



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PENGGUNAAN MODEL KNALPOT STANDAR  
TERHADAP KINERJA MESIN 4 LANGKAH 100 CC DAN 125 CC**

**SKRIPSI**

**SIGIT PAMUNGKAS**

**0906605145**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PENGGUNAAN MODEL KNALPOT STANDAR  
TERHADAP KINERJA MESIN 4 LANGKAH 100 CC DAN 125 CC**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**SIGIT PAMUNGKAS  
0906605145**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Sigit Pamungkas

NPM : 0906605145

Tanda Tangan :

Tanggal : 13 Juli 2012



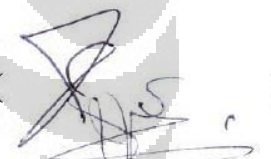
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh


Nama : Sigit Pamungkas  
NPM : 0906605145  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisis Penggunaan Model Knalpot Standar  
Terhadap Kinerja Mesin 4 Langkah 100 cc dan  
125 cc

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng, M.Sc (  )

Penguji 1 : Dr. Ir. Sunaryo M.Sc. (  )

Penguji 2 : Ir. Marcus Alberth Talahatu M.T. (  )

Penguji 3 : Ir. Hadi Tresno Wibowo (  )

Penguji 4 : Ir. Mukti Wibowo (  )

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 13 Juli 2012

## KATA PENGANTAR/ UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. yang telah memberikan nikmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “Analisis Penggunaan Model Knalpot Standar Terhadap Kinerja Mesin 4 Langkah 100 Cc Dan 125 Cc”

Penulis menyadari, bahwa bantuan dan saran dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai masa penyusunan skripsi ini, sangat menunjang penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu sebagai ungkapan rasa syukur penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng, M.Sc selaku pembimbing skripsi. Terima kasih atas segala bimbingan dan pembelajaran yang telah diberikan hingga skripsi ini dapat selesai
2. Gunawan, S.T, M.T dan M.Baqi, S.T, M.T yang telah memberikan segala pengetahuan dan pengalaman selama kegiatan perkuliahan.
3. Bapak Dipl. Ing.- Rendra Pramono dari PT. Dharma Polimetal yang telah membantu memprakarsai adanya penelitian ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah banyak membantu selama masa perkuliahan.
5. Teman-teman PPSE 2009 atas semangat dan kekompakan kalian
6. Julius Antoni & Martinus Putra Terimakasih banyak atas dukungannya.
7. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral
8. *Deska Teriana* Inspirasi & motivasi dalam keseharian penulis.

Depok, Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sigit pamungkas

NPM : 0906605145

Program Studi : Teknik mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul

**"Analisis Penggunaan Model Knalpot Standar Terhadap Kinerja Mesin 4 Langkah 100 cc dan 125 cc"** beserta perangkat yang ada (bila diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan media (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggung jawab saya pribadi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Tanggal : 13 Juli 2012

Yang menyatakan,

  
Sigit Pamungkas

## ABSTRAK

Nama : Sigit Pamungkas  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Analisis Penggunaan Model Knalpot Standar Terhadap Kinerja Mesin 4 Langkah 100cc Dan 125cc

Sebagaimana telah diketahui secara umum, bahwa exhaust system atau lazim disebut knalpot, merupakan bagian vital dari sebuah kendaraan bermotor. Karena hal itulah di bidang otomotif produk ini mengalami perkembangan pesat dan mempunyai pelanggan yang semakin meningkat. Fungsi knalpot adalah menambah kecepatan, memperindah bentuk dan mendapatkan suara yang enak didengar dan yang paling utama untuk menaikkan performa mesin. Namun, hingga saat ini penelitian tentang knalpot masih jarang sehingga orang-orang pada umumnya belum mengetahui parameter apa saja yang mempengaruhi baik-buruknya suatu sistem gas buang. Penelitian ini dilakukan dengan pengujian langsung model knalpot yang sama dengan tipe mesin yang berbeda tujuannya untuk mengetahui hubungan antara tingkat kebisingan, *insertion loss*, kecepatan suara, tekanan balik dan debit aliran sehingga nantinya bisa menjadi acuan untuk pengembangan lebih lanjut. Hasil penelitian dicapai penggunaan model knalpot standar lebih cocok dipakai pada mesin motor 125cc dibandingkan pada mesin motor 100cc.

Kata kunci: knalpot, performa, tingkat kebisingan, *insertion loss*, kecepatan suara, tekanan balik, debit aliran

## ABSTRACT

Name : Sigit Pamungkas  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : Analysis Of The Model Of The Standard Exhaust Usage  
Against Engine Performance 4 Stroke 100cc and 125cc

As is well known, that the exhaust system or muffler is a vital part of a motor vehicle. Because it's in the field of automotive products have experienced rapid development and increasing customer. Function of the muffler is picking up speed, shape and beautify a pleasant voice and most of all is to increase engine performance. However, up to date research on the muffler is still rare that people do not know what the parameters affecting the merits of an exhaust system. The research was conducted by direct testing of the same exhaust model with different types of engines aim to determine the relationship between level of noise, insertion loss, speed of sound, backpressure and flow rate so that later can be could be a reference for further development. The results achieved are standard muffler models more suitable for use on a 125cc motorcycle engine than on a 100cc motorcycle engine.

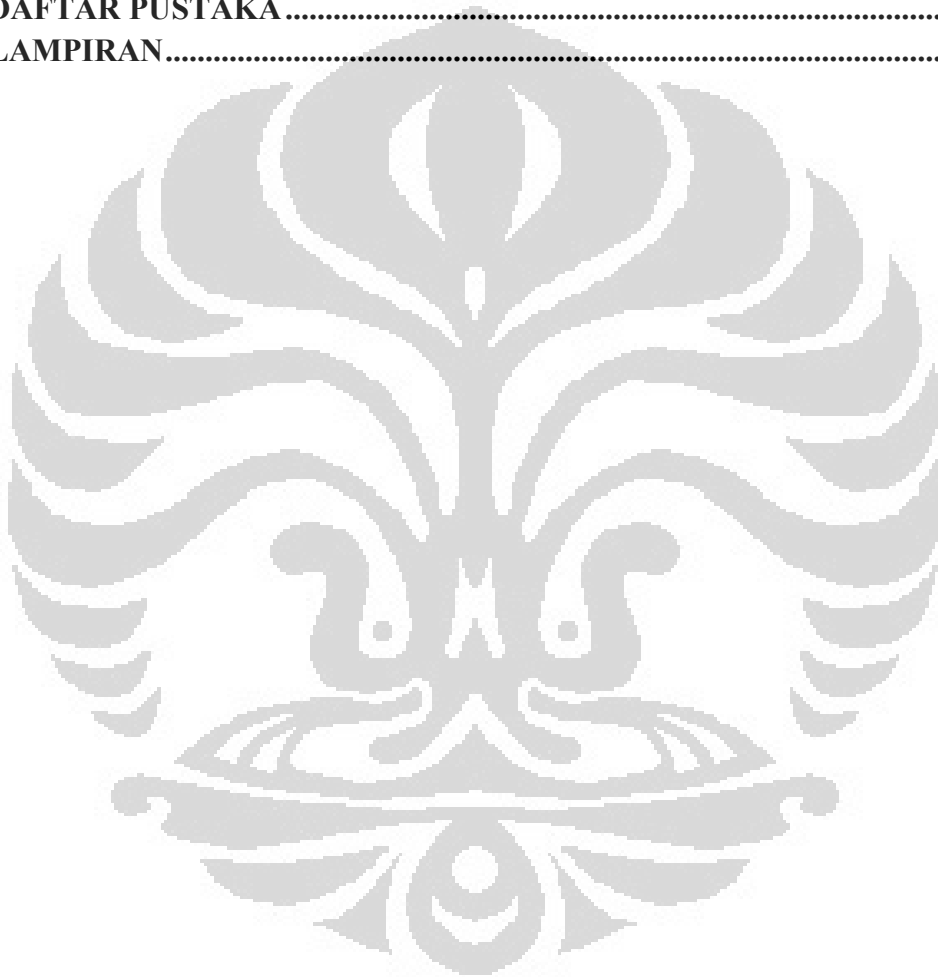
Keywords: muffler, performance, noise level, insertion loss, sound velocity, backpressure, flow rate



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metode Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Siklus Mesin otto 4-langkah .....	5
2.1.1. Langkah hisap.....	5
2.1.2. Langkah Kompresi .....	6
2.1.3. Langkah Kerja/ Tenaga.....	8
2.1.4. Langkah Pembuangan.....	9
2.1.5. Hukum Termodinamika Pada Mesin Otto 4 Langkah.....	11
2.2 Sistem pembuangan Gas Sisa Pembakaran.....	19
2.2.1. Kebisingan.....	24
2.2.2. Knalpot (Muffler).....	27
2.2.3. Performa Knalpot .....	30
2.3 Aliran Gas Kompresibel.....	34
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
3.1 Rancangan Pengambilan data .....	37
3.1.1. Pengambilan Data Kebisingan suara .....	39
3.1.2. Pengambilan Data Temperatur.....	40
3.1.3. Pengambilan Data Torsi dan Tenaga mesin.....	41
3.1.4. Pengambilan Data <i>Backpressure</i> .....	42
3.1.5. Pengambilan Data Debit Aliran Udara.....	43
3.2 Spesifikasi Knalpot .....	46
<b>BAB IV ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA .....</b>	<b>50</b>
4.1. Data Tingkat Kebisingan.....	50

4.2. Data <i>Insertion Loss</i> .....	51
4.3 Data Kecepatan suara .....	53
4.4 Data Debit Aliran Gas Buang.....	55
4.5 Data <i>Backpressure</i> .....	56
4.6 Pengujian Dynodynamic.....	57
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan.....	61
5.3 Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>63</b>



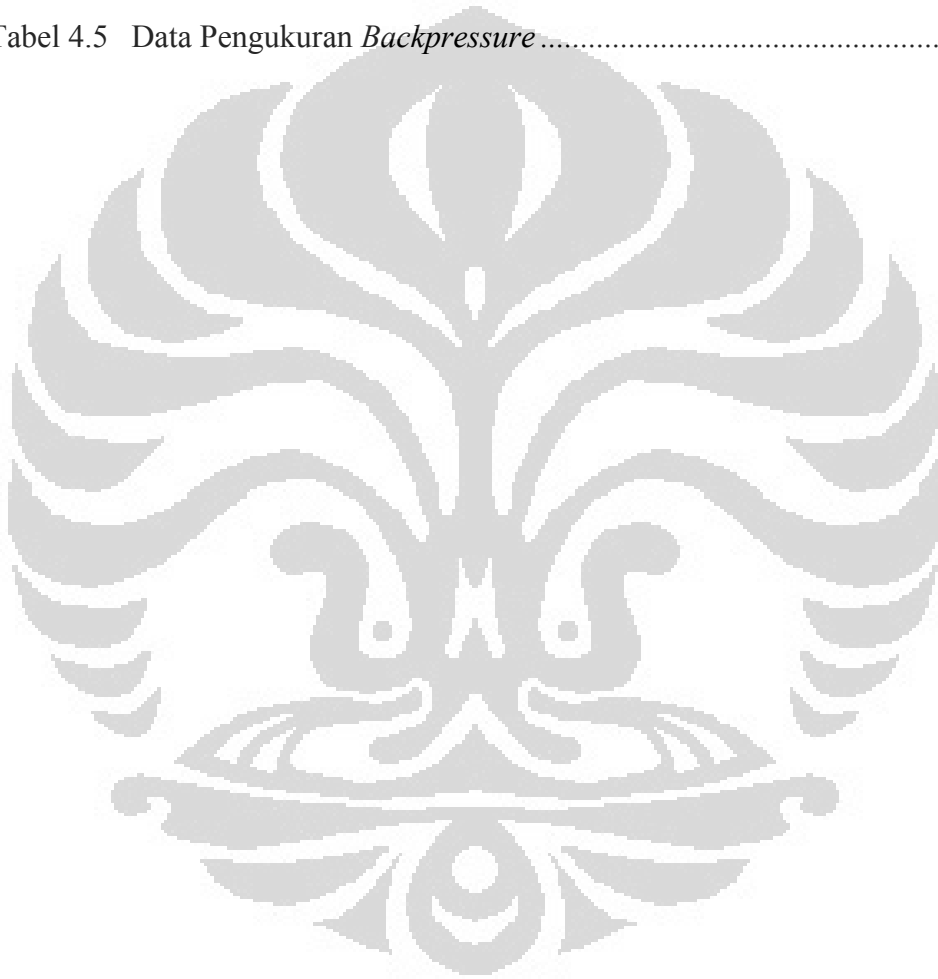
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Langkah Hisap, Howell, 2008.....	6
Gambar 2.2	Langkah Kompresi, Howell, 2008 .....	7
Gambar 2.3	Rasio Kompresi, mechanic-info.blogspot.com .....	7
Gambar 2.4	Langkah Kerja/Tenaga, Howell, 2008 .....	9
Gambar 2.5	Langkah Pembuangan, Howell, 2008 .....	10
Gambar 2.6	Siklus <i>Otto</i> 4 Langkah, <i>Encyclopedia Britannica, Inc</i> .....	10
Gambar 2.7	Siklus Ideal dan Persamaan Termodinamik Mesin <i>Otto</i> .....	11
Gambar 2.8	P-V Diagram Siklus Aktual Mesin <i>Otto</i> 4 Langkah .....	13
Gambar 2.9	Katup Masuk Terbuka , ISKY Racing Cams , California.....	15
Gambar 2.10	Katup Buang Tertutup, ISKY Racing Cams , California.....	16
Gambar 2.11	Katup Masuk Tertutup , ISKY Racing Cams , California .....	17
Gambar 2.12	Katup Keluar Terbuka , ISKY Racing Cams , California.....	18
Gambar 2.13	Katup Buang Tertutup, ISKY Racing Cams , California.....	19
Gambar 2.14.	Siklus Aktual <i>Overlapping</i> , <i>The Goodheart-Willcox Co., Inc</i> ...	19
Gambar 2.15.	<i>Exhaust Blowdown</i> , <a href="http://www.southernskies.net">http://www.southernskies.net</a> .....	20
Gambar 2.16.	Gambaran Umum Sistem Pembuangan .....	20
Gambar 2.17.	Tingkat Kebisingan , American Academy of Audiology, 2008.....	26
Gambar 2.18.	Absortive <i>Muffler</i> , <a href="http://www.dbnoisereduction.com">www.dbnoisereduction.com</a> .....	27
Gambar 2.19.	Reactive <i>Muffler</i> , <a href="http://www.dbnoisereduction.com">www.dbnoisereduction.com</a> .....	28
Gambar 2.20.	Skema <i>Insertion Loss</i> , Muffler Basics, SIDLAB.....	30

Gambar 2.21	Skema <i>Transmission Loss</i> , Muffler Basics, SIDLAB.....	30
Gambar 2.22.	Pengukuran Tekanan Pada Katup Buang,.....	31
Gambar 2.23.	Efek <i>Backpressure</i> .....	33
Gambar 2.24.	Fenomena Berlebihnya <i>Backpressure</i> , WALKER Exhaust Systems .....	33
Gambar 2.25	Fenomena Kurangnya <i>Backpressure</i> , WALKER Exhaust Systems .....	34
Gambar 3.1	Posisi dan Orientasi Pengambilan Data Kebisingan Suara.....	39
Gambar 3.2.	Termokopel Tipe-K dan Digital Indikator .....	41
Gambar 3.3	Pengujian Dynotest di Bengkel KS. Nusa .....	42
Gambar 3.4	Skema Pengukuran <i>Backpressure</i> , Corky Bell, Bentley Publishers.....	42
Gambar 3.5	Pengukuran <i>Backpressure</i> menggunakan Manometer-U.....	43
Gambar 3.6	Penjelasan Pitot Tube.....	44
Gambar 3.7	Pengambilan Data Debit .....	45
Gambar 3.8	Skema Penelitian.....	46
Gambar 4.1	Grafik Tingkat Kebisingan.....	51
Gambar 4.2	Grafik <i>Insertion Loss</i> .....	52
Gambar 4.3	Grafik Kecepatan Suara .....	54
Gambar 4.4	Grafik Debit Aliran Gas Buang .....	55
Gambar 4.5	Grafik <i>Backpressure</i> .....	57
Gambar 4.6	Grafik daya dan torsi motor 100 cc dengan knalpot standar .....	58
Gambar 4.7	Grafik torsi dan daya motor 125cc dengan knalpot standar.....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Jenis-Jenis Termokopel.....	40
Tabel 4.1	Data Tingkat Kebisingan.....	50
Tabel 4.2	Data <i>Insertion Loss</i> .....	52
Tabel 4.3	Data Kecepatan Suara .....	53
Tabel 4.4	Data Debit aliran Gas Buang .....	55
Tabel 4.5	Data Pengukuran <i>Backpressure</i> .....	56



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sebagaimana telah diketahui secara umum, bahwa exhaust system atau lazim disebut knalpot, merupakan bagian vital dari sebuah kendaraan bermotor. Karena hal itulah di bidang otomotif produk ini mengalami perkembangan pesat dan mempunyai pelanggan yang semakin meningkat. Fungsi knalpot adalah menambah kecepatan, memperindah bentuk dan mendapatkan suara yang enak didengar. Semakin berkembangnya teknologi serta tuntutan konsumen yang beragam mengenai fungsi serta estetika knalpot maka sangat dibutuhkan suatu usaha untuk mewujudkan keinginan konsumen tersebut menjadi suatu kenyataan. Dibidang otomotif khususnya sepeda motor sekarang telah menjadi tren anak muda. Banyak sekali event yang diselenggarakan untuk balapan motor. Banyak pula sponsor yang datang. Hal itu yang menjadi daya tarik didunia balap motor. Faktor-faktor yang sangat mempengaruhi balapan motor antara lain adalah faktor mesin, pembalap, dan seluruh elemen lainnya seperti knalpot. Maka peran manajemen dan desainer diperlukan untuk menjembatani kurangnya komunikasi dari berbagai pihak yang berkaitan (stok holder) sehingga produk yang dihasilkan bermanfaat dengan tepat, uptodate, dan yang pasti konsumen merasa puas akan inovasi produk terus menerus.

Namun hingga saat ini penelitian tentang knalpot masih sangat jarang terutama diIndonesia oleh karena itu penulis tertarik untuk meneliti parameter pada model knalpot standar dan keterkaitan hubungannya yang nantinya bisa dijadikan sebagai langkah awal untuk mempermudah penelitian lebih lanjut dalam mendesain suatu knalpot yang lebih baik.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan paparan di atas maka permasalahan dalam penelitian ini adalah

- a. Bagaimanakah efek penggunaan *knalpot standar x*
- b. Bagaimana mengukur & mengetahui back pressure dalam *knalpot standar*
- c. Bagaimana mengukur & mengetahui kebisingan suara dalam *knalpot standar*
- d. Bagaimanakah hubungan semua parameter yang diukur terhadap performa kendaraan.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui mesin mana yang lebih cocok untuk menggunakan model knalpot standar yang diuji antara 100cc dan 125cc. Selain itu untuk mengetahui hubungan back pressure, temperature, debit, kebisingan, torsi dan daya.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batas-batas terhadap penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Model knalpot standar yang dimaksud adalah knalpot produk PT. Dharma Polymetal tanpa di modifikasi. Dalam pengujian jenis knalpot yang dipakai sama tetapi dengan variasi mesin yang berbeda.
2. Menggunakan Mesin Otto 4 langkah dalam hal ini sepeda motor jenis bebek 100cc dan 125cc
3. Variasi pembebanan pada posisi tanpa road test ( posisi motor distandar).
4. Putaran *engine* bervariasi antara idle (sekitar 1000rpm) sampai 5500rpm
5. Parameter yang diteliti meliputi: temperature, flowrate, backpressure, suara/tingkat kebisingan, torsi dan daya. Tidak meneliti emisi.

## 1.5 Metode Penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa metode dalam penulisan, yaitu:

### 1. Studi literatur dan berdiskusi bersama Dosen Pembimbing

Untuk mendapatkan pemahaman dasar mengenai penelitian yang akan dilakukan dibutuhkan beberapa literatur seperti jurnal, artikel, buku-buku yang dapat dicari melalui media cetak maupun media elektronik. Dengan dasar pemahaman tersebut maka kegiatan berdiskusi dengan pembimbing menjadi lebih terarah dan dapat menghasilkan suatu pemahaman yang jelas.

### 2. Mengatur peralatan eksperimen

Dalam melakukan penelitian ini dibutuhkan beberapa instrumen seperti Sound Level Meter, Termokopel, Tabung Pitot, Digital Pressure Gauge, dan Tachometer. Masing-masing instrumen tersebut disusun sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk mengambil data sesuai dengan parameter yang ditetapkan terlebih dahulu pada setiap motor bakar.

### 3. Pengumpulan data

Setelah peralatan eksperimen berhasil disusun, maka pengambilan data dapat segera dilakukan pada motor 100 cc dan 125 cc. Karena data yang akan diambil pada penelitian ini cukup banyak maka dibutuhkan waktu yang cukup lama setiap kali dilakukan pengambilan data dan juga pengambilan data ini dilakukan terus menerus hingga seluruh data yang diharapkan sudah didapatkan.

### 4. Pengolahan data

Dari data yang diambil maka dapat dilakukan perhitungan secara teoritis berdasarkan apa yang tertera di dasar teori. Diharapkan setelah seluruh data yang didapatkan sudah diolah dan dibuat grafiknya, maka dapat dihasilkan suatu pemaparan yang lebih jelas mengenai karakteristik *muffler*.



## 5. Analisis data

Data-data tersebut dapat dijadikan acuan masukan ke dalam software Solidworks untuk lebih memperkuat dan memperjelas analisis aliran gas yang terjadi di dalam *muffler* sehingga bisa didapatkan suatu korelasi antara data-data hasil penelitian dengan hasil simulasi CFD menggunakan Solidworks. Dari grafik-grafik yang dihasilkan dan hasil simulasi maka akan didapatkan suatu kesimpulan yang memperjelas karakteristik *muffler*.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab, yaitu:

BAB I : Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

BAB II : Bab ini menjelaskan mengenai landasan teori yang berhubungan dan digunakan dalam menyelesaikan masalah yang dibahas.

BAB III : Bab ini menjelaskan mengenai rancangan alat uji, peralatan-peralatan pendukung dalam pengujian, kondisi dalam pengujian serta prosedur pengujian dan pengambilan data.

BAB IV: Bab ini menjelaskan mengenai pengolahan data, menampilkan data penelitian, grafik yang didapat dari pengujian, hasil dari pengujian serta analisis dari hasil penelitian.

BAB V: Bab ini merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran seandainya penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat.

