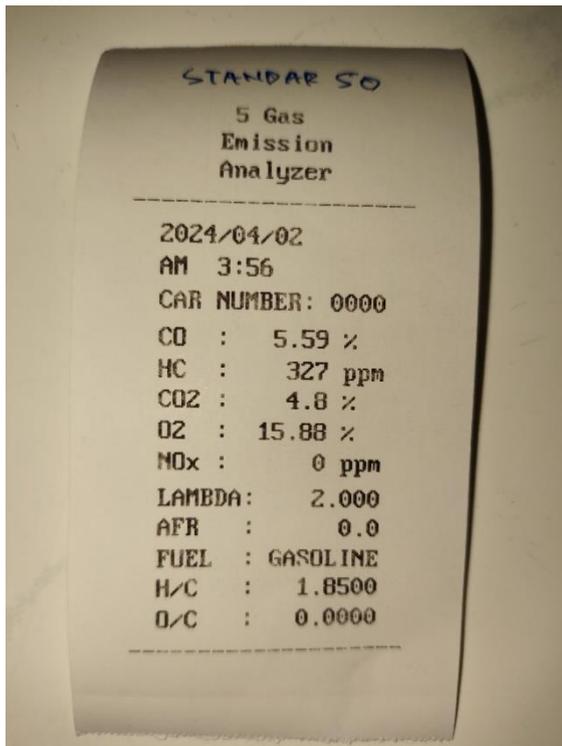
Menit 40

STANDAR 40

5 Gas
Emission
Analyzer

2024/04/02
AM 3:44
CAR NUMBER: 0000
CO : 5.56 %
HC : 231 ppm
CO2 : 4.8 %
O2 : 15.88 %
NOx : 0 ppm
LAMBDA: 2.000
AFR : 0.0
FUEL : GASOLINE
H/C : 1.8500
O/C : 0.0000