## **BAB II LANDASAN TEORI**

### **2.1 Siklus Mesin Otto 4-Langkah**

#### **2.1.1 Langkah Hisap**

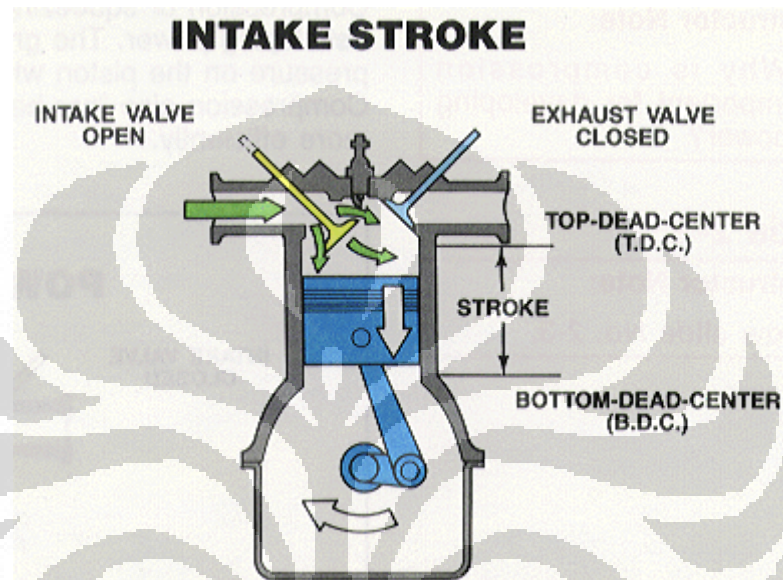
Langkah ini bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) dengan katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Gerakan ini meningkatkan volume di dalam ruang bakar, dimana secara berurutan akan menciptakan tekanan vakum. Karena tekanan vakum ini lah, udara dari luar dapat masuk ke dalam ruang bakar secara alamiah karena tekanan mengalir dari tinggi ke rendah. Ketika udara mengalir melalui sistem pemasukan, bahan bakar ditambahkan dengan besaran tertentu dengan menggunakan injeksi atau pun karburator.

Ketika piston bergerak ke atas dan mendekati  $28^\circ$  sebelum TMA, sebagai ukuran dari putaran *crankshaft*, *camshaft lobe* mulai mengangkat cam follower. Hal ini menyebabkan pushrod untuk bergerak ke atas dan menggerakkan rocker arm. Ketika hal ini terjadi, rocker arm menekan katup masuk ke bawah sehingga katup tersebut mulai terbuka. Langkah hisap mulai terjadi ketika katup buang masih terbuka. Aliran daripada gas buang akan menciptakan tekanan rendah di dalam ruang bakar dan akan membantu menarik udara dari luar.

Piston kemudian melanjutkan gerakannya hingga mencapai TMA ketika udara masuk dan gas buang keluar. Pada  $12^\circ$  setelah TMA, *camshaft exhaust lobe* mulai berputar sehingga katup buang akan tertutup. Katup ini akan tertutup penuh pada  $23^\circ$  setelah TMA Hal ini dilakukan melalui per katup, dimana akan tertekan ketika katup akan terbuka, memaksa rocker arm dan cam follower melawan gerakan cam lobe ketika berputar. Jarak waktu ketika kedua katup terbuka secara bersamaan disebut valve overlap dan hal ini dibutuhkan agar udara dari luar membantu membersihkan gas buang yang masih tertinggal di ruang bakar hingga habis dan membantu mendinginkan silinder piston. Pada kebanyakan mesin, 30-50 kali dari volume silinder yang dibuang dari ruang bakar ketika overlap terjadi.

Udara dingin yang berlebihan ini juga menciptakan efek pendinginan terhadap beberapa bagian mesin.

Ketika piston sudah melewati TMA dan mulai untuk bergerak ke bawah dari dari lubang silinder, pergerakan ini menciptakan daya sedot dan kemudian menarik udara ke dalam silinder.

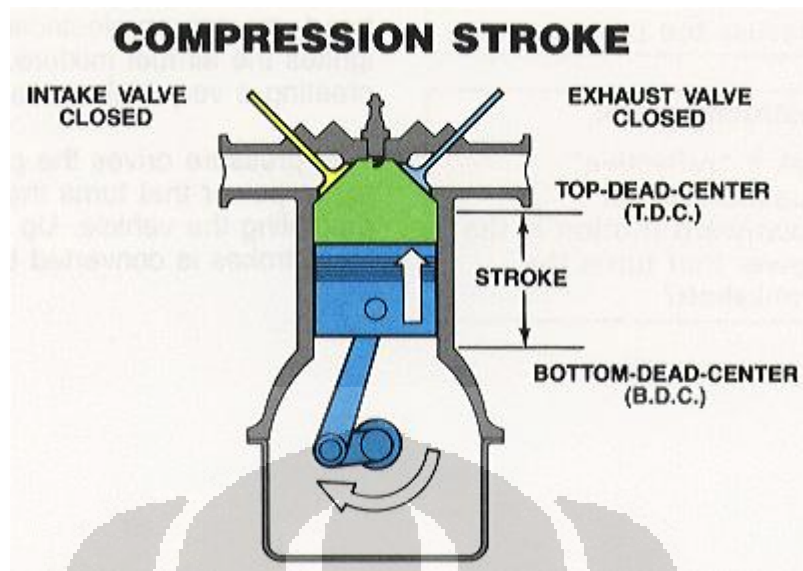


Gambar 2.1 Langkah Hisap, Howell, 2008

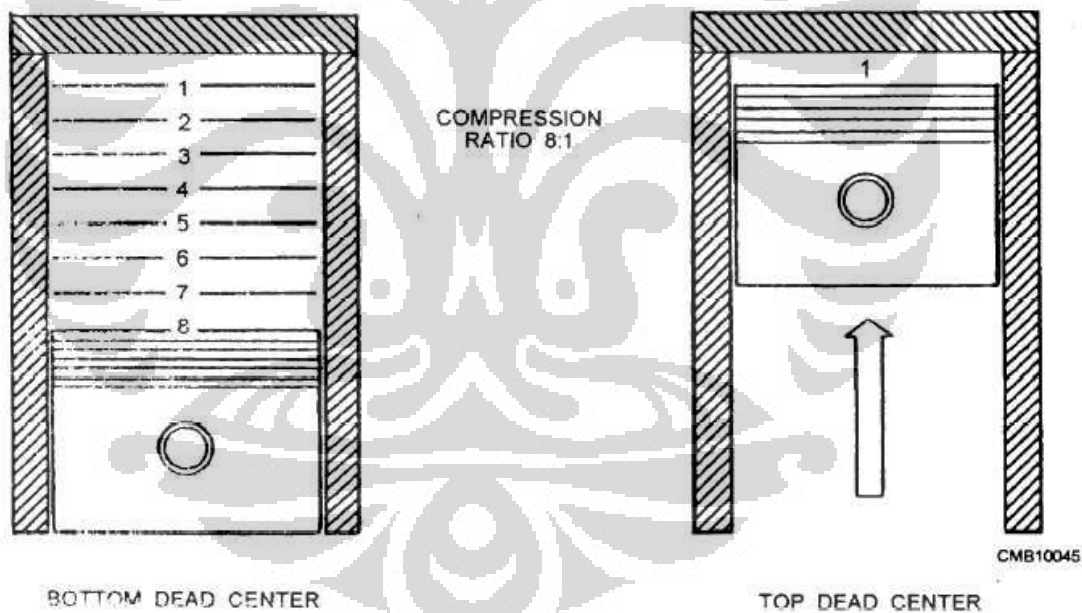
### 2.1.2 Langkah Kompresi

Ketika piston mencapai TMB, katup masuk tertutup dan piston kembali bergerak menuju TMA dengan seluruh katup tertutup. Hal ini menghasilkan kompresi terhadap campuran udara-bahan bakar, sehingga meningkatkan tekanan dan temperatur di dalam ruang bakar. Ketika hampir mencapai akhir daripada langkah kompresi, busi akan menyala dan menginisiasi terjadinya pembakaran.

Tekanan meningkat berdasarkan rasio kompresi daripada motor bakar itu sendiri, yaitu rasio antara volume silinder penuh ketika piston berada di luar daripada langkahnya dengan volume sisa ketika piston berada di TMA. Rasio kompresi motor bakar bensin biasanya berkisar antara 6-9 dan tekanan pada ujung kompresi sekitar  $620-827.4 \text{ kN/m}^2$ .



Gambar 2.2 Langkah Kompresi, Howell, 2008



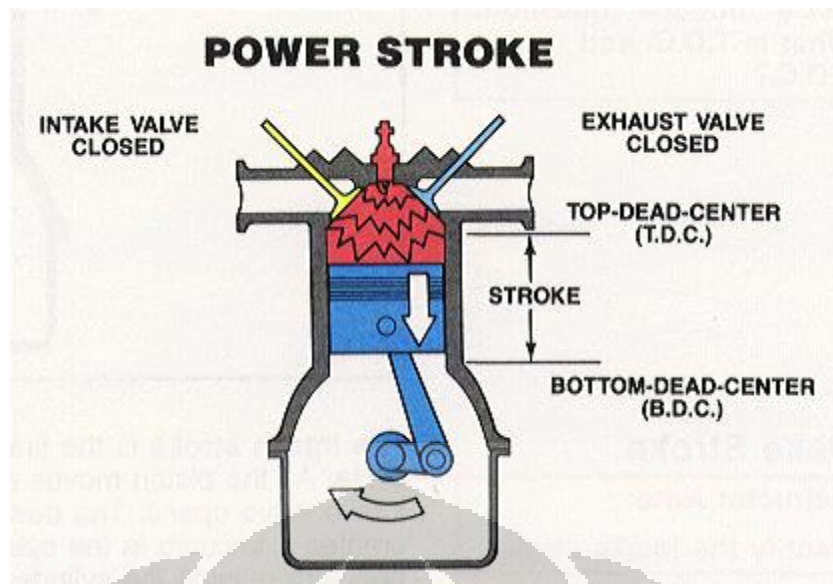
Gambar 2.3 Rasio Kompresi, mechanic-info.blogspot.com

### 2.1.3 Langkah Kerja/ Tenaga

Dengan seluruh katup tertutup, tekanan tinggi tercipta dengan proses pembakaran yang mendorong piston menjauh dari TMA. Ini adalah langkah yang menghasilkan kerja dari siklus mesin. Ketika piston bergerak dari TMA ke TMB, volume silinder bertambah, menyebabkan tekanan dan temperatur menurun drastis. Kemudian piston kembali bergerak ke TMA akibat momentum daripada flywheel, dan mendorong seluruh gas sisa pembakaran keluar melalui katup buang. Tekanannya akan berada sedikit di atas tekanan atmosfer yang besarnya tergantung daripada tahanan aliran yang diakibatkan dari katup buang dan *silencer/muffler*. Dari hal ini terlihat bahwa hanya terdapat satu langkah kerja untuk 4 langkah piston, atau setiap 2 revolusi dari crankshaft, 3 langkah lainnya sering disebut sebagai langkah idle, dimana langkah ini membentuk suatu bagian yang tidak terpisahkan dari suatu siklus.

Pembakaran dari campuran udara-bahan bakar muncul hanya dalam periode waktu yang sangat cepat tetapi dengan batasan waktu tertentu ketika piston mendekati ke TMA. Hal ini dimulai ketika langkah kompresi mendekati akhir sedikit sebelum TMA dan terus berlangsung hingga tercipta langkah kerja sedikit setelah TMA. Pembakaran merubah komposisi dari campuran gas buang sisa pembakaran dan meningkatkan temperatur pada silinder secara drastis ke angka tertingginya. Sehingga secara tidak langsung tekanan di dalam silinder juga akan mencapai titik tertingginya secara bergantian.

Tepat sebelum langkah kompresi selesai, percikan api dari loncatan listrik akan memicu terjadinya pembakaran yang menyebabkan meningkatnya tekanan dan temperatur di dalam silinder. Pembakaran selesai ketika piston berhenti dan diikuti dengan ekspansi daripada gas panas. Tekanan daripada gas tersebut menggerakkan piston dan memutar crankshaft sehingga mobil/motor dapat bergerak melawan hambatan luar dan mengembalikan momentum flywheel yang hilang ketika langkah idle. Tekanan akan menurun ketika volume bertambah.



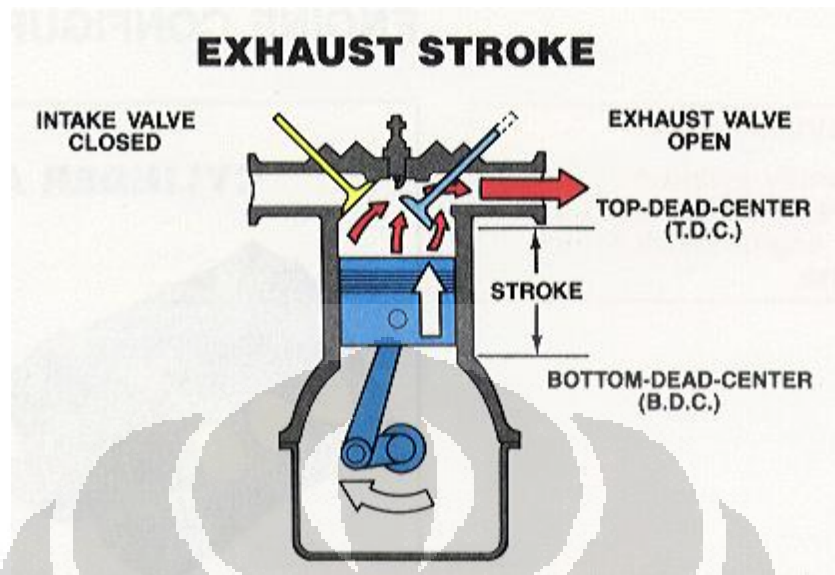
Gambar 2.4 Langkah Kerja/Tenaga, Howell, 2008

#### 2.1.4 Langkah Pembuangan

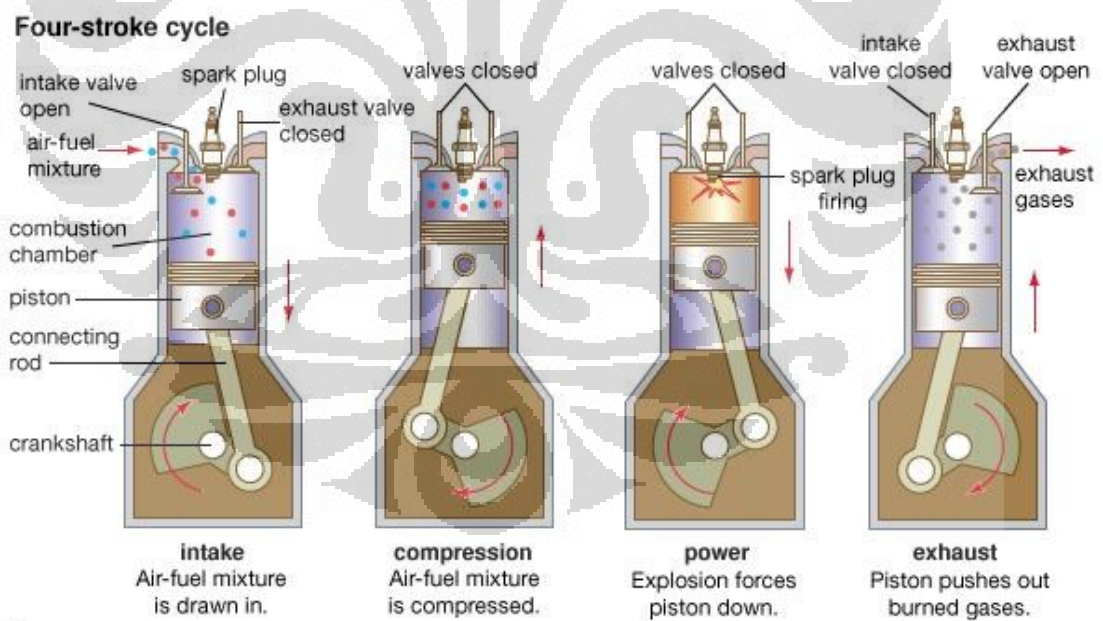
Ketika piston bergerak mendekati  $48^{\circ}$  TMB, cam lobe dari katup buang mulai mendorong cam follower ke atas dan menyebabkan katup buang terbuka. Kemudian gas buang mulai mengalir ke luar yang disebabkan karena tekanan silinder dan menuju ke exhaust manifold. Setelah melalui TMB, piston kemudian bergerak ke atas dan memiliki akselerasi maksimal sekitar  $63^{\circ}$  sebelum TMA. Dari titik ini piston akan mengalami perlambatan, dan ketika kecepatan piston menurun, kecepatan dari gas buang keluar dari silinder akan menciptakan tekanan sedikit di atas tekanan atmosfer. Pada  $28^{\circ}$  sebelum TMA, katup masuk terbuka dan siklus akan berjalan kembali.

Langkah pembuangan menyelesaikan proses pembakaran. Pembukaan kembali katup masuk menjadi sinyal dimulainya siklus baru, dimana muncul pada setiap silinder dalam suatu mesin. Siklus pembakaran akan terus berulang pada kecepatan yang sangat tinggi selama mesin terus berjalan.





Gambar 2.5 Langkah Pembuangan, Howell, 2008



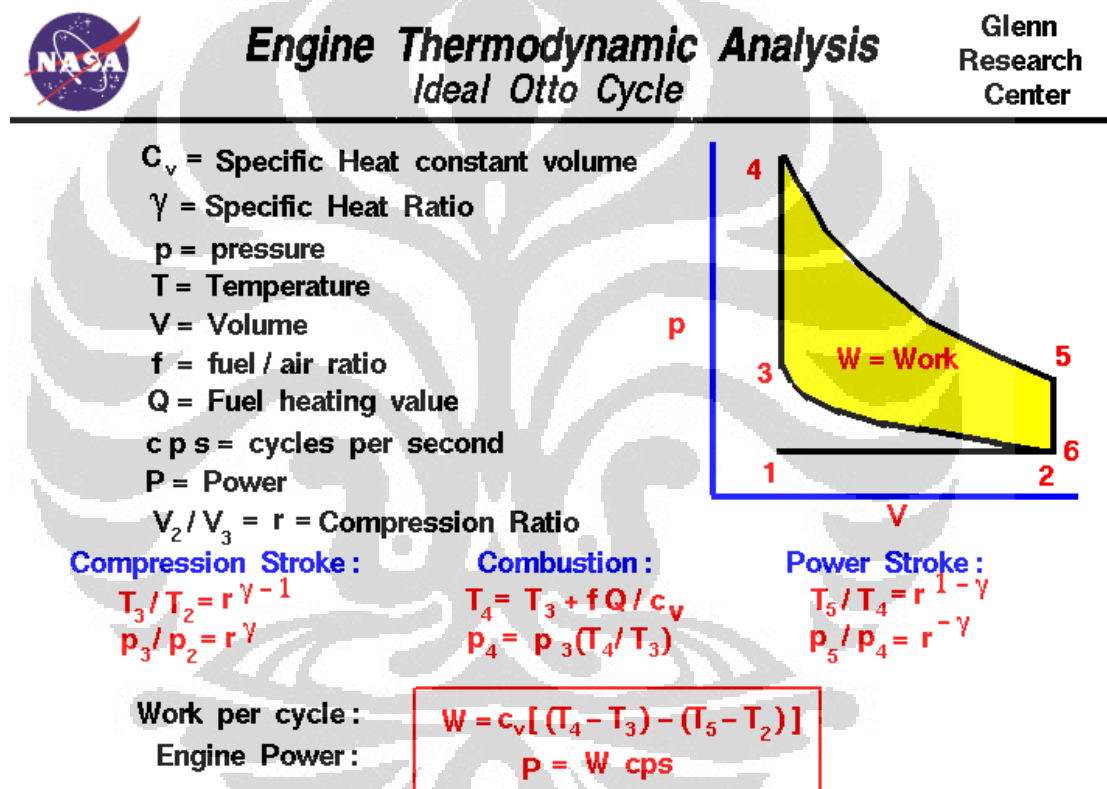
© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

Gambar 2.6 Siklus Otto 4 Langkah, Encyclopædia Britannica, Inc

## 2.1.5 Hukum Termodinamika Pada Mesin Otto 4 Langkah

### 2.1.5.1 Siklus Ideal Mesin Otto 4 Langkah

Pada motor pembakaran dalam, campuran bahan bakar dan udara dipantik di dalam silinder. Gas hasil pembakaran yang panas mendorong piston dimana piston ini berhubungan dengan *crankshaft* untuk menghasilkan kerja. Pembakaran ini bukan suatu proses yang kontinu, tetapi merupakan suatu proses yang terjadi dengan sangat cepat pada interval waktu tertentu. Mesin ini dikatakan 4 langkah karena terdapat 4 langkah gerakan piston dalam satu kali siklus.



Gambar 2.7 Siklus Ideal dan Persamaan Termodinamik Mesin Otto

Pada gambar di atas terdapat diagram p-V siklus Otto ideal. Langkah hisap (1-2) dan langkah buang (6-1) terjadi dalam kondisi tekanan konstan dan tidak berpengaruh terhadap besarnya kerja yang dapat dihasilkan. Selama langkah kompresi (2-3) terjadi, kerja diberikan kepada campuran udara-bahan bakar oleh piston. Jika diasumsikan bahwa tidak terdapat panas yang masuk ketika proses



kompresi berlangsung, maka dapat diketahui hubungan antara perubahan volume dan perubahan tekanan dan temperatur dari persamaan entropi gas.