Menit 50

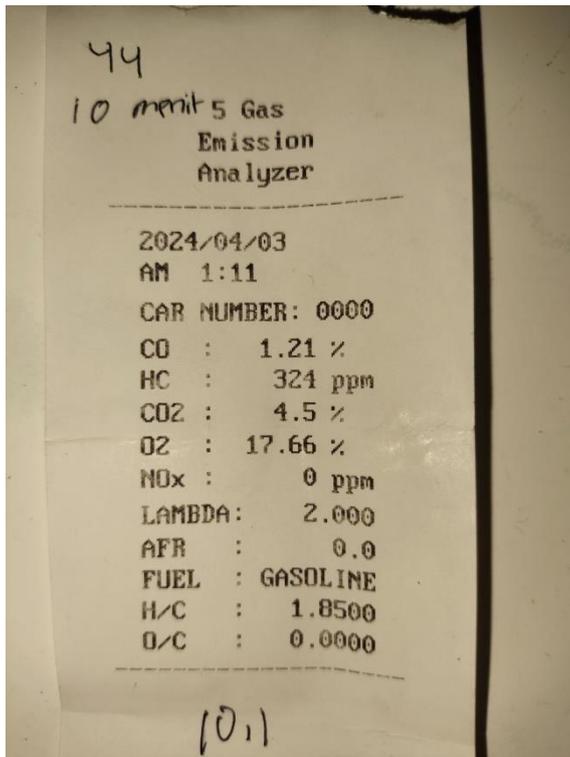


Menit 60

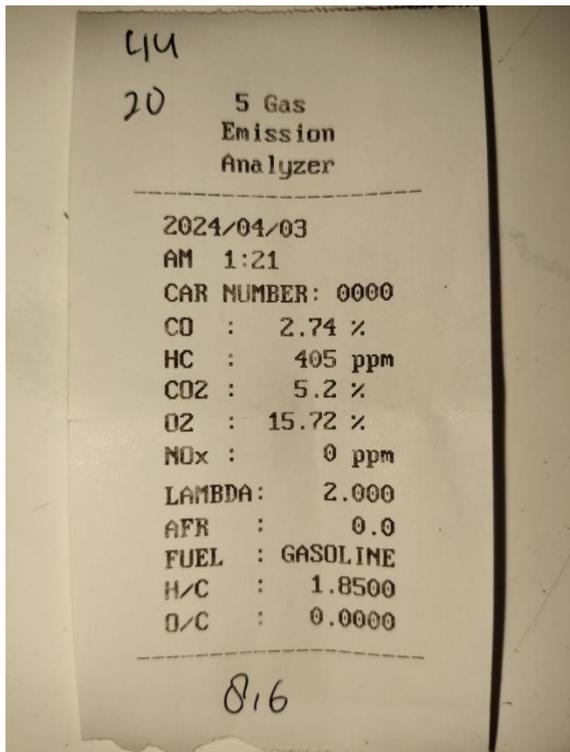


Printout hasil uji emsi gsab buang menggunakan pipa tembaga diameter 44mm

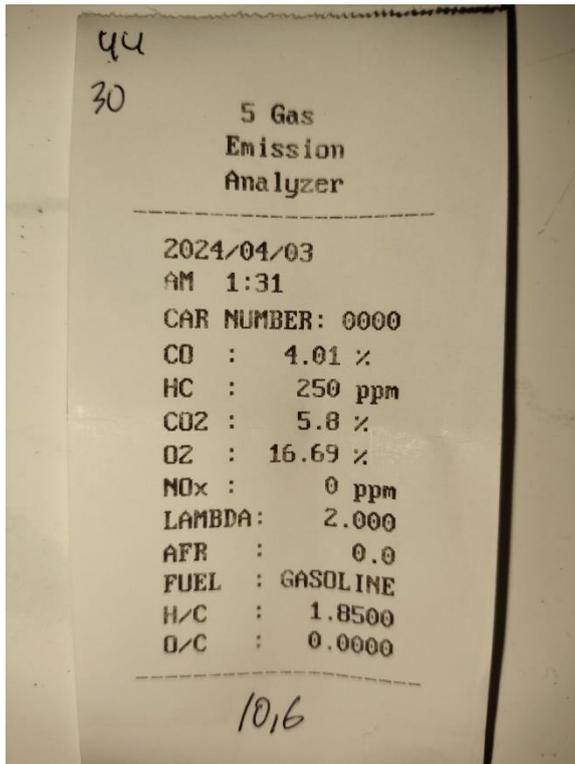
Menit 10



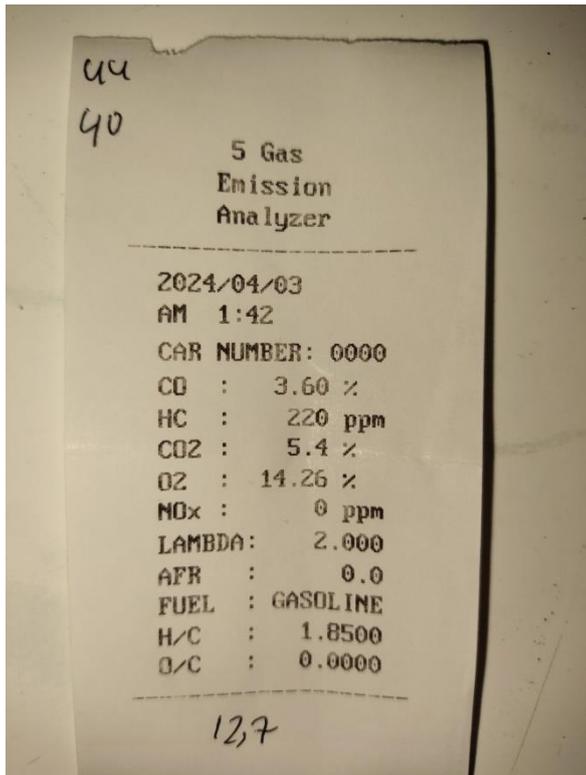
Menit 20



Menit 30



Menit 40



Menit 50

40
50

5 Gas
Emission
Analyzer

2024/04/03
AM 1:51
CAR NUMBER: 0000
CO : 4.15 %
HC : 208 ppm
CO2 : 4.2 %
O2 : 18.96 %
NOx : 0 ppm
LAMBDA: 2.000
AFR : 0.0
FUEL : GASOLINE
H/C : 1.8500
D/C : 0.0000

10.1

Menit 60

60 40

5 Gas
Emission
Analyzer

2024/04/03
AM 2:01
CAR NUMBER: 0000
CO : 6.06 %
HC : 304 ppm
CO2 : 3.7 %
O2 : 18.47 %
NOx : 0 ppm
LAMBDA: 1.932
AFR : 28.4
FUEL : GASOLINE
H/C : 1.8500
D/C : 0.0000

10.8

Printout hasil uji emsi gsab buang menggunakan pipa tembaga diameter 48mm

Menit 10



Menit 20



Menit 30

30 48

5 Gas
Emission
Analyzer

2024/04/03
AM 1:38
CAR NUMBER: 0000
CO : 1.87 %
HC : 259 ppm
CO2 : 6.0 %
O2 : 14.59 %
NOx : 0 ppm
LAMBDA: 2.000
AFR : 0.0
FUEL : GASOLINE
H/C : 1.8500
O/C : 0.0000

13,2

Menit 40

48
40

5 Gas
Emission
Analyzer

2024/04/03
AM 1:49
CAR NUMBER: 0000
CO : 2.44 %
HC : 155 ppm
CO2 : 3.6 %
O2 : 17.18 %
NOx : 0 ppm
LAMBDA: 2.000
AFR : 0.0
FUEL : GASOLINE
H/C : 1.8500
O/C : 0.0000

11,5

Menit 50

48
50

5 Gas
Emission
Analyzer

2024/04/03
AM 1:58
CAR NUMBER: 0000
CO : 5.57 %
HC : 311 ppm
CO2 : 3.9 %
O2 : 18.64 %
NOx : 0 ppm
LAMBDA: 2.000
AFR : 0.0
FUEL : GASOLINE
H/C : 1.8500
O/C : 0.0000

11,7

Menit 60

48
60

5 Gas
Emission
Analyzer

2024/04/03
AM 2:08
CAR NUMBER: 0000
CO : 4.61 %
HC : 358 ppm
CO2 : 5.8 %
O2 : 14.59 %
NOx : 0 ppm
LAMBDA: 2.000
AFR : 0.0
FUEL : GASOLINE
H/C : 1.8500
O/C : 0.0000