Perlu diketahui bahwa rasio daripada volume pada awal kompresi dengan volume pada akhir kompresi disebut rasio kompresi ( $r$ ), sehingga,

$$P_3/P_2 = r^\gamma$$

$$T_3/T_2 = r^{\gamma-1}$$

Dimana  $P$  adalah tekanan,  $T$  adalah temperatur dan  $\gamma$  (gamma) merupakan ratio daripada kalor spesifik. Selama proses pembakaran (3-4), volume dijaga konstan dan kalor dilepaskan sehingga terjadi perubahan temperatur,

$$T_4 = T_3 + f * Q/cv$$

Disini  $Q$  merupakan kalor yang dilepaskan dan  $f$  merupakan rasio antara udara-bahan bakar dalam pembakaran, dan  $cv$  adalah kalor spesifik ketika volume konstan. Dari persamaan kesetimbangan, dapat diketahui bahwa

$$P_4 = P_3 * (T_4/T_3)$$

Ketika langkah kerja (4-5) berlangsung, kerja dihasilkan oleh gas hasil pembakaran pada piston. Rasio ekspansi merupakan kebalikan dari rasio kompresi sehingga,

$$P_5 / P_4 = r^{-\gamma}$$

$$T_5 / T_4 = r^{-(\gamma-1)}$$

Kerja daripada mesin Otto dapat diketahui dengan cara menghitung luas yang dihasilkan pada p-V diagram. Berhubung proses 2-3 dan 4-5 merupakan garis lengkung atau kurva, maka akan lebih mudah menghitung kerja dengan menggunakan persamaan berikut ini,

$$W = cv * [(T_4-T_3)-(T_5-T_2)]$$

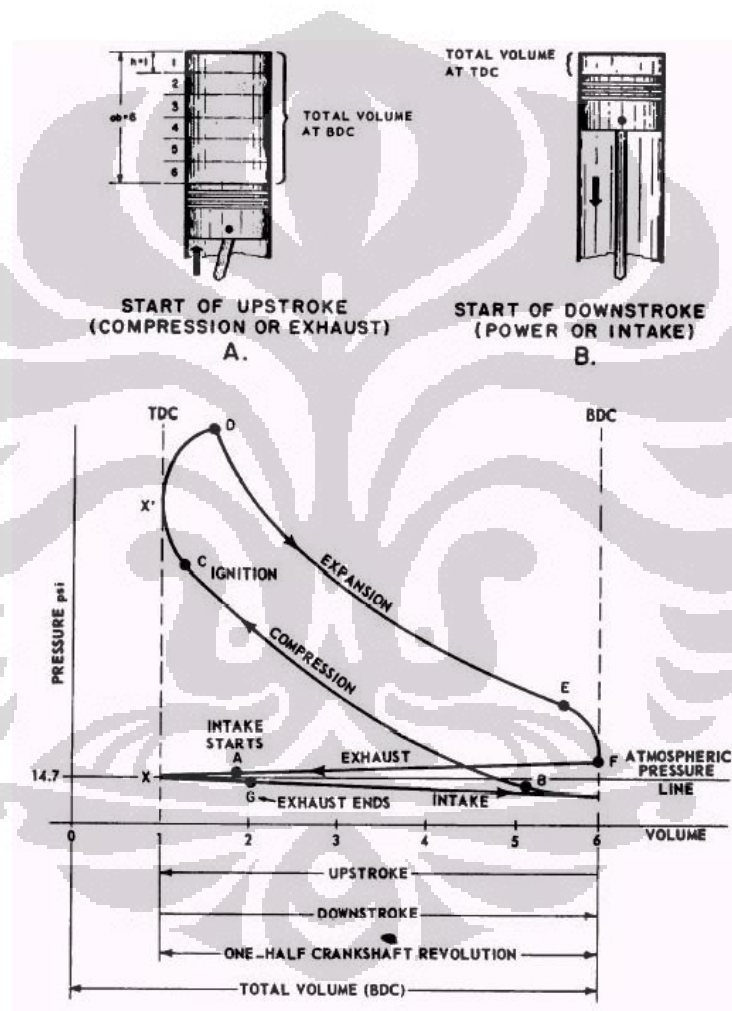
Bila kerja mesin Otto ini dikalikan dengan banyaknya putaran mesin per detik maka dapat diketahui besarnya tenaga yang dihasilkan dari mesin Otto,

$$P = W * cps$$

Dalam ilmu termodinamika, proses 2-3 dan 4-5 berlangsung secara isentropik adiabatik, yang berarti bahwa pada proses tersebut entropi daripada

fluida yang bekerja tetap konstan dan tidak terjadi perpindahan panas dari dalam atau pun dari luar atau sering juga diistilahkan dengan diinsulasi sempurna. Sedangkan dalam proses 3-4 dan 5-6, proses isokhorik terjadi, yaitu proses dimana volume daripada fluida yang bekerja dijaga konstan, maka dari itu terjadi perubahan parameter tekanan dan temperatur daripada fluida kerja.

### 2.1.5.2 Siklus Aktual Mesin Otto 4 Langkah



Gambar 2.8 P-V Diagram Siklus Aktual Mesin Otto 4 Langkah

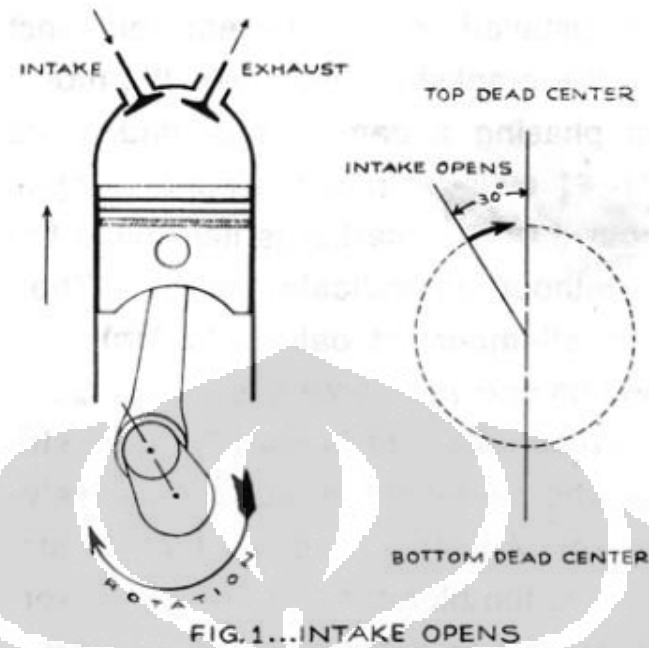
Pada kenyataannya, siklus mesin Otto yang terjadi tidak seperti yang diperkirakan pada siklus ideal. Siklus aktual besarnya selalu lebih kecil daripada siklus ideal. Hal ini menunjukkan bahwa masih banyak asumsi-asumsi yang diberikan pada perhitungan siklus ideal yang sebenarnya asumsi tersebut secara

aktual terjadi dan mempengaruhi hasil perhitungan, terutama besarnya kerja yang dilakukan oleh mesin Otto.

Pada gambar 2.8 dapat dilihat perubahan volume dan tekanan setiap waktu pada mesin Otto 4 langkah. Terlihat bahwa terdapat garis-garis yang tidak selurus pada diagram p-V ideal dan juga terdapat garis horizontal yang menunjukkan tekanan atmosfer. Tekanan yang berada di bawah atmosfer dikenal dengan istilah tekanan vakum, sedangkan garis dibawah diagram tersebut menunjukkan volume silinder dan gerakan piston.

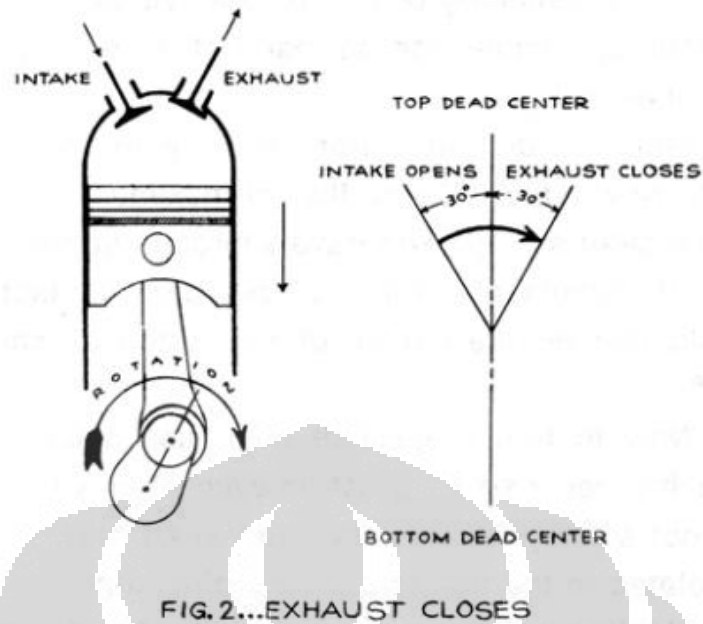
Langkah hisap terjadi pada titik A, dan tekanan semakin menurun hingga piston mencapai TMA dan kembali ke TMB, tekanan vakum mulai tercipta yang secara tidak langsung berfungsi untuk membuat campuran udara-bahan bakar mengalir masuk ke dalam ruang bakar. Langkah ini terus berjalan hingga beberapa derajat setelah piston melalui TMB dan berakhir pada titik B. Kemudian langkah kompresi dimulai, dimana terjadi peningkatan tekanan dan penurunan volume secara drastis dan loncatan bunga api dari busi muncul pada titik C. Tekanan naik kembali secara mendadak ketika terjadi proses pembakaran (kurva CD). Kenaikan tekanan tersebut mengakibatkan piston dapat kembali bergerak ke arah TMB dan gas sisa pembakaran tereksansi ketika piston bergerak ke TMB. Tekanan nya menurun ketika volumenya bertambah dari D ke E. Langkah pembuangan dimulai pada titik E, beberapa derajat sebelum TMB. Tekanan nya turun mendadak hingga piston mencapai TMB. Dan ketika piston kembali bergerak menuju TMA , terjadi sedikit penurunan tekanan ketika gas sisa pembakaran akan dibuang. Langkah pembuangan terus berlanjut hingga beberapa derajat setelah TMA sampai pada titik G sehingga terjadi fenomena *overlapping*, yang mengakibatkan gas sisa pembakaran terdorong keluar silinder akibat mulai masuknya campuran udara-bahan bakar.

### 2.1.5.3 Overlapping



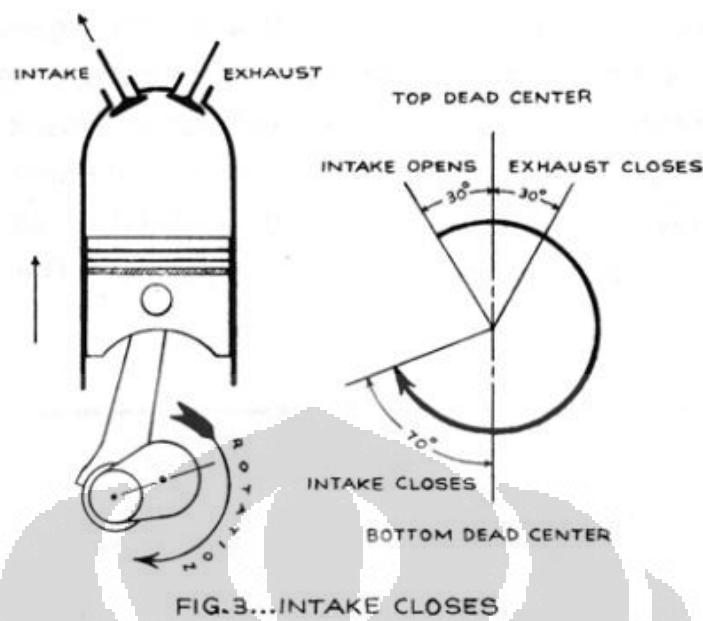
Gambar 2.9 Katup Masuk Terbuka , ISKY Racing Cams , California

Pada diagram *valve timing* dan silinder di atas, katup masuk mulai terbuka  $30^\circ$  sebelum TMA atau sebelum piston memulai langkah hisap. Hal ini dimaksudkan agar katup mulai terbuka duluan secara perlahan sehingga ketika piston mencapai TMA, katup akan sudah terbuka secara penuh, sehingga campuran udara-bahan bakar bisa masuk sepenuhnya ke dalam ruang bakar untuk menghasilkan pembakaran agar dapat menciptakan suatu kerja mesin yang optimal.



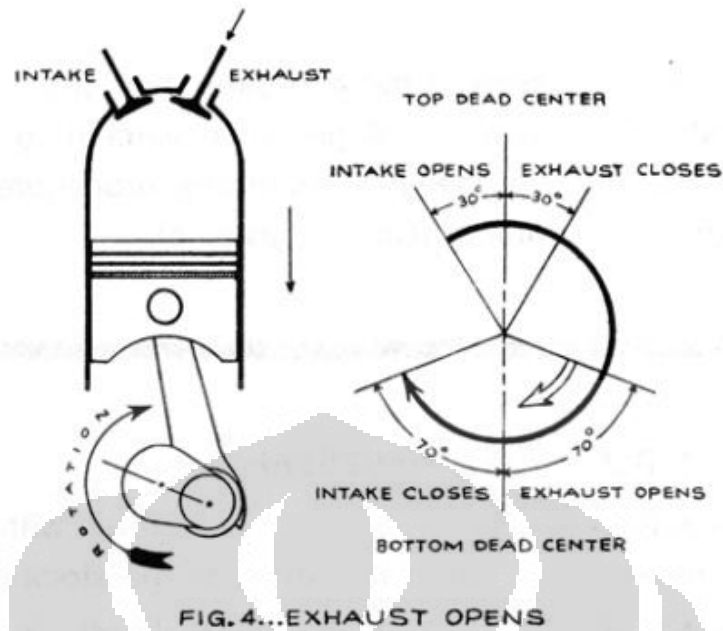
Gambar 2.10 Katup Buang Tertutup, ISKY Racing Cams , California

Setelah piston mencapai dan melewati TMA, katup buang masih sedikit terbuka dan mulai tertutup secara perlahan. Gas sisa yang masih terbakar pada mulut pipa mengandung column inertia yang besar. Pada putaran mesin yang tinggi, terjadi fenomena pembilasan akibat *column inertia*. Dimana gaya tersebut membantu menarik campuran udara-bahan bakar ke dalam ruang bakar selama peristiwa overlap terjadi. Setelah 30° dari TMA, katup buang akan tertutup sepenuhnya.



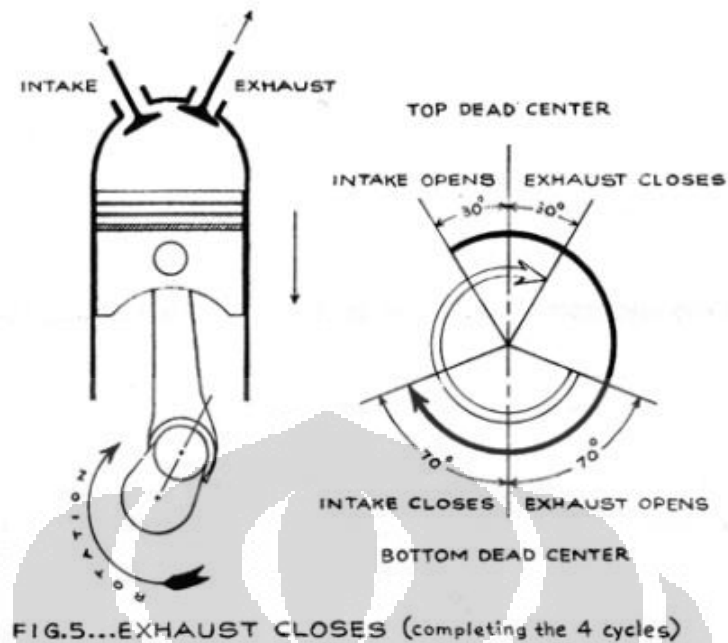
Gambar 2.11 Katup Masuk Tertutup , ISKY Racing Cams , California

Langkah hisap terus terjadi ketika piston menuju TMB dan menarik campuran udara-bahan bakar ke dalam silinder hingga mencapai TMB dan kembali bergerak menuju TMA untuk melakukan langkah kompresi. Jika katup masuk tertutup lebih dahulu ketika piston mencapai TMB, maka akan terjadi kehilangan energi ketika mesin berada pada putaran tinggi. Hal ini terjadi karena langkah hisap masih akan terus berjalan dan membentuk energi kinetik serta terus mengisi ruang bakar. Kurang lebih sekitar  $70^0$  setelah TMB, katup masuk akan tertutup dan langkah hisap selesai. Menurut diagram di atas, dapat dihitung bahwa katup masuk terbuka selama  $280^0$  putaran *crankshaft*.



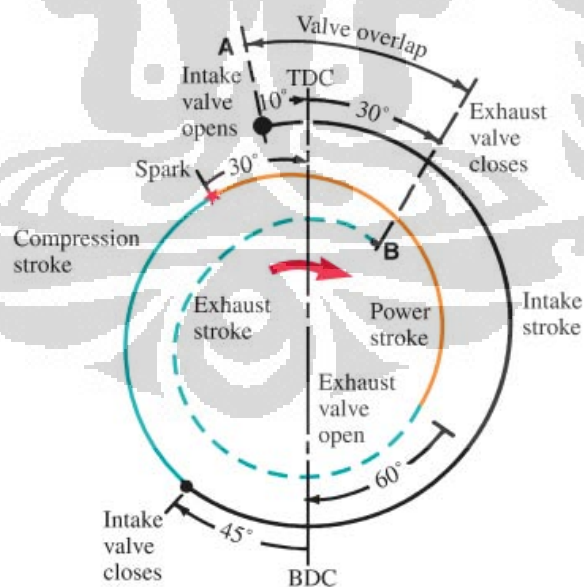
Gambar 2.12 Katup Keluar Terbuka , ISKY Racing Cams , California

Piston terus menuju ke TMA untuk melakukan langkah kompresi, untuk mengkompresi campuran udara-bahan bakar hingga 1/10 volume yang masuk ketika langkah hisap terjadi. Sesaat sebelum piston mencapai TMA, busi akan menyala untuk memicu terjadinya pembakaran yang terpropagasi di dalam ruang bakar. Ketika piston mencapai TMA, campuran udara-bahan bakar yang menyala mengembang dan menciptakan langkah kerja dan mendorong piston untuk bergerak ke TMB. 70<sup>0</sup> sebelum piston mencapai TMB, katup buang terbuka untuk memulai terjadinya langkah buang sebelum langkah kerja selesai sepenuhnya. Hal ini dilakukan agar gas sisa pembakaran yang memiliki tekanan dapat keluar dari ruang bakar secara alamiah sehingga akan mengurangi beban piston ketika kembali bergerak ke atas untuk menekan gas sisa pembakaran ke luar silinder.



Gambar 2.13. Katup Buang Tertutup, ISKY Racing Cams , California

Piston kembali bergerak ke arah TMA untuk menyelesaikan langkah buangnya. Sekitar  $30^{\circ}$  setelah piston mencapai TMA katup buang akan tertutup kembali. Periode terbuanya katup buang terjadi selama  $280^{\circ}$  putaran crankshaft. Langkah ini menyelesaikan satu siklus dari mesin 4 langkah.



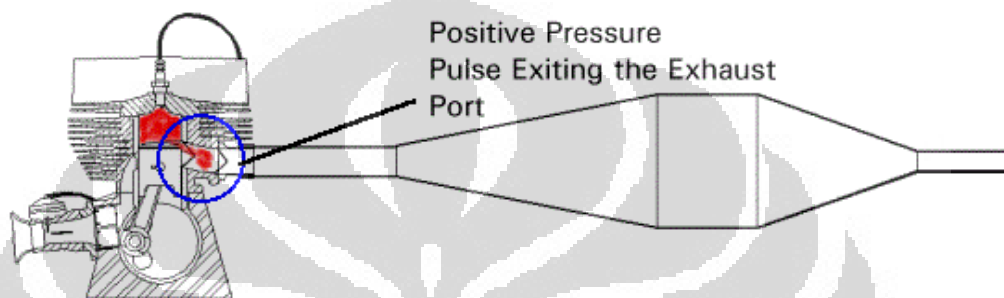
Gambar 2.14. Siklus Aktual Overlapping, The Goodheart-Willcox Co., Inc

## 2.2 Sistem Pembuangan Gas Sisa Pembakaran

Ketika piston hampir mendekati TMA, busi menyala dan memicu terjadinya pembakaran yang mengakibatkan piston kembali bergerak ke TMB



Untuk melakukan langkah kerja. Piston memindahkan energi dari hasil pembakaran untuk menggerakkan crankshaft dan kemudian katup buang terbuka untuk memulai terjadinya pembuangan gas sisa pembakaran keluar dari silinder. Berhubung tekanan gas buang tersebut masih cukup tinggi, hal ini menyebabkan keluarnya gas sisa pembakaran secara cepat (*blowdown*). Gelombang tekanan terus tercipta selama katup buang terbuka. Gas buang ini dapat bergerak dengan kecepatan rata-rata hingga 105 m/s, tetapi gelombang tekanan bergerak pada kecepatan suara.



Gambar 2.15. Exhaust Blowdown, <http://www.southernskies.net>

Gas buang ini akan dengan cepat menuju *primary header pipe*/ kepala pipa knalpot yang kemudian akan menuju ke dalam *muffler*/ knalpot. Di dalam knalpot ini, gas buang kembali berekspansi seiring dengan menjalarnya gelombang tekanan tersebut ke seluruh bagian dalam knalpot sesuai rancangannya dan berakhir keluar di *tail-pipe*/ mulut knalpot.



Gambar 2.16. Gambaran Umum Sistem Pembuangan

Berdasarkan visualisasi di atas, terdapat 2 fenomena yang terjadi di dalam sistem pembuangan yaitu pergerakan partikel gas dan aktivitas gelombang tekanan. Perbedaan tekanan absolut antara dalam silinder dan atmosfer menentukan kecepatan gerak partikel gas. Seiring dengan gas yang terus

mengalir dan berekspansi maka kecepatannya berkurang. Sedangkan gelombang tekanan yang terjadi memiliki kecepatan yang tergantung dari kecepatan suara. Selagi kecepatan gelombang menurun ketika gas terus mengarah ke luar, kecepatannya akan meningkat kembali ketika gelombang tersebut kembali mengarah menuju silinder. Pada dasarnya, kecepatan gelombang memang lebih cepat daripada kecepatan partikel gas. Gelombang berperilaku jauh berbeda dari partikel gas ketika melalui persimpangan pipa di dalam knalpot. Gelombang mengalami pantulan kembali ke arah silinder dengan tekanan negatif. Besarnya gelombang balik ini tergantung dari geometri di dalam knalpot. Ide dasarnya adalah untuk menyelaraskan refleksi gelombang balik dengan periode waktu ketika overlap terjadi di dalam silinder. Tekanan balik ini membantu silinder melakukan langkah hisap ketika katup masuk terbuka dan membantu mengeluarkan gas sisa pembakaran keluar dari silinder sebelum katup buang tertutup. Apabila kecepatan partikel gas terlalu tinggi maka akan menyebabkan tahanan yang terlalu besar sehingga akan merugikan tenaga maksimal, sedangkan bila kecepatannya terlalu kecil akan merugikan tenaga pada torsi rendah.

Rancangan sistem pembuangan ini merupakan suatu tindakan penyeimbangan antara seluruh kejadian kompleks yang terjadi di dalam mesin dan ketepatan waktunya. Bahkan dengan panjang dan diameter pipa knalpot yang paling optimal, rancangan knalpot dapat semakin mengoptimalkan performa mesin. Pada dasarnya, seluruh rancangan akan diuji untuk menghasilkan kurva tenaga yang paling baik dan optimal. Sebenarnya berbagai macam rancangan sistem pembuangan terus berkembang dari teori yang ada, tetapi yang kebanyakan masih dilakukan adalah dengan melakukan eksperimen secara *trial and error*.

Tidak ada rancangan sistem pembuangan yang ideal untuk seluruh aplikasi. Itu semua tergantung dari rancangannya dan tujuannya, setiap rancangan dapat menghasilkan efek-efek yang berbeda untuk mencapai suatu tujuan tertentu. Terdapat beberapa pertimbangan yang harus dipahami terlebih dahulu sebelum melakukan modifikasi knalpot yaitu :

- Tenaga mana yang ingin didapatkan, low-end, mid-range atau top-end

- Apakah mesin anda akan menggunakan cam dengan nilai lift, timing, dan overlapping yang berbeda dari standard?
- Lebih baik dipahami terlebih dahulu hubungan antara torsi dan horsepower
- Sistem pembuangan mana yang ingin digunakan, untuk performa atau gaya.

Istilah *maximum power* dan *maximum performance* sering menjadi bahasan di dunia modifikasi knalpot. Akan tetapi pada kenyataannya, tidak mungkin suatu sistem pembuangan dapat menghasilkan kedua hal tersebut. Ketika membandingkan 2 kurva horsepower pada grafik dyno test, kurva yang menunjukkan tenaga rata-rata terbesar adalah tenaga yang mampu mencakup jarak tertentu dengan waktu yang lebih cepat dan mengandung tenaga maksimal yang mungkin didapat.

Suatu sistem pembuangan tidak dapat memproduksi tenaga lebih banyak dengan sendirinya. Tenaga mesin ditentukan dari jumlah campuran udara-bahan bakar yang terbakar di dalam silinder. Namun demikian, efisiensi pembakaran dan proses pemompaan mesin dipengaruhi oleh sistem pembuangan. Rancangan sistem pembuangan yang baik dapat mengurangi kerugian pompa mesin. Sehingga, objektif untuk menciptakan suatu sistem pembuangan yang *high performace* adalah mengurangi kerugian pompa mesin dimana akan menaikkan efisiensi volumetrik. Hal ini akan meningkatkan efisiensi bahan bakar karena dibutuhkan bukaan katup *throttle* yang lebih kecil untuk menghasilkan kecepatan yang sama.

Kebanyakan modifikasi mesin yang dilakukan adalah untuk memaksimalkan jumlah campuran udara-bahan bakar yang masuk ke dalam silinder dan aliran gas buang dari mesin. Aliran campuran udara-bahan bakar yang masuk ke dalam silinder merupakan topik yang berbeda, tetapi sangat dipengaruhi oleh aliran gas buang, khususnya ketika terjadi fenomena *overlapping*. Bahan bakar membutuhkan oksigen untuk terbakar, berdasarkan volume, pada udara biasa terdapat 21% oksigen, 78% nitrogen, dan sisanya merupakan campuran daripada gas-gas yang lain. Berhubung kadar volume oksigen hanya sekitar 1/5 dari volume udara total, maka suatu mesin membutuhkan jumlah volume udara 5

kalinya agar mendapatkan kadar oksigen yang dibutuhkan untuk menciptakan suatu pembakaran yang sempurna. Secara teoritis, suatu mesin standard akan memiliki tenaga maksimum yang sebanding dengan jumlah udara yang masuk ke dalam ruang bakar. Ini berarti bahwa mesin berkapasitas 80 cc akan menghasilkan tenaga maksimum yang sama dengan mesin berkapasitas 100 cc apabila volume udara yang mengalir ke dalam ruang bakar adalah sama.

Salah satu isu yang menjadi bagian penting dari rancangan sistem pembuangan adalah hubungan antara volume aliran gas dan kecepatan aliran gas. Suatu mesin membutuhkan kecepatan aliran setinggi mungkin untuk menghasilkan respons throttle yang cepat dan torsi antara rentang low-mid dari kurva tenaga. Mesin yang sama juga membutuhkan aliran volume gas sebanyak mungkin antara rentang mid-high untuk menghasilkan performa yang maksimal.

Ketika katup buang terbuka terjadi gelombang energy yang muncul akibat berekspansinya gas pembakaran secara cepat. Gelombang ini masuk ke dalam pipa pembuangan menuju keluar dengan kecepatan 390-510 m/s. Gelombang ini merupakan energy murni yang mirip dengan gelombang kejut dari suatu ledakan. Secara simultan, gelombang energi dan gas sisa pembakaran masuk ke dalam pipa pembuangan menuju keluar dengan kecepatan yang lebih rendah yaitu 45-90 m/s. Biasanya tenaga maksimum dicapai ketika kecepatan gas sebesar 72-90 m/s.

Karena gelombang energi bergerak 5 kali lebih cepat dari gas sisa pembakaran, maka gelombang energi akan tiba lebih dahulu daripada gas sisa pembakarannya. Ketika gelombang energi tersebut menemui suatu daerah bertekanan rendah seperti pipa dengan diameter yang lebih besar dan knalpot dengan diameter yang lebih besar, suatu gelombang pemecah terpantul kembali menuju katup buang tanpa mengalami kerugian kehilangan kecepatan gas buang dari knalpot.

Gelombang balik yang kembali mengarah ke katup buang berhadapan dengan gas buang sehingga keduanya saling melewati satu sama lain, dengan sedikit kehilangan energi dan turbulensi kemudian terus melanjutkan gerakan masing-masing. Saat yang paling kritis pada langkah buang adalah saat dimana gelombang balik tersebut datang, efeknya akan berbeda bila gelombang balik tersebut datang ketika katup buang terbuka dan tertutup. Jika katup buang tertutup

ketika gelombang balik datang, maka gelombang tersebut akan terpantul kembali ke arah keluaran pipa knalpot dan mendisipasi energi ketika melakukan gerakan bolak balik. Sedangkan ketika katup buang terbuka ketika gelombang tersebut datang, efek aliran gas buangnya tergantung pada bagian dimana gelombang tersebut menumbuk katup buang yang terbuka.

Sebenarnya terdapat beberapa faktor lain yang mempengaruhi perilaku dari gas buang. Gelombang harmonic, amplifikasi gelombang, dan penggalan gelombang mempengaruhi skema daripada sistem pembuangan. Interaksi dari semua variable ini sangat kompleks sehingga sangat sulit untuk dipelajari sepenuhnya secara bersamaan. Hingga sekarang belum ditemukan suatu persamaan yang dapat menghasilkan suatu rancangan sistem pembuangan yang sempurna. Bahkan sebuah rancangan di dalam komputer harus melalui uji dyno, track, dan uji jalan untuk menentukan konfigurasi sistem yang dibutuhkan untuk hasil tertentu. Perlu diingat bahwa pilihan dan kombinasi dari karburator, saringan udara, camshaft, pemantik, dan sistem pembuangan yang digunakan dengan hubungan yang tepat satu sama lain dalam suatu aplikasi berkendaraan akan selalu menghasilkan kualitas yang paling baik.

### **2.2.1 Kebisingan**

Kebisingan adalah suatu keadaan dimana terdapat suara-suara dan getaran-getaran yang tidak diinginkan. Suara muncul akibat perubahan tekanan pada suatu media (udara), yang disebabkan oleh getaran atau turbulensi. Amplitudo dari perubahan tekanan ini dinyatakan sebagai level suara dan perubahan dari level tersebut juga berpengaruh terhadap frekuensi suaranya. Level suara diukur dalam satuan decibel (dB) yang merupakan skala logaritmik pada perubahan tekanan terhadap suatu tingkat tekanan tertentu. Efek daripada kebisingan ini biasanya dipengaruhi oleh durasi dan tingkat dari kebisingan itu sendiri. Dalam durasi yang lama dengan tingkat kebisingan yang tinggi akan lebih merusak pendengaran dan secara umum lebih dianggap mengganggu [8].

Kendaraan bermotor menghasilkan berbagai macam suara seperti, akselerasi mesin, kontak ban dengan jalanan, rem, klakson, dan alarm. Menurut laporan OECD, “ Sejauh ini transportasi merupakan sumber utama dari kebisingan

dibandingkan dengan bangunan atau industri ”[5]. Sepeda motor, truk, dan bus memiliki kontribusi yang besar terhadap kebisingan di jalanan[6]. Pada kecepatan rendah, kebisingan tersebut muncul dari mesin kendaraan tersebut, tetapi pada kecepatan tinggi kecepatan aerodinamis dan gesekan ban dan jalan lebih mendominasi[7]. Beberapa faktor yang mempengaruhi kebisingan di jalanan adalah :

- Tipe Kendaraan. Sepeda motor, truk, bus dan kendaraan lainnya dengan sistem pembuangan gas yang salah menyebabkan tingkat kebisingan yang tinggi
- Tipe Mesin. Mesin diesel tua lebih berisik dibandingkan dengan mesin bensin dan gas. Sedangkan mesin hybrid dan elektrik merupakan yang paling tenang.
- Karakteristik berkendara. Kecepatan pelan lebih menghasilkan kebisingan yang rendah. Kebisingan tercipta ketika suatu kendaraan berakselerasi atau menanjak. Berkendara secara agresif dengan akselerasi cepat dan pengereman mendadak meningkatkan kadar kebisingan yang terjadi.

## LEVELS OF NOISE In decibels (dB)

PAINFUL & DANGEROUS		
Use hearing protection or avoid	140	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fireworks</li> <li>• Gun shots</li> <li>• Custom car stereos (at full volume)</li> </ul>
	130	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jackhammers</li> <li>• Ambulances</li> </ul>
UNCOMFORTABLE		
Dangerous over 30 seconds	120	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jet planes (during take off)</li> </ul>
VERY LOUD		
Dangerous over 30 minutes	110	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concerts (any genre of music)</li> <li>• Car horns</li> <li>• Sporting events</li> </ul>
	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snowmobiles</li> <li>• MP3 players (at full volume)</li> </ul>
	90	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lawnmowers</li> <li>• Power tools</li> <li>• Blenders</li> <li>• Hair dryers</li> </ul>
Over 85 dB for extended periods can cause permanent hearing loss.		
LOUD		
	80	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alarm clocks</li> </ul>
	70	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traffic</li> <li>• Vacuums</li> </ul>
MODERATE		
	60	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normal conversation</li> <li>• Dishwashers</li> </ul>
	50	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moderate rainfall</li> </ul>
SOFT		
	40	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quiet library</li> </ul>
	30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Whisper</li> </ul>
FAINT		
	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leaves rustling</li> </ul>

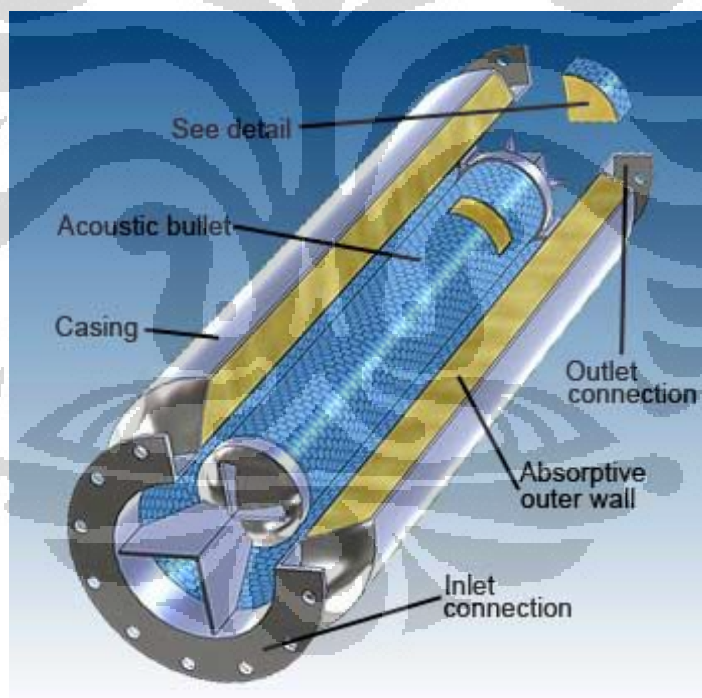
American Academy of Audiology | 11730 Plaza America Drive, Suite 300, Reston, VA 20190 | 800-AAA-2336 | www.audiology.org  
 ©2008 American Academy of Audiology. All rights reserved.

Gambar 2.17. Tingkat Kebisingan, American Academy of Audiology, 2008

### 2.2.2 Knalpot (Muffler)

Apabila suatu mesin dijalankan tanpa adanya knalpot, maka akan muncul suara kebisingan yang sangat mengganggu kenyamanan manusia. Di dalam knalpot terdapat suatu rangkaian perpipaan yang berfungsi untuk mengurangi kebisingan suara yang tercipta dari suatu mesin kendaraan bermotor. Gelombang tekanan berintensitas tinggi yang dihasilkan dari pembakaran di dalam silinder mesin berpropagasi sepanjang pipa gas pembuangan. Gelombang ini terus berulang yang ditentukan berdasarkan  $f = (\text{putaran mesin} \times \text{jumlah silinder})/120$  untuk mesin 4-langkah.

Secara umum terdapat 2 jenis *muffler* yaitu *absortive muffler* dan *reactive muffler*. *Absortive muffler* adalah *muffler* yang dirancang khusus menggunakan peredam untuk menyerap gelombang suara yang keluar dari mesin tanpa memperdulikan tekanan gas buang.

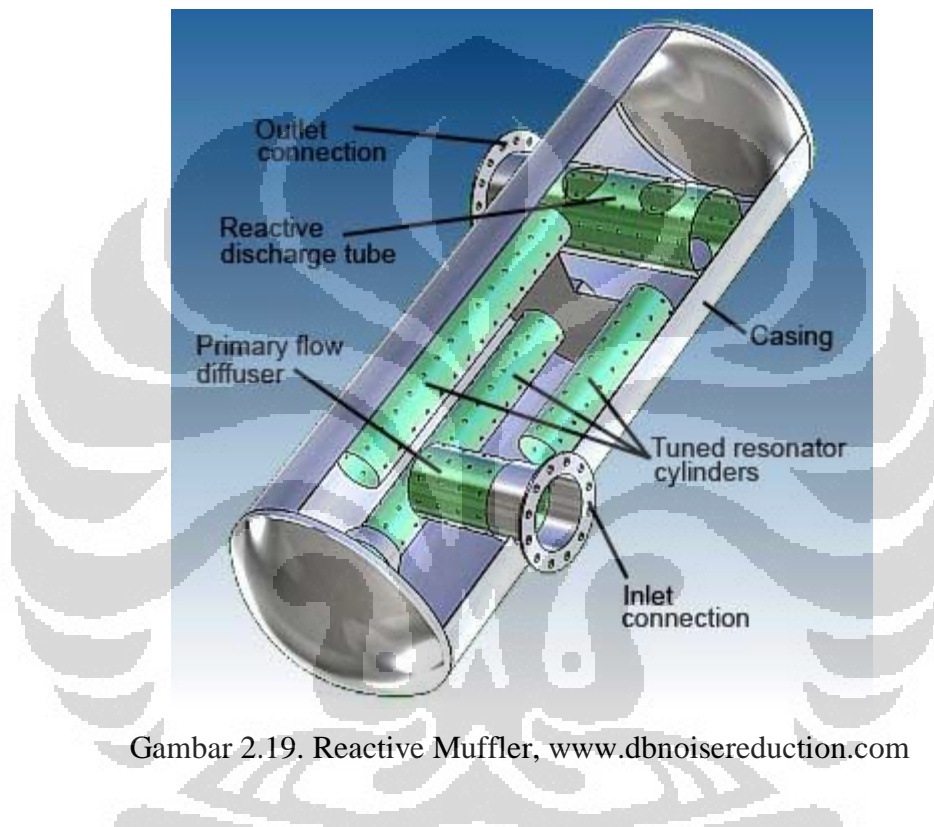


Gambar 2.18. Absortive Muffler, [www.dbnoisereduction.com](http://www.dbnoisereduction.com)

Sedangkan *reactive muffler* adalah *muffler* yang dirancang menggunakan ruang resonansi untuk menghilangkan gelombang suara yang dipantulkan pada



dinding-dinding *muffler* sesuai dengan metode superposisi. Knalpot jenis ini dirancang berdasarkan prinsip peredaman Helmholtz. Dalam prinsip ini terdapat suatu rongga atau celah yang dipasang di dalam knalpot dimana pada frekuensi suara tertentu, rongga tersebut akan beresonansi yang mengakibatkan gelombang suara tersebut terpantul kembali ke arah mesin. Dalam beberapa rancangan, terdapat beberapa rongga di dalam knalpot yang berbeda dimensinya untuk menahan frekuensi tertentu.



Gambar 2.19. Reactive Muffler, [www.dbnoisereduction.com](http://www.dbnoisereduction.com)

Getaran yang dilepaskan oleh gas pembuangan adalah penyebab dari munculnya suara bising pada mesin. Ketika mesin melakukan langkah ekspansi, katup pembuangan akan terbuka dan tekanan yang tersisa di dalam silinder mendorong gas buang keluar sebagai getaran dalam sistem pembuangan. Getaran ini berada di antara 0.1-0.4 atmosfer pada amplitudonya dengan durasi getaran antara 2-5 milisekon. Umumnya, mesin kendaraan bermotor menghasilkan suara bising antara 100-130 dB tergantung dari jenis dan tipe daripada mesin tersebut. Padahal, dengan suara bising lebih dari 80 dB dapat membahayakan manusia [2].

Dalam penelitian ini akan dilakukan beberapa modifikasi pada *muffler* untuk mendapatkan hasil yang optimal dari segi pengurangan kebisingan sehingga dibutuhkan beberapa pertimbangan berdasarkan parameter sebagai berikut [4]:

1. *Insertion Loss* , yaitu perbedaan antara dua tingkat tekanan suara yang diukur pada titik yang sama sebelum dan setelah *muffler* diletakkan dalam sistem
2. *Dynamic Insertion*, yaitu perbedaan antara dua tingkat tekanan suara yang diukur ketika *muffler* beroperasi pada kondisi aliran rata-rata.
3. *Transmission Loss*, yaitu perbandingan antara tekanan suara antara tekanan yang dihasilkan *muffler* dengan tekanan bunyi yang dihantarkan oleh *muffler*.
4. *Attenuation*, yaitu penurunan tekanan bunyi dalam desibel antara dua titik dalam sistem akustik. Penurunan ini diukur persatuan panjang saluran pada sisi *muffler*, tetapi tidak terlalu dekat dengan ujung saluran dan dikalikan dengan panjang total.
5. *Noise Reduction*, yaitu perbedaan antara tekanan suara yang diukur pada inlet dan outlet *muffler*.

Menurut Munjal, et al (1973), kriteria dari rancangan *muffler* adalah sebagai berikut:

- *Mufflers* dengan sekat pipa tambahan akan lebih baik daripada hanya dengan sekat-sekat yang simpel
- Tidak akan terdapat perbedaan yang signifikan pada *insertion loss* antara *muffler* dengan sekat pipa tambahan dengan *muffler* yang menggunakan sekat aliran balik
- Semakin banyak jumlah sekat, maka nilai *insertion loss* akan semakin baik
- Dalam panjang yang sama, peningkatan jumlah sekat secara umum akan meningkatkan nilai *insertion loss* pada frekuensi tinggi tetapi akan bersifat mengurangi pada frekuensi rendah
- Semakin besar perbandingan luas penampang daripada sekat, semakin besar pula nilai *insertion loss*.

### 2.2.3 Performa Knalpot

Untuk mengetahui seberapa bagus efek penggunaan knalpot pada suatu motor bakar maka diperlukan suatu karakteristik penilaian terhadap performa knalpot. Terdapat tiga karakteristik performa knalpot yang biasa di cari yaitu [11] :

#### 1. Insertion Loss (dB)

Nilai ini didapat berdasarkan besarnya pengurangan tingkat kebisingan suara yang dihasilkan dengan menggunakan knalpot.

Dalam bentuk persamaannya dapat ditulis sebagai berikut,

$$IL = 10 \log_{10} ( W_{ref}/W_{muffler} )$$



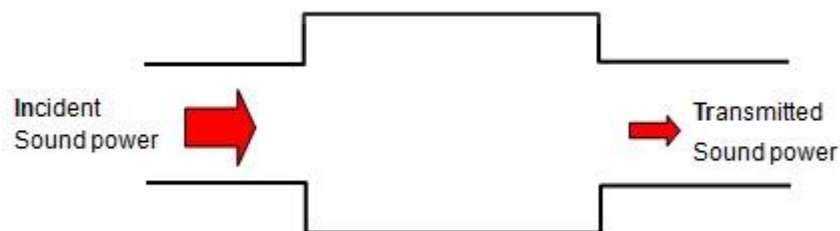
Gambar 2.20. Skema Insertion Loss, Muffler Basics, SIDLAB

#### 2. Transmission Loss (dB)

Nilai ini ditentukan berdasarkan perbedaan tingkat kebisingan pada sisi masuk daripada knalpot dengan yang ditransmisikan oleh knalpot

Dalam bentuk persamaannya dapat ditulis seperti dibawah ini,

$$TL = 10 \log_{10} (W_{incident}/W_{transmitted})$$



Gambar 2.21 Skema Transmission Loss, Muffler Basics, SIDLAB

Spektrum kebisingan gas buang akan selalu mengandung suara kuat yang berhubungan dekat dengan pemantikan campuran udara-bahan bakar di dalam silinder. Dalam mesin 4-langkah setiap silinder menyala satu kali setiap putaran *crankshaft*. Bunyi ini secara umum merupakan suara terbesar dalam spektrum kebisingan gas buang. [12]

#### Cylinder Firing Rate

CFR = RPM / 60 untuk mesin 2-langkah

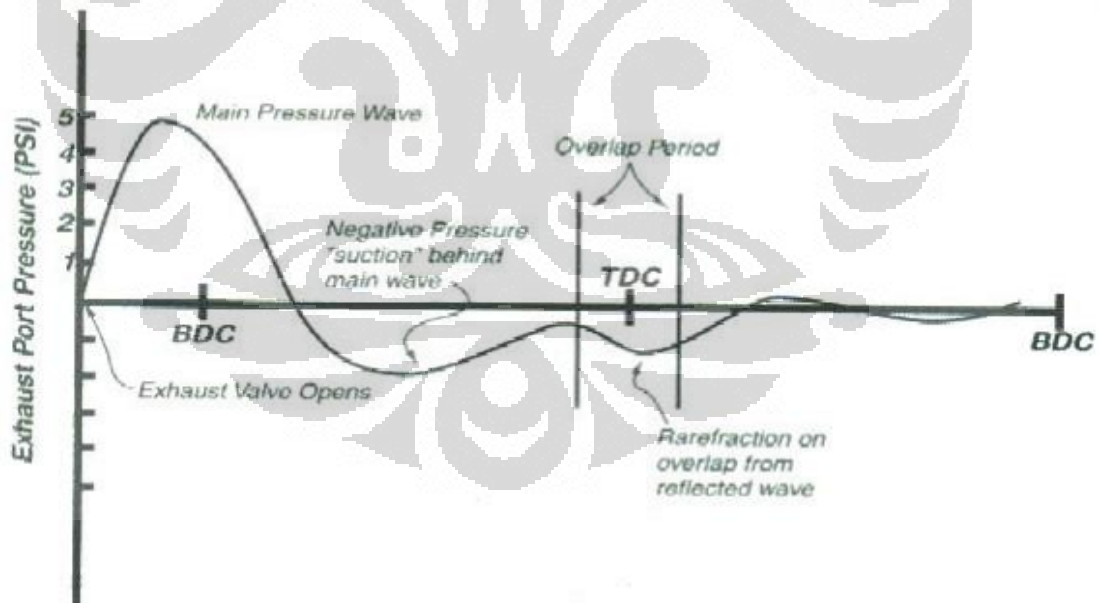
CFR = RPM / 120 untuk mesin 4-langkah

#### Engine Firing Rate

EFR = N \* CFR, dimana N adalah jumlah silinder

### 3. Backpressure (psi)

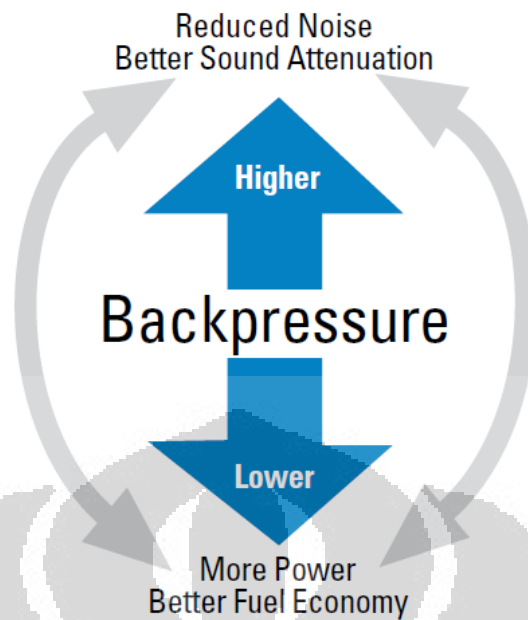
*Backpressure* adalah tekanan static tambahan yang disebabkan oleh knalpot pada mesin melalui hambatan pada aliran gas buang.[11]. Tekanan ini hanya dapat berpengaruh ketika katup buang terbuka dan ketika terjadi *overlapping*.



Gambar 2.22. Pengukuran Tekanan Pada Katup Buang,  
<http://www.veryuseful.com/mustang/tech/engine/exhaustScavenging>

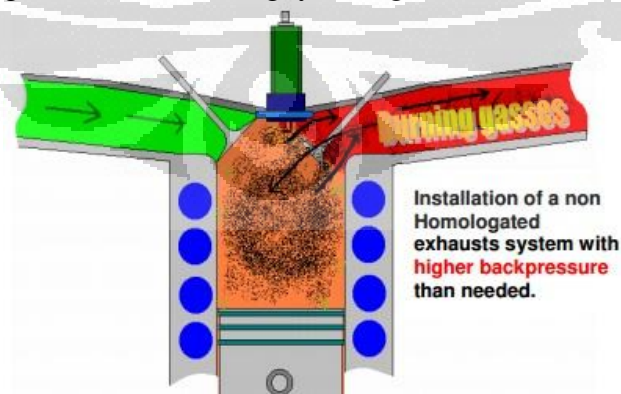
Perhatikan tekanan tinggi yang muncul sebelum katup buang terbuka sebelum TMB. Gas buang harus melawan tekanan tinggi tersebut sebelum keluar dari ruang bakar. Setelah berhasil menghadapi tekanan tersebut, gas buang mulai mengalir cepat dan menciptakan tekanan negatif. Semakin negatif tekanannya berarti tekanan dalam sistem menjadi semakin vakum. Karena itu secara alamiah sistem akan menarik keluar gas buang keluar dari dalam ruang bakar, fenomena ini sering disebut dengan istilah pembilasan. Selain membantu mengeluarkan gas buang keluar dari dalam silinder, hal ini juga membantu menarik jumlah campuran udara-bahan bakar semakin banyak pada saat *overlapping*. Semakin cepat gas buang mengalir maka semakin vakum suatu sistem dibuatnya. Yang diincar adalah untuk mendapatkan tekanan negatif sebesar-besarnya sebelum *overlapping* terjadi.

Pada saat *overlapping* terjadi, terdapat gelombang tekanan yang mengarah balik ke dalam mesin yang sering disebut dengan *reversion*. Gelombang ini lah yang mengganggu sistem pemasukan udara-bahan bakar ketika *overlapping* terjadi dengan mengurangi kadar oksigen yang masuk ke dalam silinder. Berkurangnya kadar oksigen menyebabkan berkurangnya tenaga yang dihasilkan. Dapat dilihat bahwa tekanan pada katup buang masih negatif tetapi makin lama semakin hilang. Gelombang *reversion* ini akan mengurangi kecepatan aliran gas buang karena tekanan gas buang sekarang harus mendorong tekanan daripada gelombang ini untuk keluar. Berkurangnya kecepatan aliran gas buang berarti semakin hilangnya tekanan negatif atau vakum.



Gambar 2.23. Efek Backpressure

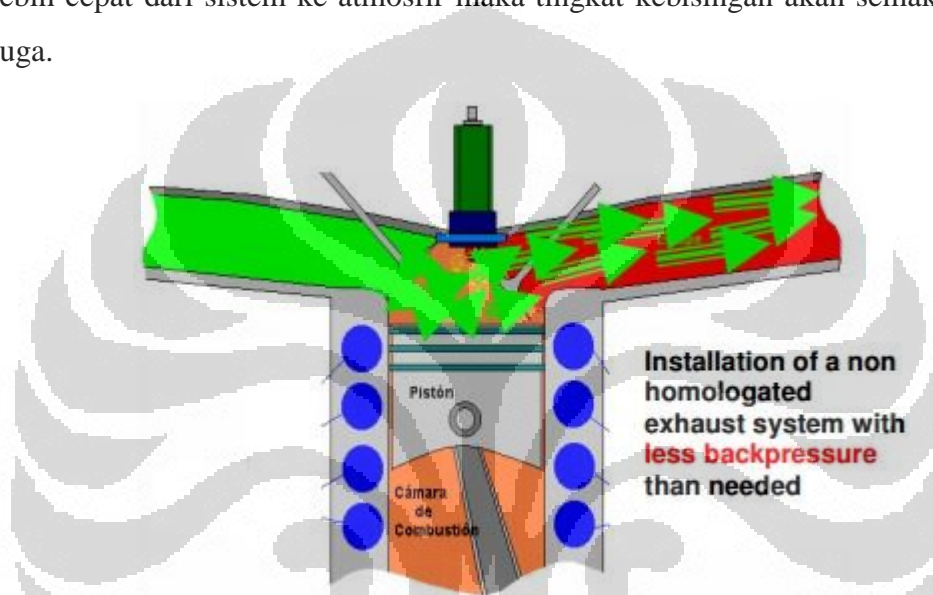
Setiap mesin memiliki karakteristik sistem pembuangan yang berbeda-beda, sehingga sudah sewajarnya setiap mesin memiliki batasan *backpressure* yang dibutuhkan oleh mesin tersebut. Apabila suatu sistem pembuangan menghasilkan *backpressure* yang lebih tinggi dari yang ditentukan, maka akan terdapat sebagian gas sisa pembakaran yang terperangkap di dalam silinder setelah fenomena *overlapping* terjadi dan bercampur dengan campuran udara-bahan bakar yang masuk ketika langkah hisap terjadi. Oleh karena itu, campuran baru ini akan menghasilkan ledakan yang lebih lemah ketika langkah kerja terjadi. Hal ini akan mengakibatkan berkurangnya tenaga mesin.



Gambar 2.24. Fenomena Berlebihnya *Backpressure*, WALKER Exhaust Systems

Sebaliknya, ketika suatu mesin memiliki nilai *backpressure* yang lebih rendah daripada yang ditentukan. Maka gas buang akan keluar lebih cepat dari

ruang bakar ketika langkah pembuangan terjadi. Ketika terjadi *overlapping*, gas sisa pembakaran akan lebih mudah mengalir dan lebih cepat menuju sistem pembuangan. Oleh sebab itu, terdapat sebagian campuran udara-bahan bakar yang masuk akan memiliki jeda waktu untuk ikut keluar melalui katup buang setelah mendorong gas sisa pembakaran keluar dari ruang bakar. Hal ini juga menyebabkan berkurangnya tenaga mesin, karena lebih sedikitnya jumlah campuran udara-bahan bakar yang terbakar. Karena gas buang akan mengalir lebih cepat dari sistem ke atmosfer maka tingkat kebisingan akan semakin tinggi juga.



Gambar 2.25 Fenomena Kurangnya *Backpressure*, WALKER Exhaust Systems

### 2.3 Aliran Gas Kompresibel

Aliran ini muncul dalam berbagai proses alamiah dan teknologi. Ketika suatu fluida bergerak dengan kecepatan tertentu yang dapat dibandingkan dengan kecepatan suaranya, maka perubahan massa jenis menjadi hal yang signifikan, biasanya aliran inilah yang disebut dengan kompresibel. Beberapa jenis aliran tidak bisa didapatkan pada fluida cair, karena membutuhkan tekanan yang sangat tinggi dalam orde 1000 atm untuk menghasilkan kecepatan sonik. Di lain sisi, pada fluida gas dengan perbandingan tekanan 2:1, bisa didapatkan aliran sonik tersebut. Oleh karena itu, aliran kompresibel ini lebih banyak dipelajari dengan menggunakan fluida gas.

Terdapat suatu parameter tertentu untuk mengklasifikasi aliran kompresibel yaitu dengan menggunakan angka Mach (Ma). Persamaannya adalah sebagai berikut,

$$Ma = \frac{v}{a} ; a = \sqrt{kRT}$$

Dimana : v = kecepatan aliran fluida ; a = kecepatan suara dari fluida tersebut ; k = perbandingan dari kalor spesifik ( Cp/Cv ) ; R = konstanta gas ; T = Temperatur gas.

Klasifikasi aliran berdasarkan angka Mach dapat dilihat dibawah ini :

- Ma < 0.3 : Aliran inkompresibel, dimana efek massa jenis diabaikan
- 0.3 < Ma < 0.8 : Aliran subsonik, dimana efek massa jenis penting, tetapi tidak muncul gelombang kejut (shock waves).
- 0.8 < Ma < 1.2 : Aliran transonik, dimana gelombang kejut mulai muncul dan memisahkan aliran subsonik dengan supersonik.
- 1.2 < Ma < 3.0 : Aliran supersonik, dimana gelombang kejut akan selalu muncul tetapi tidak terdapat daerah subsonik.
- Ma > 3.0 : Aliran hipersonik, dimana perubahan gelombang kejut dan aliran lainnya sangat kuat.

Dalam membahas aliran kompresibel maka perubahan massa jenis menjadi signifikan, dimana perubahan temperatur dan tekanan akan menyebabkan berubahnya massa jenis. Sehingga dibutuhkan beberapa persamaan untuk menjelaskan kondisi-kondisi tersebut yaitu :

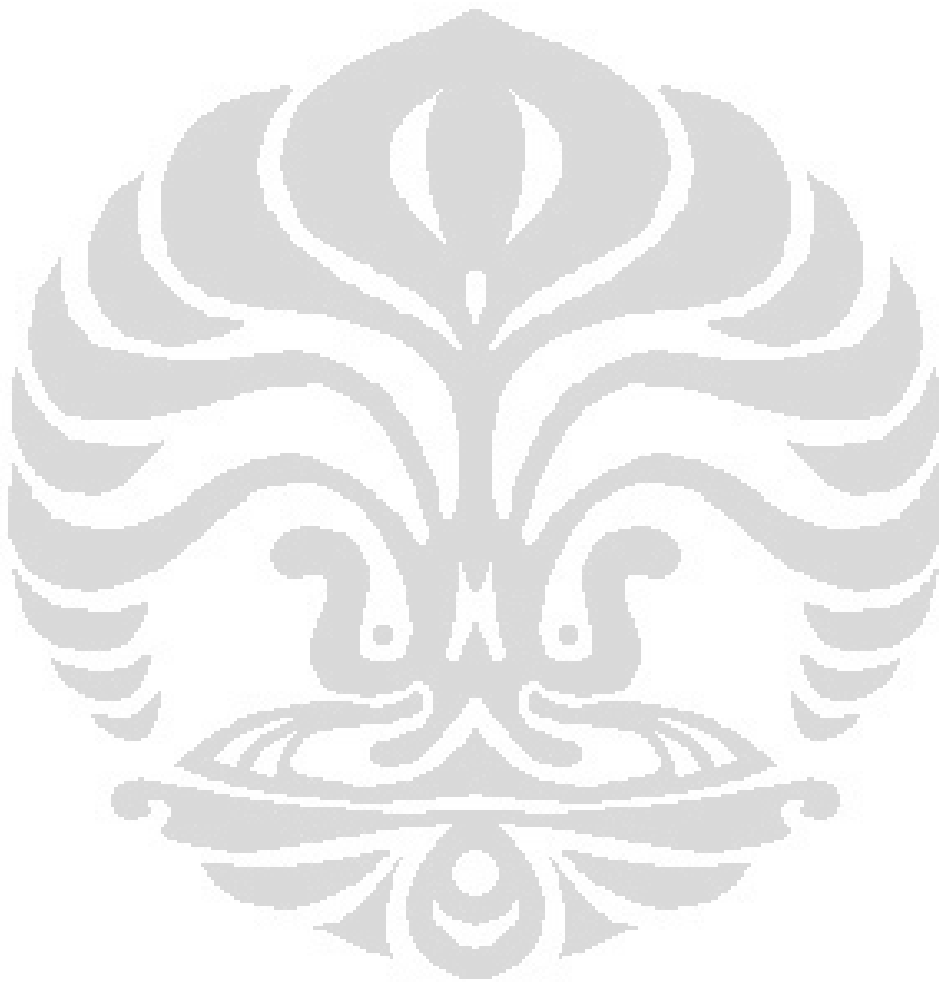
1. Persamaan Kontinuitas
2. Persamaan Momentum
3. Keseimbangan Energi
4. Persamaan Keadaan ( Equation of State )

Untuk lebih mempermudah pemahaman maka diasumsikan keseluruhan proses aliran yang terjadi dianggap adiabatik reversibel atau isentropik.

Terdapat 2 jenis aliran kompresibel yaitu aliran internal dan eksternal. Contohnya saja, aliran gas alam dalam pipa, aliran gas buang pada motor bakar,



juga aliran dalam turbin gas merupakan aliran internal. Sedangkan aliran pada sayap pesawat terbang, baling-baling, dll merupakan aliran eksternal. Untuk lebih memahami aliran tersebut dibutuhkan suatu permodelan aliran yang dikenal dengan nama aliran Fanno atau aliran Rayleigh. Aliran Fanno lebih banyak digunakan untuk memodelkan aliran internal sedangkan aliran Rayleigh untuk aliran eksternal.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Pengambilan Data

Dalam penelitian kali ini akan dilihat beberapa efek yang terjadi dari perubahan aliran gas buang di dalam knalpot standar. Efek yang ingin dilihat adalah efek terhadap kebisingan suara, temperatur, *backpressure*, torsi dan tenaga mesin. Masing-masing efek tersebut dapat dilihat dengan menggunakan peralatan dan sistem tertentu.

Berikut ini adalah spesifikasi teknis daripada Mesin 4 langkah yang digunakan:

#### Spesifikasi Mesin 4 langkah 100 cc

Berat kosong	: 99.4 kg
Kapasitas tangki bahan bakar	: 3.7 Liter
Tipe mesin	: 4 langkah, SOHC, Pendingin Udara
Diameter x langkah	: 50 x 49,5 mm
Volume langkah	: 97.1 cc
Perbandingan kompresi	: 9.0:1
Daya maksimum	: 7.3 PS/ 7.500 rpm
Torsi maksimum	: 0.74 kgf.m/4000 rpm

#### Spesifikasi Mesin 4 langkah 125 cc

Berat kosong	: 105 kg
Kapasitas tangki bahan bakar	: 3.7 Liter
Tipe mesin	: 4 langkah, SOHC, Pendingin Udara
Diameter x langkah	: 52.4 x 57.9 mm
Volume langkah	: 124.8 cc
Perbandingan kompresi	: 9.0:1
Daya maksimum	: 9.3 PS/ 7.500 rpm
Torsi maksimum	: 1.03 kgf.m/4000 rpm

### Prosedur Pengambilan Data

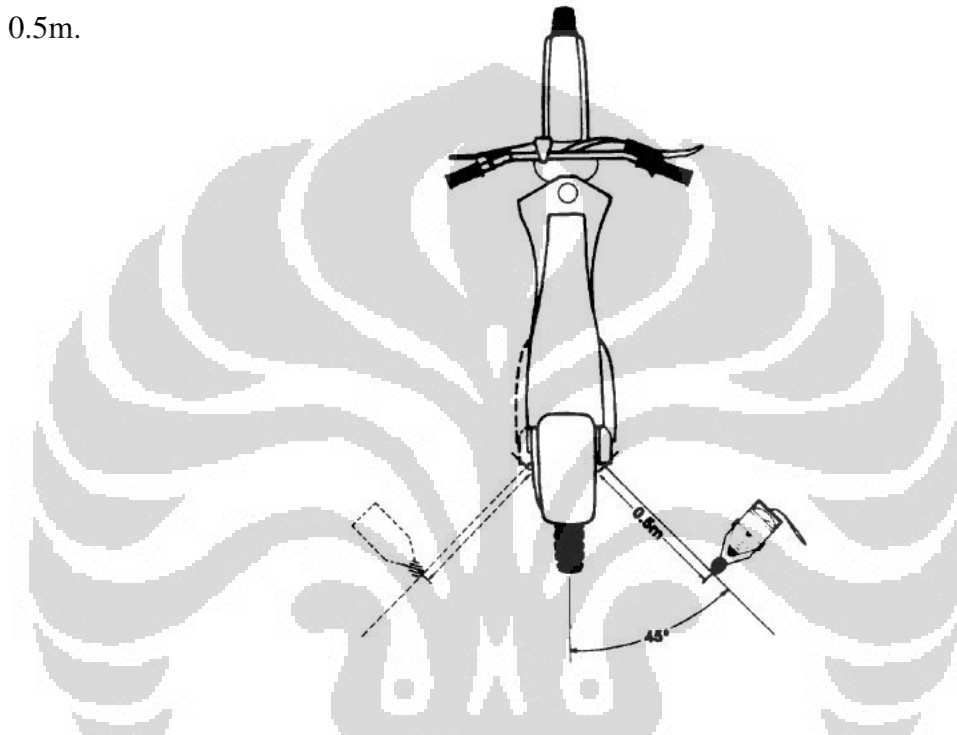
Langkah-langkah dalam melakukan pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan mesin dan 4 variasi knalpot yang akan digunakan.
2. Memasang knalpot standard pada mesin dan menempatkan seluruh alat ukur yang digunakan. ( Termokopel, Sound Level Meter, Pitot Tube, dan Manometer)
3. Menghidupkan mesin pada kondisi rpm *idle* ( $\pm 1050$ ) selama 5-10 menit.
4. Melakukan pengambilan data temperatur, desibel, dan delta h selama 3 menit.
5. Mengatur bukaan throttle pada karburator untuk menaikkan rpm sebanyak 500
6. Melakukan pengambilan data seperti pada langkah 4.
7. Pengambilan data dilakukan dari rpm *idle* hingga ( $\pm 5500$ )
8. Mengulangi langkah 1-7 untuk setiap variasi Mesin

Hasil eksperimen untuk dapat membuat grafik antara rpm vs tekanan, rpm vs temperatur, rpm vs aliran, dan rpm vs desibel untuk setiap jenis knalpot. Dari grafik-grafik dan hasil simulasi tersebut akan muncul suatu kesimpulan yang dapat menjelaskan apa sebenarnya yang terjadi di dalam knalpot tersebut dan dapat terlihat variasi knalpot seperti apa yang paling optimal dalam segi kebisingan dan performa mesin. Diharapkan juga dapat diketahui batas *backpressure* yang optimal agar motor tidak menghasilkan suara yang terlalu bising dan memiliki performa mesin yang baik.

### 3.1.1 Pengambilan Data Kebisingan Suara

Untuk melakukan pengambilan data kebisingan suara dibutuhkan suatu alat ukur yang dikenal dengan nama *sound level meter*. Selain itu, menurut referensi dari Society of Automotive Engineers, Inc telah diatur lokasi dan orientasi dari *sound level meter* untuk mengukur kebisingan suara suatu motor seperti pada gambar di bawah ini, dengan membentuk sudut  $45^{\circ}$  dengan jarak 0.5m.



Gambar 3.1 Posisi dan Orientasi Pengambilan Data Kebisingan Suara

Alat ukur yang digunakan adalah *sound level meter* dengan merek Lutron SL-4012 dengan spesifikasi seperti berikut ini,

SOUND LEVEL METER, Model : SL-4012

- \* 30 - 130 dB, Auto range, Manual range.
- \* Frequency & time weighting meet IEC 61672 class 2.
- \* A & C frequency weighting.
- \* Fast / Slow time weighting, Data hold.
- \* Peak hold, Memory (max., min.).
- \* Size : 268 x 68 x 29 mm.



### 3.1.2 Pengambilan Data Temperatur

Dalam penelitian ini ingin diketahui seberapa besar perubahan temperatur yang terjadi dengan perbedaan knalpot yang terpasang dan dilakukan pada 2 titik yaitu tepat setelah gas buang keluar dari mesin dan pada titik gas buang sebelum masuk ke dalam knalpot. Untuk Pengukuran temperature ini kita gunakan termokopel yang sesuai dengan kisaran temperature gas buang pada knalpot berikut data jenis-jenis termokopel :

Tabel 3.1 Jenis-Jenis Termokopel

Tipe	Material	Range Suhu (°C)	Koefisien Seebeck ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )	Keterangan
K	Chromel / Alumel	-200 °C hingga +1200 °C	41	Termokopel untuk tujuan umum, lebih murah
E	Chromel / Constantan	-200 °C hingga +1000 °C	68	Tipe E memiliki output yang besar ( $68 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) membuatnya cocok digunakan pada temperatur rendah
J	Iron / Constantan	-40 °C hingga +750 °C	53	Rentangnya terbatas (-40 hingga +750 °C) membuatnya kurang populer dibanding tipe K
N	Nicrosil / Nisil	-200 °C hingga +1300 °C	39	Stabil dan tahanan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum
B	Platinum-Rhodium	0 °C hingga +1800 °C	3	Tipe B memberi output yang sama pada suhu 0 °C hingga 42 °C sehingga tidak dapat dipakai di bawah suhu 50 °C.
R	Platinum /Platinum with 7% Rhodium	0 °C hingga +1600 °C	6	Sensitivitas rendah ( $6 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum.
S	Platinum /Platinum with 10% Rhodium	0 °C hingga +1600 °C	6	Karena stabilitasnya yang tinggi Tipe S digunakan untuk standar pengukuran titik leleh emas (1064.43 °C).
T	Copper / Constantan	-200 °C hingga +400 °C	43	Sering dipakai sebagai alat pengukur alternatif sejak penelitian kawat tembaga.

National Institute of Standard and Technology (NIST)

Karena temperature knalpot kurang lebih mencapai  $750^{\circ}\text{C}$  Untuk mengukur temperatur tersebut maka dipilih termokopel tipe K dan suatu indikator digital untuk memunculkan besarnya suhu gas buang pada 2 titik tersebut.



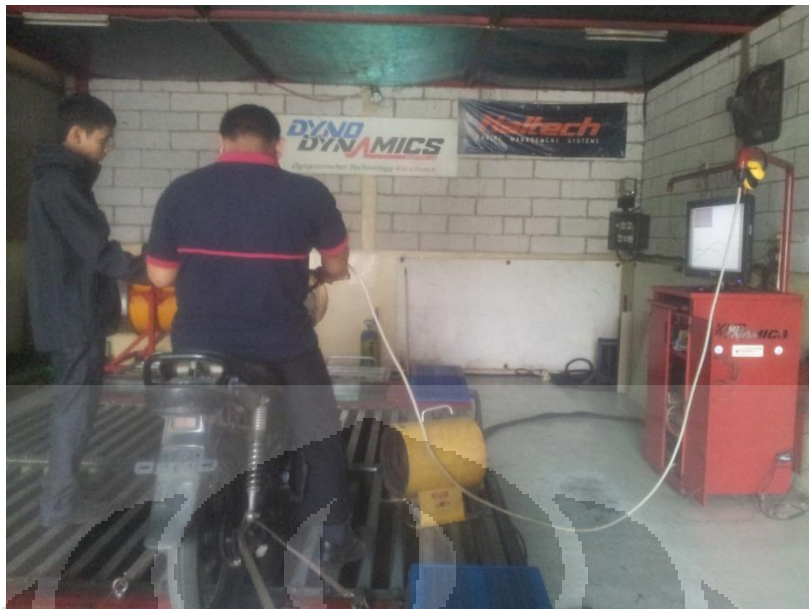
Gambar 3.2. Termokopel Tipe-K dan Digital Indikator

Termokopel tipe K merupakan campuran dari bahan Chromel pada sisi positif dan Alumel pada sisi negatif. Rentang pengukuran temperatur yang dapat dilakukan oleh termokopel jenis ini adalah dari  $-200$  hingga  $1250^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan Digital Indicator berasal dari Autonics dengan seri TC4S.

### 3.1.3 Pengambilan Data Torsi dan Tenaga Mesin

Dalam melakukan pengambilan data ini diperlukan sebuah peralatan yang cukup canggih dan dikenal dengan nama *chassis dynamometers*. Alat ini dimiliki oleh salah satu bengkel di Jl. Pramuka 69 yaitu Bengkel KS Nusa. Merek mesin yang digunakan adalah *Dyno Dynamics 450DS AWD Dynamometer* dengan kapasitas :

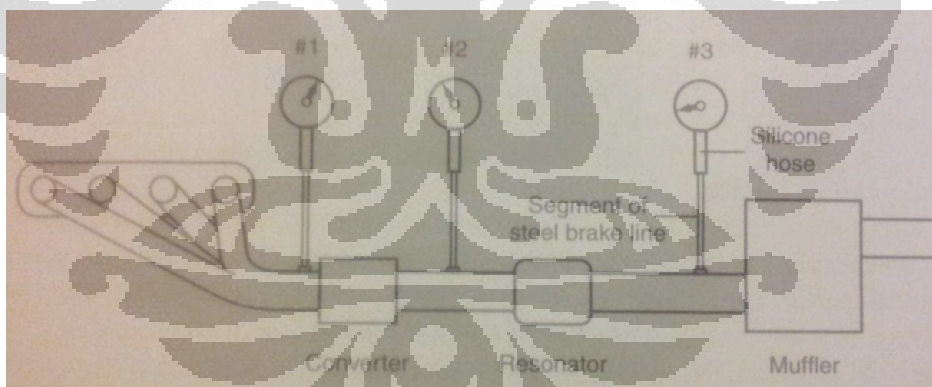
- Mengukur Tenaga pada Ban dari 1HP (0.76 kW) hingga 2,400 HP(1800 kW)
- Mengukur Torsi pada Ban hingga 12,500 Nm.
- Batas kecepatan maksimum sebesar 250 km/jam



Gambar 3.3 Pengujian Dynotest di Bengkel KS. Nusa

### 3.1.4 Pengambilan Data *Backpressure*

Menurut referensi yang didapatkan untuk mengukur *backpressure* dari suatu knalpot seperti pada skema dibawah ini,



Gambar 3.4 Skema Pengukuran *Backpressure* , Corky Bell, Bentley Publishers

Pada setiap bagian 1, 2, dan 3 dipasang alat pengukur tekanan untuk membaca tekanan gas buang yang mengalir pada posisi tersebut. Yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran pada no.3, yang hanya akan mengukur *backpressure* akibat adanya *muffler* pada sistem aliran gas buang. Dalam melakukan pengukuran ini, diperlukan beberapa peralatan untuk membuat suatu sistem manometer-U untuk membaca perubahan tekanan yang terjadi sepanjang

pipa knalpot sebelum masuk ke dalam *muffler*. Berikut adalah gambaran sistematis alat ukurnya ,

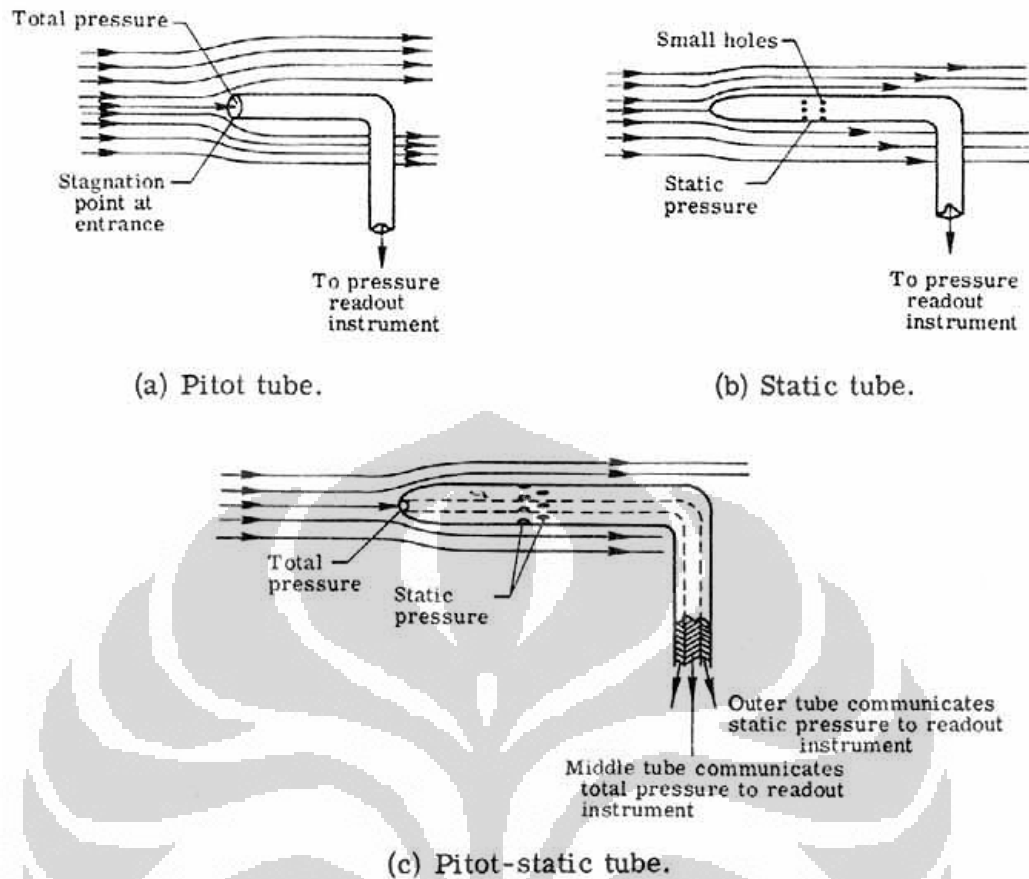


Gambar 3.5 Pengukuran *Backpressure* menggunakan Manometer-U

### 3.1.5 Pengambilan Data Debit Aliran Udara

Dalam pengambilan data ini dibutuhkan suatu *pitot tube* yang berfungsi untuk mengukur beda tekanan statik dan tekanan total yang nantinya berdasarkan persamaan empiris dapat didapatkan seberapa besar aliran gas buang yang masuk ke dalam *muffler*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:





Gambar 3.6 Penjelasan Pitot Tube

Dengan menghubungkan pitot tube dengan manometer U, maka perbedaan tekanan antara tekanan total dan tekanan statik bisa didapatkan dengan membaca perbedaan ketinggian pada manometer.

Dengan menggunakan persamaan Bernoulli dibawah ini,

$$\frac{p_1}{\gamma} + h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{p_2}{\gamma} + h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

Dimana :

$\gamma$  = Berat Jenis dari Fluida

$g$  = Konstanta Gravitasi

$p$  = Tekanan pada titik 1 dan 2

$h$  = Ketinggian pada titik 1 dan 2

$v$  = Kecepatan pada titik 1 dan 2

Apabila  $h_1=h_2$ , dan  $v=0$ , maka persamaan di atas dapat ditulis ulang menjadi,

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{p_2 - p_1}{\gamma}$$

Dengan,

$$p_2 - p_1 = \Delta p$$

$$\gamma = \rho_{\text{gas}} \cdot g$$

Maka besarnya kecepatan dapat diketahui dengan rumus,

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_{\text{air}}}} ; \Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h_{\text{manometer}}$$

Dengan menggunakan rumus debit yaitu :

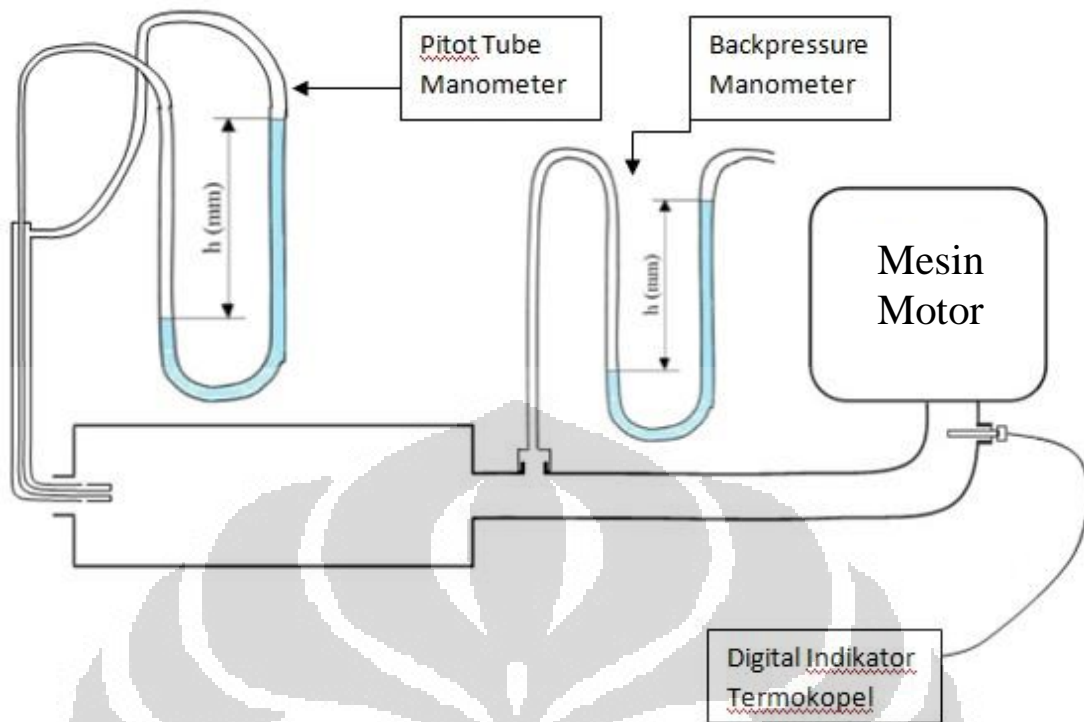
$$Q = v \cdot A ; A = \text{Luas Permukaan Bidang Kontak}$$

Maka, debit aliran gas yang mengalir dapat dihitung.

Berikut adalah gambar pengambilan data menggunakan pitot tube ,



Gambar 3.7 Pengambilan Data Debit

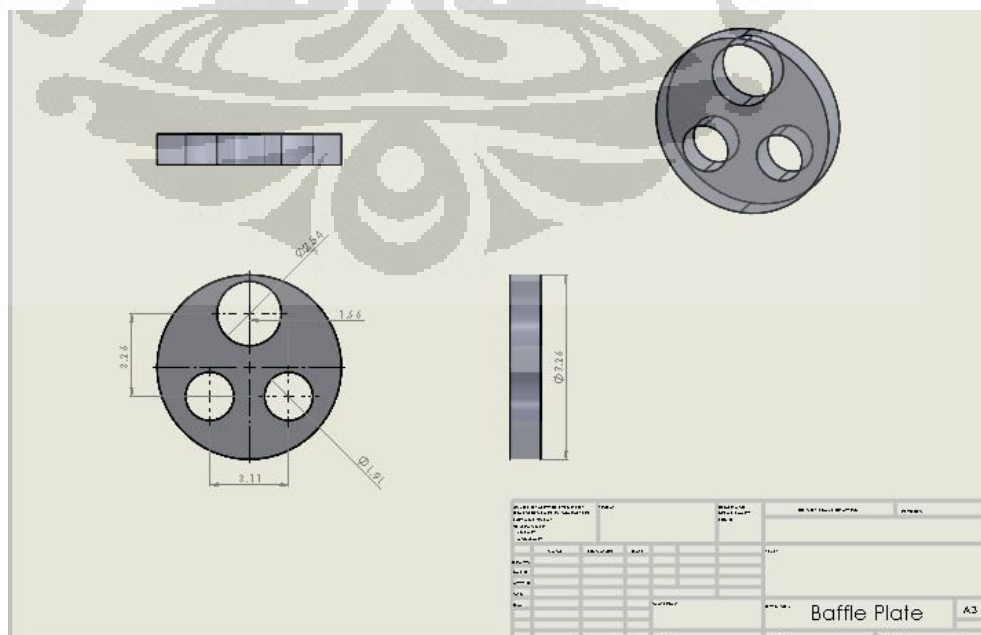


Gambar 3.8 Skema Penelitian

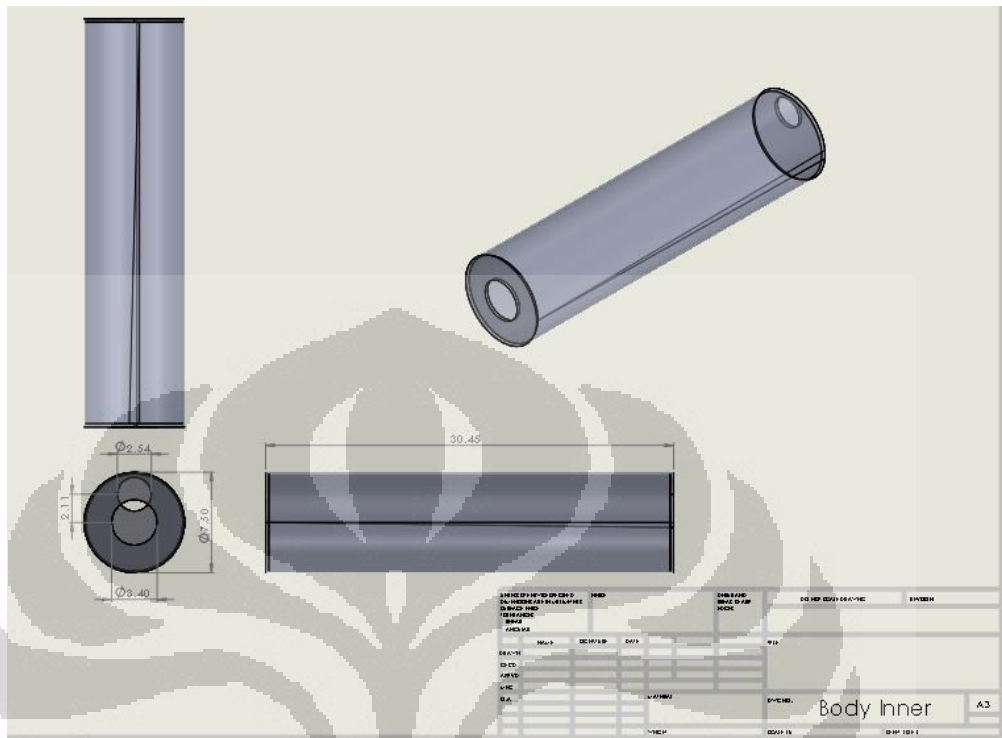
### 3.2. Spesifikasi Knalpot

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data dengan menggunakan model knalpot standar produksi PT dharma Polymetal tanpa di modifikasi. Berikut ini adalah bagian-bagian knalpot :

#### 1. Baffle Plate



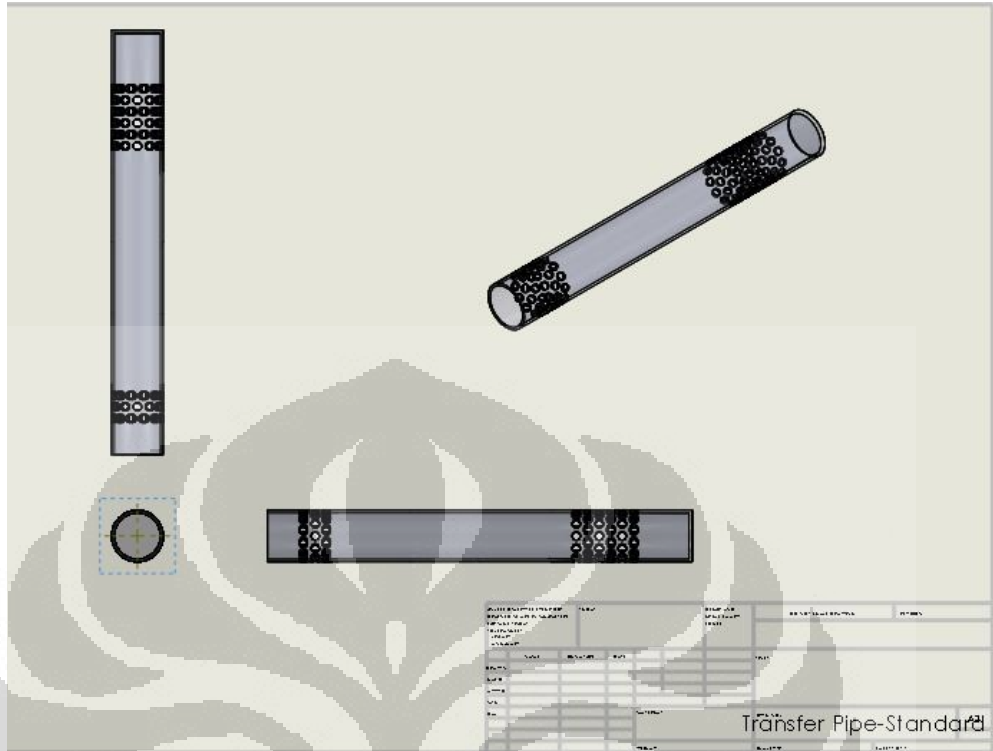
2. Body Inner



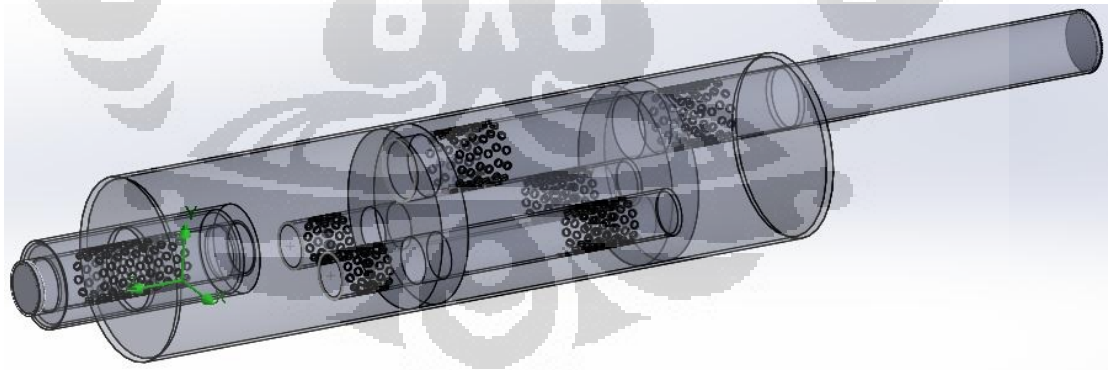
3. Input Pipe-Standard

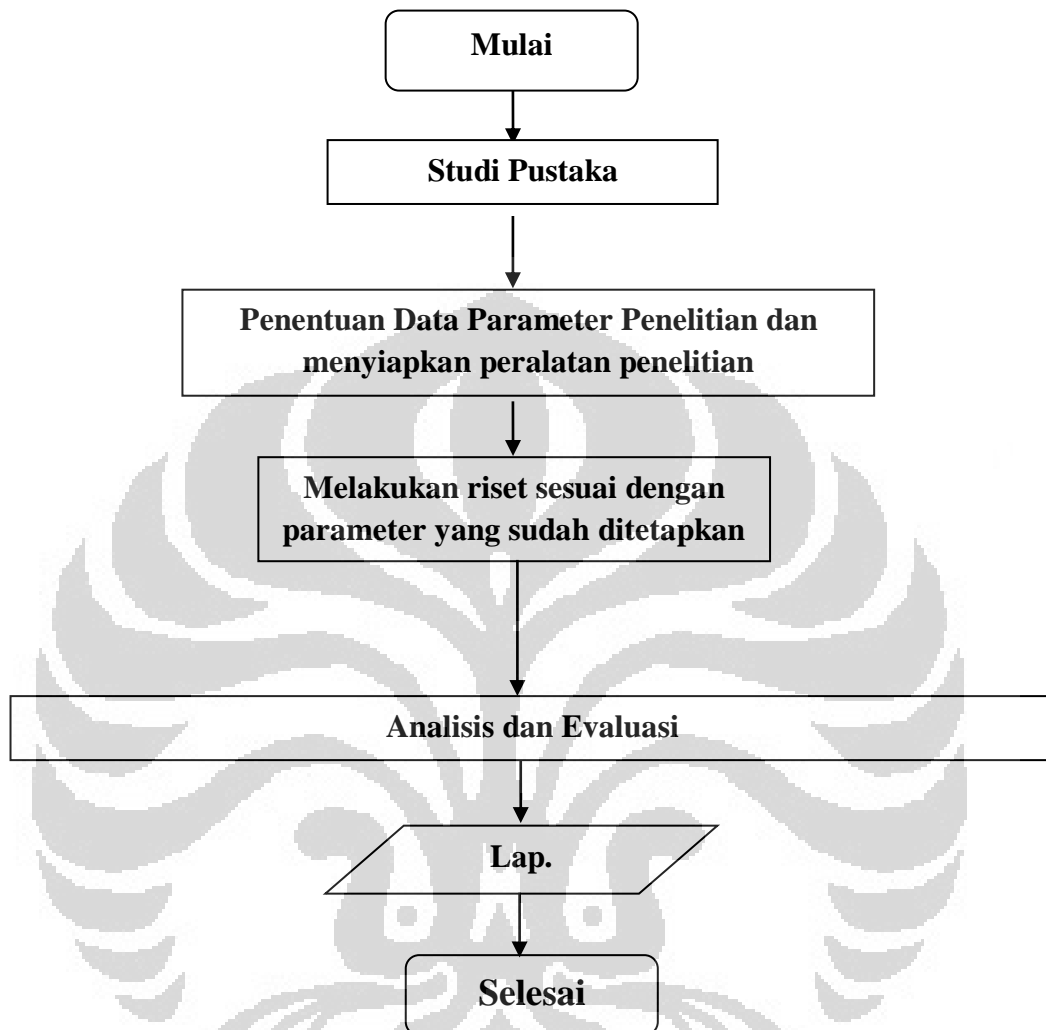


#### 4. Transfer Pipe-Standard



#### Assembly Knalpot Standard



**DIAGRAM ALIR PENELITIAN**

## BAB IV ANALISIS DAN PENGOLAHAN DATA

### 4.1 Data Tingkat Kebisingan

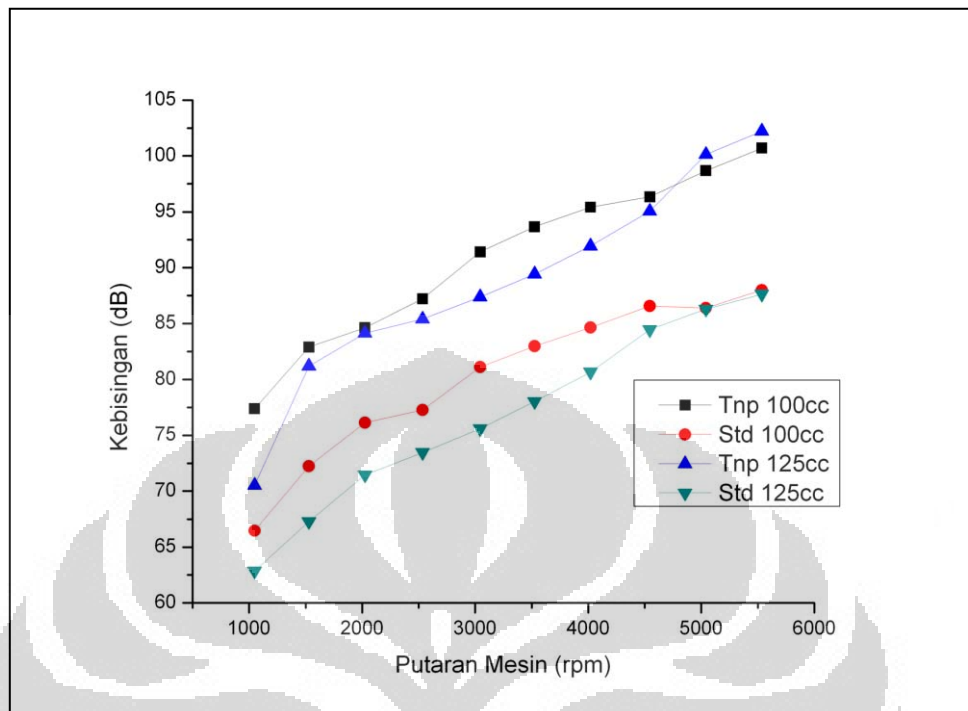
Pada pengambilan data ini menggunakan Alat ukur *sound meter*. Disini dilakukan pengambilan data sebanyak 10x untuk masing-masing kenaikan variasi putaran mesin tiap 500rpm. Dilakukan sama terhadap media uji yang beda yaitu untuk sepeda motor x 100cc dan 125cc. Hasil yang tertulis dalam tabel berikut adalah nilai rata-rata dari data mentah yang didapat:

Tabel 4.1 Data Tingkat Kebisingan

Putaran Mesin (rpm)	Kebisingan (dB)			
	Tnp Knalpot 100cc	Tnp Knalpot 125cc	Standar 100cc	Standar 125cc
1050	77.38	70.53	66.47	62.86
1545	82.90	81.20	72.23	67.28
2070	84.62	84.15	76.13	71.46
2550	87.21	85.41	77.28	73.47
3060	91.41	87.38	81.11	75.58
3540	93.66	89.43	82.99	78.04
4020	95.42	91.93	84.64	80.67
4515	96.35	95.06	86.57	84.45
5070	98.68	100.13	86.39	86.29
5550	100.71	102.22	87.99	87.65



Dari data diatas dapat dibuat grafik seperti sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik Tingkat Kebisingan

Dari grafik data tingkat kebisingan bisa dilihat untuk yang tanpa knalpot sejak putaran Mesin 1500 rpm tingkat kebisingannya sudah melewati ambang batas kebisingan yang nyaman didengar manusia (sekitar 80dB). Dengan grafik yang mengalami lonjakan kenaikan pada putaran mesin 1500- 2000rpm

Sedangkan data dari knalpot standar angka maksimalnya sekitar 85dB dicapai pada putaran mesin tinggi sekitar 5500 rpm, artinya knalpot ini masih memenuhi syarat untuk digunakan pada kendaraan. Pada motor 125cc kenaikan suaranya lebih rendah dibanding pada motor 100 cc artinya penggunaan model knalpot standar ini untuk tingkat kebisingannya lebih bagus digunakan di motor 125cc.

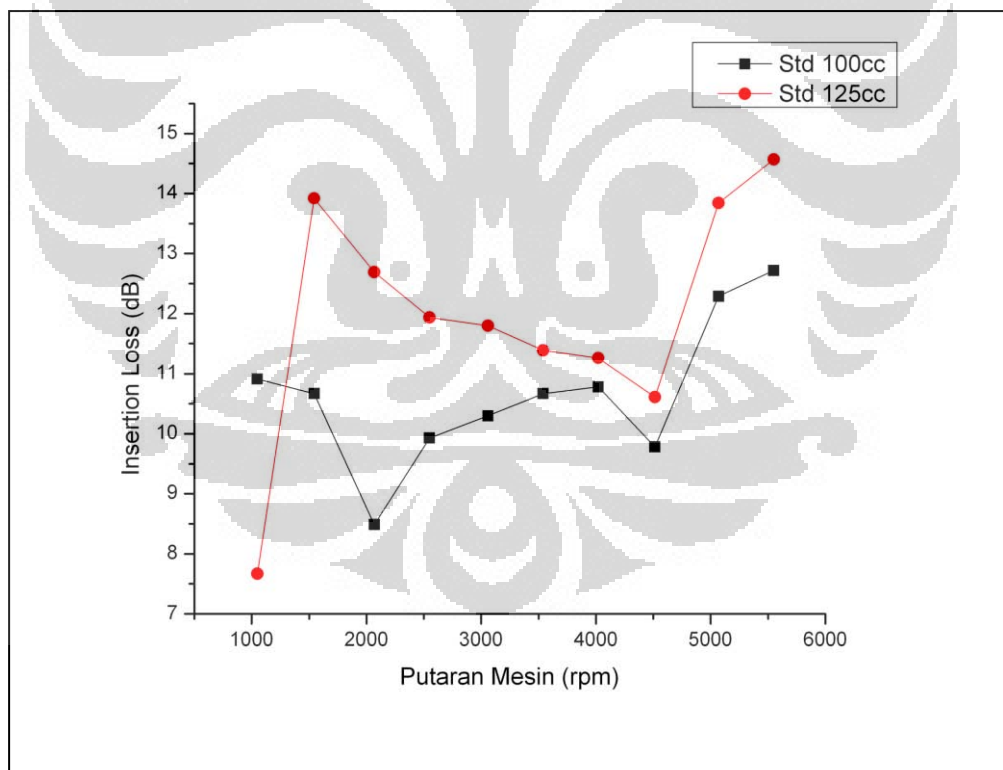
#### 4.2 Data Insertion Loss

Insertion loss adalah kemampuan suatu knalpot dalam meredam kebisingan. Data Insertion loss didapat dengan cara mengurangi tingkat kebisingan tanpa knalpot dengan tingkat kebisingan pada knalpot standar yang terukur. Berikut data yang sudah dihitung menggunakan excel.



Tabel 4.2 Data Insertion Loss

Putaran Mesin (rpm)	Insertion Loss (dB)	
	Standar 100cc	Standar 125cc
1050	10.91	7.67
1545	10.67	13.92
2070	8.49	12.69
2550	9.93	11.94
3060	10.30	11.80
3540	10.67	11.39
4020	10.78	11.26
4515	9.78	10.61
5070	12.29	13.84
5550	12.72	14.57



Gambar 4.2 Grafik Insertion Loss

Dari grafik diatas terlihat jelas bahwa penggunaan knalpot standar pada motor 125cc lebih banyak perbedaan insertion lossnya dibanding pada motor

100cc. Pada putaran mesin 2000 rpm motor 100cc grafik insertion loss justru mengalami penurunan dari angka 10.67 dB menjadi 8.49 dB berarti ada ketidakstabilan suara pada rpm tersebut. Penggunaan knalpot standar lebih stabil pada motor 125cc dibanding 100cc.

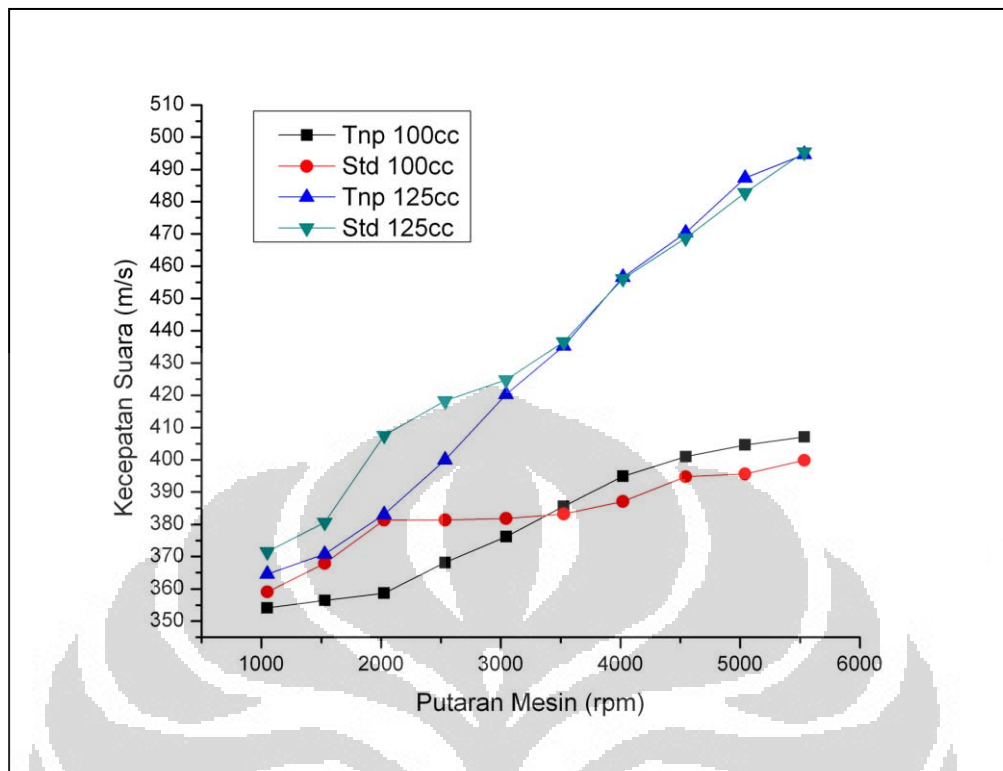
### 4.3 Data Kecepatan Suara

Kecepatan suara gas buang ini berasal dari suatu fungsi temperature.

Berikut data yang sudah dihitung menggunakan excel.

Tabel 4.3 Data Kecepatan Suara

utaran Mesin (rpm)	Kecepatan Suara (m/s)			
	Tnp Knalpot 100cc	Standar 100cc	Tnp Knalpot 125cc	Standar 125cc
1050	354.11616	364.6223526	359.072221	371.4974778
1545	356.43381	370.7940372	367.966827	380.5766624
2070	358.6805	383.0488193	381.36739	407.5862804
2550	368.18508	399.9764718	381.36739	418.3339121
3060	376.17126	420.2975946	381.84104	424.8127093
3540	385.66138	435.2735025	383.206075	436.5634776
4020	394.92351	456.6198704	387.064827	456.1798395
4515	400.97942	470.3555336	394.770921	468.7302209
5070	404.61910	487.3825233	395.584044	482.8286073
5550	407.09325	494.7033839	399.825812	495.3930359



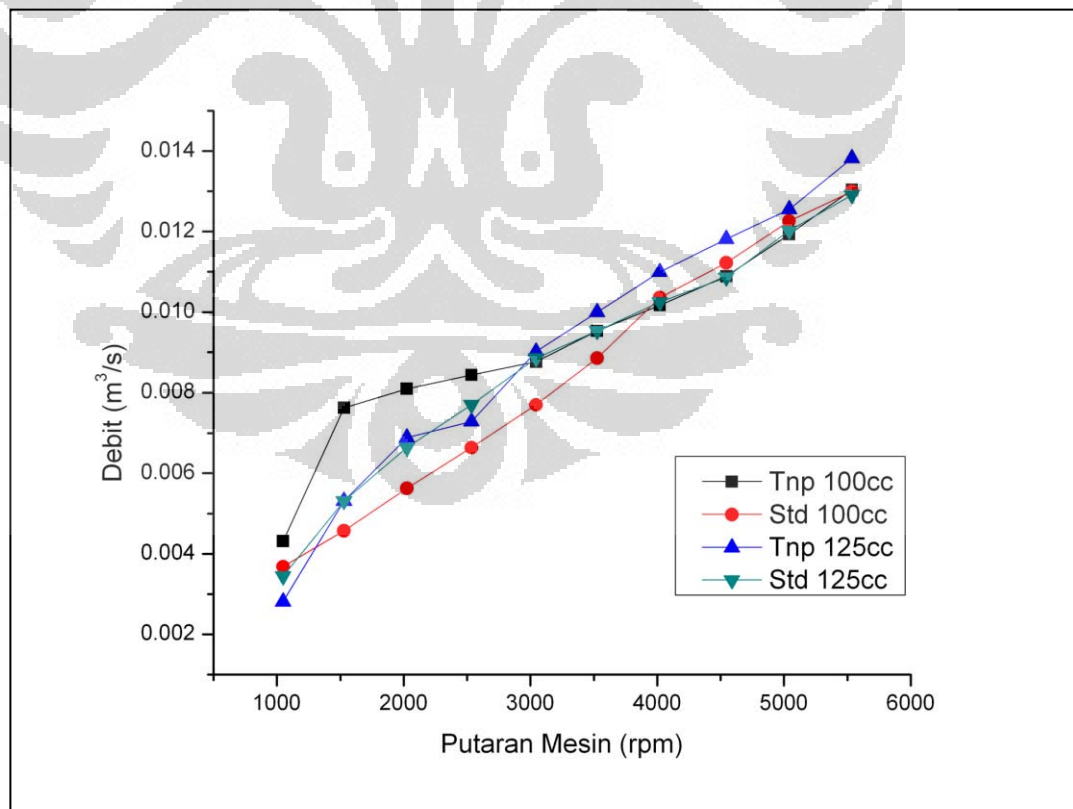
Gambar 4.3 Grafik Kecepatan Suara

Dari grafik diatas dapat dilihat kecepatan suara gas buang untuk setiap kenaikan putaran mesin. Ketika mesin tidak menggunakan knalpot, maka perubahan yang terjadi untuk setiap kenaikan rpm tidak besar, rentang perubahannya berkisar dari 354-407 m/s pada motor 100cc dan 359 - 399 m/s pada motor 125cc. Sedangkan untuk knalpot standard, nilainya berkisar dari 364-494 pada motor 100cc dan 371-495 m/s pada motor 125cc. Pemakaian knalpot standar mengalami lonjakan kenaikan kecepatan suara pada kecepatan mesin sekitar 2000rpm.

#### 4.4 Data Debit Aliran Gas Buang

Tabel 4.4 Data Debit aliran Gas Buang

Putaran Mesin (rpm)	Debit (m <sup>3</sup> /s)			
	Tnp Knalpot 100cc	Standar 100cc	Tnp Knalpot 125cc	Standar 125cc
1050	0.00432	0.00368	0.00281	0.00344
1545	0.00763	0.00457	0.00531	0.00531
2070	0.00810	0.00562	0.00689	0.00664
2550	0.00844	0.00664	0.00729	0.00770
3060	0.00877	0.00770	0.00902	0.00886
3540	0.00954	0.00886	0.01000	0.00954
4020	0.01017	0.01036	0.01100	0.01025
4515	0.01089	0.01122	0.01181	0.01087
5070	0.01193	0.01226	0.01255	0.01203
5550	0.01304	0.01300	0.01382	0.01291



Gambar 4.4 Grafik Debit Aliran Gas Buang

Pada grafik diatas, dapat terlihat besarnya debit aliran gas buang yang keluar dari knalpot. Dari sini diketahui bahwa nilai debit terbesar dimiliki ketika tidak menggunakan knalpot pada motor 125cc angkanya berkisar 0.01382 m<sup>3</sup>/s, tetapi pada mesin 100cc tanpa knalpot awalnya lebih tinggi dan mengalami lonjakan yang tidak stabil pada kecepatan putaran mesin 1500-2000rpm. Berdasarkan hal tersebut artinya dilihat dari segi backpressure yang terjadi penggunaan model knalpot standar lebih bagus digunakan pada motor 125cc.

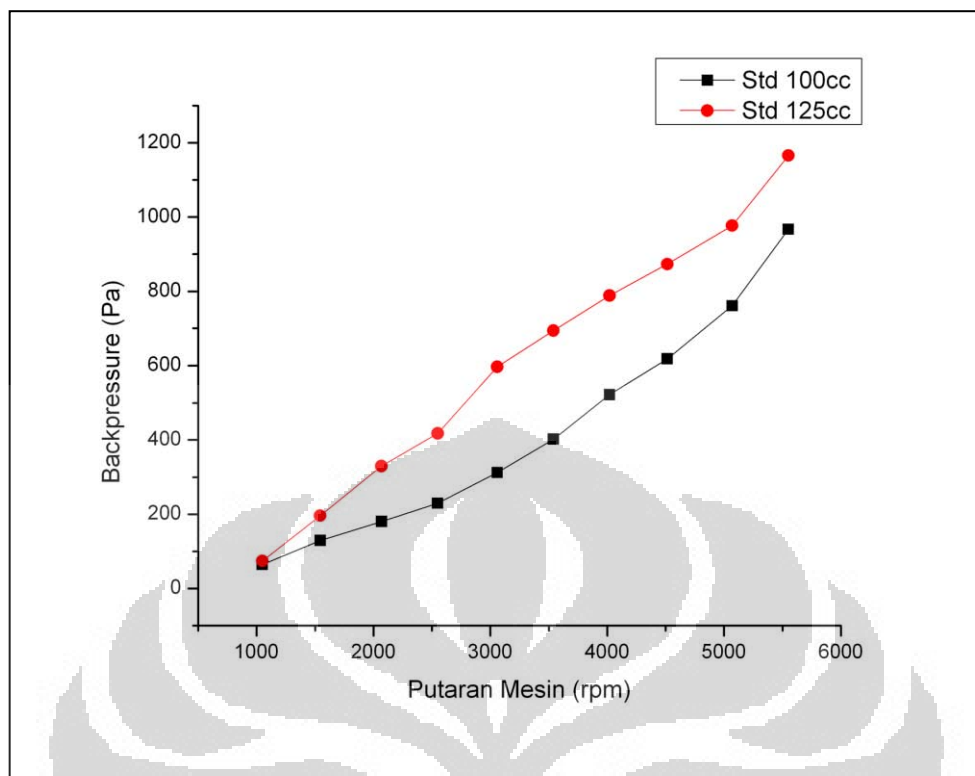
#### 4.5 Data Backpressure

Untuk pengambilan data backpressure tidak diambil pada kondisi tanpa knalpot. Hal ini dilakukan karena tanpa knalpot tidak terjadi hambatan terhadap gas buang artinya tidak ada efek backpressure disitu.

Berikut hasil pengambilan data backpressure pada knalpot standar :

Tabel 4.5 Data Pengukuran *Backpressure*

Putaran Mesin (rpm)	Backpressure (Pa)	
	Knalpot Standard 100cc	Knalpot Standard 125cc
1050	64.746	74.556
1545	129.492	196.200
2070	180.504	329.616
2550	229.554	417.906
3060	311.958	596.448
3540	402.21	694.548
4020	521.892	788.724
4515	618.03	873.09
5070	761.256	977.076
5550	967.266	1165.428



Gambar 4.5 Grafik *Backpressure*

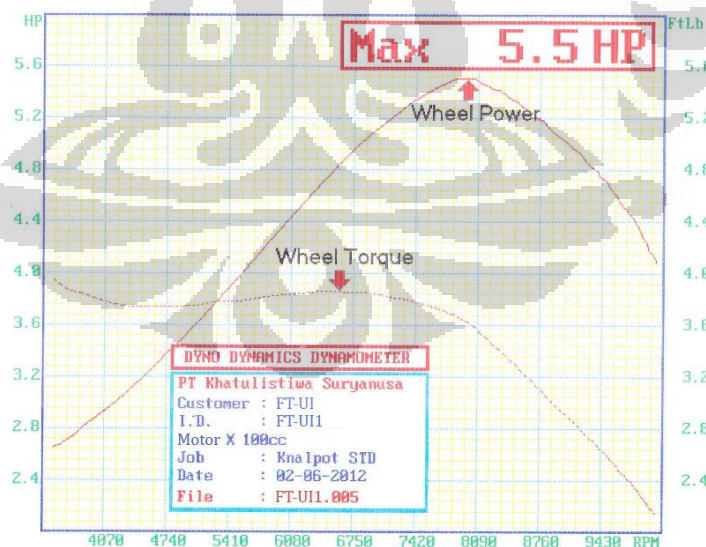
Berdasarkan grafik terlihat bahwa *Backpressure* naik sebanding dengan kenaikan pada putaran mesin. Pada motor 100cc pada putaran antara 1500-5500rpm cenderung menurun sehingga membentuk kurva cekung berbeda dengan pada motor 125 cc dimana grafiknya stabil dan cenderung membentuk garis miring lurus  $45^\circ$ . Berdasarkan hal tersebut artinya dilihat dari segi *backpressure* yang terjadi penggunaan model knalpot standar lebih bagus digunakan pada motor 125cc.

#### 4.6 Pengujian Dyno Dynamic

Proses *dynotest (dyno dynamic)* diperlukan untuk mendukung proses Tuning mesin. Naik-turunnya grafik Power, dan Torque Dengan pengaturan yang detail dan baik, performa mesin menjadi sangat optimal dan efisien, sekaligus aman.

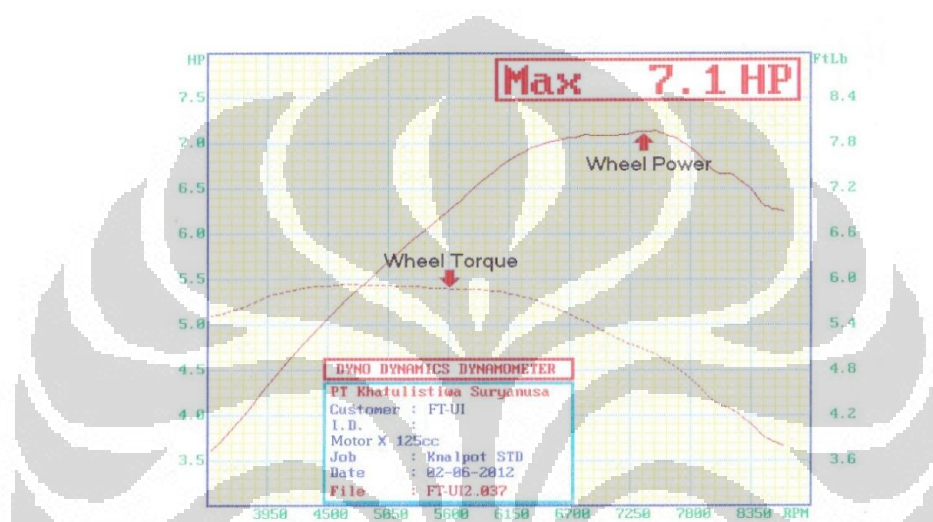
Untuk menjalani Dynotest, ada beberapa persiapan yang perlu diperhatikan:

1. Memastikan mesin dalam kondisi yang fit / sehat:
2. Cek kondisi ban: apakah laik pakai atau tidak, sangat memungkinkan untuk melakukan rotasi pemasangan ban apabila ban dalam kondisi tidak laik jalan atau rusak dengan ban yang baru.
3. Cek tekanan ban: pada saat akan melakukan dyno test, tekanan ban pada semua roda harus dinaikkan hingga 30% – 50% dari tekanan normal. Jangan lupa untuk mengembalikan tekanan ban pada tekanan normal pada saat selesai melakukan dynotest
4. Cek oli mesin apakah dalam kapasitas dan kondisi normal atau tidak
5. Cek selang-selang pada saluran bahan bakar. Apakah ada kebocoran atau tidak.
6. Cek busi apakah dalam kondisi normal atau tidak.
7. Memperhitungkan dengan baik mesin yang akan dilakukan penyetelan: misalnya mesin sudah dalam kondisi tua dan lain-lain, yang mungkin saja bisa menyebabkan komponen patah atau kecelakaan lain pada saat dilakukan *dynotest*.



Gambar 4.6 Grafik daya dan torsi motor 100 cc dengan knalpot standar

Hasil dynotest yang didapatkan seperti gambar diatas menunjukkan performa mesin 100cc mencapai daya maksimal 5.5 hp pada putaran mesin sekitar 8000rpm dan torsi maksimal sekitar 4.5ftlb pada putaran mesin sekitar 3000rpm. Daya yang terjadi cenderung naik mulai dari putaran 3500 sampai akhirnya turun pada rpm diatas 8000 dengan kurva parabolic simetris. Sedangkan untuk torsi grafiknya cenderung menurun dari awal dengan kurva agak datar hingga putaran mesin 700rpm dan kemudian mulai menurun.



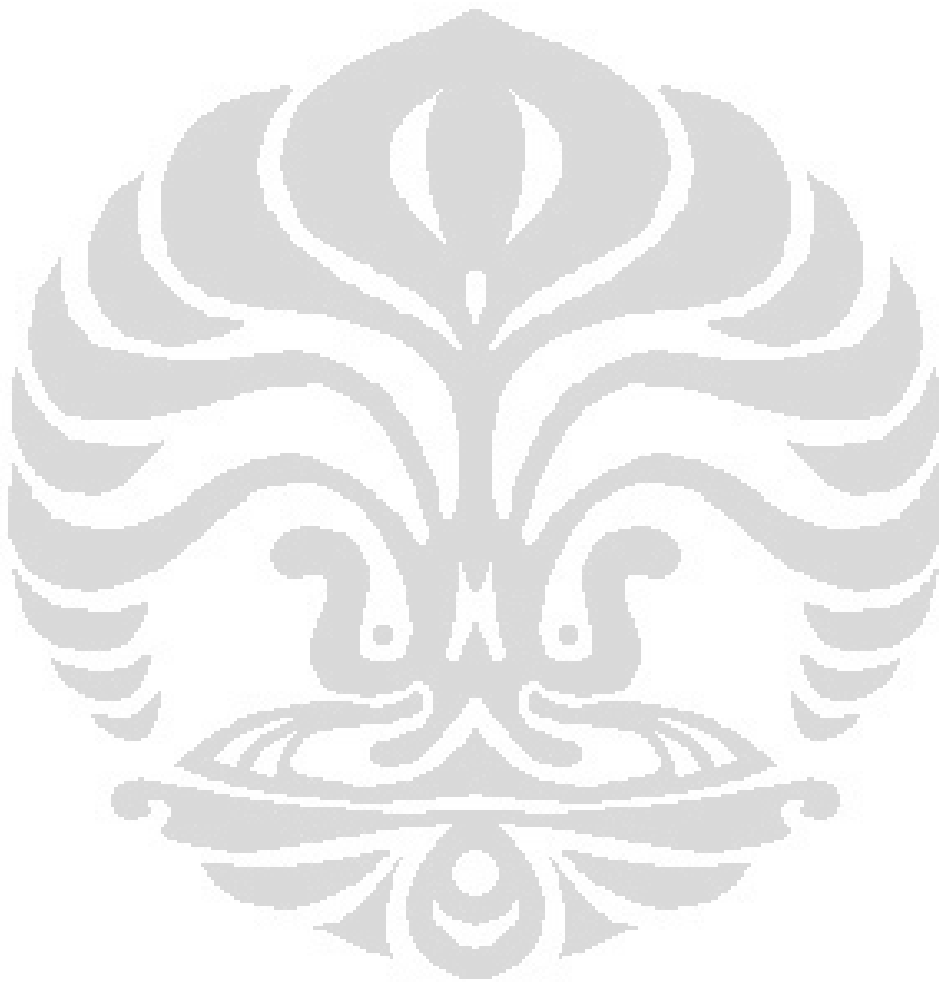
Gambar 4.7 Grafik torsi dan daya motor 125cc dengan knalpot standar

Pada hasil dynotest pada motor 125 cc terlihat daya maksimal yang dihasilkan adalah 7.1Hp pada putaran mesin sekitar 7500rpm dan torsi maksimal sekitar 5.8 ftlb pada putaran mesin 4600rpm.

Daya yang terjadi pada putaran mesin 6700-7500rpm terjadi fluktuatif yang menyebabkan bentuk kurvanya tidak rata. Hal ini bisa karena mesin motor 125cc sudah dibawah standar dari pabrikan. Selain itu saat pengujian motor 125 cc terjadi masalah gas tidak bisa naik lagi hingga pada putaran 7000rpm padahal seharusnya untuk mesin motor 125cc bisa mencapai putaran 10000rpm. Baru setelah dilakukan perbaikan dan pengantian CDI data daya dan torsi ini bisa diambil hingga putaran diatas 7000rpm tanpa mesin mati tetapi masih ada masalah mbrebet pada mesinnya.



Berdasar analisa penulis jika mesin motor 125cc normal maka hasilnya lebih baik pada tampilan data dayanya dibanding data hasil uji pada motor 100cc. kenapa keimpulan itu diambil karena klo kita melihat grafik torsinya kurvanya lebih baik dan bagus dimana angka torsi pada putaran dibawah 7000rpm.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Model knalpot standar lebih cocok digunakan dimesin motor 125cc dibandingkan digunakan dimesin motor 100cc
2. Kenaikan putaran mesin berpengaruh juga terhadap kenaikan temperatur, *backpressure*, Debit, *insertion loss* dan tingkat kebisingan
3. Kedua motor 100 cc dan 125 cc pada putaran mesin medium antara 1500-3000 rpm tidak stabil.

#### **5.2 Saran**

1. Jika ingin mendesain knalpot perlu dipertimbangkan keseimbangan antara performa mesin, dan tingkat kebisingan yang ditimbulkan.
2. Penelitian ini lebih bersifat umum untuk penelitian selanjutnya sebaiknya lebih dikhususkan pembahasannya misalnya hanya meneliti *backpressure*, tingkat kebisingan, Debit dan lain-lain agar hasilnya lebih baik dan akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mohiuddin, AKM, et al.2005. Experimental Study of Noise and Backpressure for Silencer Design Characteristics. Journal of Applied Sciences, 1292-1298, ISSN 1812-5654.
- [2] Rahman, M. et al.2005. Design and Construction of a Muffler for Engine Exhaust Noise Reduction. Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering, 28-30 December, Dhaka, Bangladesh.
- [3] Yasuda, Takashi, et al.2010. Predictions and experimental studies of tail pipe noise of an automotive muffler using a one dimensional CFD model. Journal of Applied Acoustic 71,pp 701-707, Elsevier.
- [4] Surojo, Soeadgihardo Siswantoro.2005. Pengaruh Volume Knalpot terhadap Tingkat Kebisingan pada Motor Bensin. Forum Teknik Vol.29 No.1, Jogjakarta.
- [5] OECD(1990), Environmental Policies for Cities in the 1990s, [www.oecd.org](http://www.oecd.org), cited in Jakarta, p.29
- [6] MacKenzie, Dower & Chen (1992), The Going Rate, World Resources Institute, [www.wri.org](http://www.wri.org), p. 21.
- [7] Homberger, Kell & Perkins (1992), Fundamentals of Traffic Engineering, 13<sup>th</sup> edition, Institute of Transportation Studies, UCB ([www.its.berkeley.edu](http://www.its.berkeley.edu)), p. 31-3
- [8] Suter, Alice H. Noise and its Effects, Administrative Conference of The United States, November 1991
- [9] Mao Tokan, Fransiskus. Pemetaan Potensi Perikanan Sebagai Dasar Pengelolaan Sumber Daya Perikanan Pulau Bawean.Malang.2006
- [10] Sugiarto, Bambang. Motor Pembakaran Dalam.2002.ISBN : 979-97726-7-2
- [11] Mohiuddin, et.al. Experimental Investigation and Simulation of Muffler Performance. Proceedings of The International Conference on Mechanical Engineering. Dhaka, Bangladesh.2007
- [12] Lilly, Jerry G. Engine Exhaust Noise Control. ASHRAE Technical Committee Sound & Vibration. JGL Acoustics, Inc.

<http://www.mx6.com/forums/general-automotive/149840-exhaust-theory-sshholes-straight-pipe.html>

<http://www.zgtr.org/index.php?topic=960.0>

## LAMPIRAN

### Data Mentah

### Tanpa Knalpot/ knalpot Lepas

Data Penelitian Knalpot																					
No	RPM	Exhaust Gas Temperature (K) Motor 100 cc																			
		1 (Mesin)										2 (Ujung)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1050	518	519	518	517	518	517	520	521	522	521	312	312	312	312	312	312	312	313	312	313
2	1530	648	647	646	645	646	647	648	649	650	651	315	316	317	316	317	318	316	317	316	315
3	2025	735	736	737	738	739	738	737	738	739	740	321	321	320	321	320	320	320	320	320	320
4	2535	792	792	791	791	790	790	791	792	791	790	337	337	337	337	337	338	338	338	338	338
5	3045	830	829	830	829	828	827	828	829	830	829	351	352	352	352	352	352	353	353	353	353
6	3525	865	865	866	866	865	866	867	866	866	867	370	370	370	370	370	370	370	371	371	371
7	4020	903	904	903	902	903	904	903	902	901	902	387	388	387	388	388	389	390	389	389	388
8	4545	930	930	930	931	931	930	930	931	930	929	400	401	401	400	400	400	400	401	400	400
9	5040	958	957	956	956	957	956	958	957	957	957	407	407	408	408	407	408	409	408	407	407
10	5535	979	980	981	982	983	984	985	984	983	982	412	412	412	412	413	413	413	413	413	413

Data Penelitian Knalpot																					
No	RPM	Exhaust Gas Temperature (K) Motor 125 cc																			
		1 (Mesin)										2 (Ujung)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1050	589	590	591	591	590	590	589	588	585	583	321	321	321	321	321	321	321	321	321	321
2	1545	724	724	723	724	727	728	731	728	727	728	336	336	337	337	337	337	337	337	337	339
3	2070	835	834	835	836	837	838	838	837	837	836	362	362	362	363	362	362	362	362	362	362
4	2550	858	859	859	858	859	860	861	860	859	858	361	362	363	362	362	363	362	361	363	362
5	3060	864	865	866	866	865	864	863	863	864	865	363	363	363	363	363	363	363	363	363	363
6	3540	906	905	906	904	905	906	907	906	906	906	365	365	365	365	366	366	366	366	366	366
7	4020	938	938	939	939	939	940	939	939	938	937	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373
8	4515	949	948	948	948	947	947	947	947	947	947	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388
9	5070	960	959	958	958	958	958	958	958	959	959	390	389	390	390	389	390	388	390	390	390
10	5550	993	993	994	994	995	995	995	994	995	994	398	398	398	398	398	398	398	398	398	398

Data Penelitian Knalpot																							
No	RPM	Delta H Pitot Manometer (mm) Motor 100 cc										Delta H Pitot Manometer (mm) Motor 125 cc										No	RPM
		1		2		3		4		5		1		2		3		4		5			
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
1	1050	8		7		6		7		5		2		4		3		3		2		1	1050
2	1530	21		20		19		22		21		10		6		10		15		9		2	1545
3	2025	24		22		23		24		23		16		12		20		19		17		3	2070
4	2535	26		23		25		26		26		18		16		21		20		19		4	2550
5	3045	27		25		28		27		29		34		36		23		24		27		5	3060
6	3525	33		33		30		33		32		44		52		26		26		29		6	3540
7	4020	38		37		36		35		37		56		62		34		29		33		7	4020
8	4545	44		42		40		41		43		66		74		35		35		37		8	4515
9	5040	51		50		49		52		50		72		76		49		40		42		9	5070
10	5535	62		60		58		60		61		86		88		56		55		53		10	5550

Data Penelitian Knalpot																							
No	RPM	Sound Pressure Level (Desibel)																				RPM	No
		100 cc										125 cc											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	1050	78.1	77.6	76.9	76	78	76.8	77.7	77.5	76.9	78.3	70.6	70.4	70.1	70.5	70.9	70.8	70.6	70.1	70.8	70.5	1050	1
2	1530	80.5	81.9	83.8	83.5	83.6	82.3	83.9	83.2	83.4	82.9	81.2	81	80.9	81.1	81.6	81.5	81.4	81	80.9	81.4	1545	2
3	2025	84.8	84.6	83.9	85.1	84.8	84.4	84.5	84.8	84.6	84.7	84.2	85.1	84	83.8	83.7	84.6	84.3	83.9	83.6	84.3	2070	3
4	2535	87.6	87.3	87.2	85.5	88.6	86.8	87.2	87.3	88.1	86.5	85.4	85.9	85	85.2	85.5	85.8	85.3	85.4	85.5	85.1	2550	4
5	3045	91.6	91.5	91.8	91.2	91.7	91.6	91.3	91.4	91.2	90.8	87.4	87.3	87.1	87.2	87.4	87.4	87.5	87.4	87.6	87.5	3060	5
6	3525	93.9	93.3	93.5	93.4	93.3	94	94.4	93.7	93.6	93.5	89.2	89.1	89.3	89.4	89.5	89.7	89.5	89.6	89.4	89.6	3540	6
7	4020	95.3	95.2	95.8	95.4	95.5	95.6	95.4	95.4	95.3	95.3	92	91.8	91.9	91.8	92	92.1	92.2	91.7	91.8	92	4020	7
8	4545	96.8	96.8	96	96.4	96.5	96.2	96.1	96	96.2	96.5	95	95.1	95	95	94.9	95.1	95.2	95.1	95	95.2	4515	8
9	5040	98.7	98.6	98.3	98.2	98.3	98.6	99	99	98.9	99.2	100	100	100	100	100	100	100.2	100	100	100.4	5070	9
10	5535	100.9	100.6	101.1	101.2	101.4	100.5	101	100.6	100.1	99.9	102	102	102	102	102	102	102.2	102.5	102.4	102.6	5550	10



### Knalpot Standard

Data Penelitian Knalpot																							
No	RPM	Sound Pressure Level ( Desibel )																		No	RPM		
		100 cc									125 cc												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8			9	10
1	1050	67.1	67.3	66.8	66.5	65.8	66.2	65.3	66.3	66.4	67	62.2	62.9	63.3	62.3	63.3	63.2	62.8	63.7	62.6	62.3	1	1050
2	1530	71.6	71.9	72	72.2	72	72.5	72.8	72.6	72.3	72.4	67.6	66.7	66.9	67.3	67.8	67.1	67	67.3	67.2	67.9	2	1545
3	2025	76.2	75.9	78.8	75.6	75.9	75.8	76	75.8	76	75.3	71.4	71.6	71.5	71.7	71.4	71.3	71.2	71.4	71.6	71.5	3	2070
4	2535	77.6	77.4	77.6	77.7	77.1	77.4	77.5	77.3	76	77.2	73.7	73.2	73.1	73.2	73.3	73.6	73.8	73.6	73.7	73.5	4	2550
5	3045	81.7	81.3	81.3	81.4	81.2	80.7	82	80.5	80.4	80.6	75.7	75.5	75.6	75.7	75.5	75.6	75.5	75.6	75.4	75.7	5	3060
6	3525	82.8	82.9	82.7	82.8	83.1	83.4	83.3	83.2	82.7	83	78.8	78.1	78	77.9	78	77.9	78	77.9	77.8	78	6	3540
7	4020	84.9	84.7	84.8	84.7	84.5	84.4	84.6	84.7	84.6	84.5	80.5	80.6	80.8	80.7	80.9	80.6	80.7	80.8	80.5	80.6	7	4020
8	4545	86.7	86.7	86.7	86.7	86.6	86.5	86.2	86.7	86.5	86.4	84.4	84.8	84.5	84.6	84.5	84.6	84.4	84.2	84.1	84.4	8	4515
9	5040	86.2	86.3	86.5	86.3	86.6	86.7	86.4	86.2	86.1	86.3	86.1	86.2	86.1	86.2	86.3	86.4	86.5	86.3	86.4	8	5070	
10	5535	87.5	88	88.1	88	88	88	88.2	88	88.2	87.9	87.3	87.2	87.4	87.8	87.8	88	87.9	87.8	87.6	87.7	10	5550

Data Penelitian Knalpot																							
No	RPM	Exhaust Gas Temperature ( K ) Motor 100 cc																		No	RPM		
		1 (Mesin)									2 (Blkg knalpot)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8			9	10
1	1050	581	581	582	582	582	583	584	585	585	331	331	331	331	331	331	331	331	331	331	331	331	331
2	1530	655	655	656	657	657	658	658	659	659	658	341	341	342	342	342	343	343	343	343	343	343	343
3	2025	710	711	712	711	710	709	709	708	709	710	366	366	365	365	364	365	366	365	366	365	366	365
4	2535	759	759	760	761	761	762	762	763	762	762	396	397	398	399	398	399	400	399	399	399	398	398
5	3045	820	821	820	821	822	821	821	822	823	822	437	437	439	439	440	440	440	441	441	442	443	443
6	3525	851	852	853	852	853	852	853	854	854	855	469	470	471	472	471	472	473	474	474	473	472	472
7	4020	882	883	883	884	885	884	884	883	882	884	517	518	517	518	519	520	521	520	520	520	521	521
8	4545	910	909	908	908	908	907	906	907	906	908	547	548	549	550	551	551	552	553	554	553	553	553
9	5040	941	941	942	941	942	943	944	945	946	945	590	590	591	592	591	592	592	593	592	591	591	591
10	5535	963	964	963	965	966	967	968	968	969	959	608	608	608	608	608	609	611	611	611	611	611	611

Data Penelitian Knalpot																							
No	RPM	Exhaust Gas Temperature ( K ) Motor 125 cc																		No	RPM		
		1 (Mesin)									2 (Ujung)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8			9	10
1	1050	651	651	650	650	651	651	646	648	649	650	343	343	343	343	344	344	344	344	344	344	344	344
2	1545	785	786	787	788	787	788	789	790	791	792	360	360	360	360	361	361	361	361	361	361	361	361
3	2070	866	866	867	867	867	868	868	868	868	868	412	412	413	413	413	414	414	415	415	415	415	415
4	2550	875	874	873	874	874	877	878	877	876	877	435	435	436	436	437	435	436	437	435	437	435	435
5	3060	887	888	888	887	888	888	887	888	888	888	448	448	449	449	449	450	450	450	450	450	450	450
6	3540	928	927	928	927	923	922	923	925	927	925	474	474	474	475	475	475	474	475	475	475	474	474
7	4020	960	961	960	961	960	961	960	961	962	962	516	516	517	517	518	518	519	519	521	521	520	520
8	4515	979	980	980	981	981	980	979	979	980	981	545	546	546	547	547	547	548	548	548	548	548	548
9	5070	998	998	997	997	998	997	997	997	997	998	578	579	579	580	581	581	581	582	582	581	581	581
10	5550	1005	1006	1007	1008	1009	1008	1007	1007	1006	1005	611	611	611	610	611	612	611	610	611	611	612	612

Data Penelitian Knalpot																							
No	RPM	Delta H Pitot Manometer ( mm ) Motor 100 cc										Delta H Pitot Manometer ( mm ) Motor 125 cc										No	RPM
		1					2					3					4						
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
1	1050	4	5	4	5	4	5	6	5	4	5	4	3	4	5	4	3	4	5	4	1	1050	
2	1530	6	8	8	8	8	7	11	10	10	11	10	8	10	10	11	10	11	11	11	2	1545	
3	2025	10	10	11	13	12	17	15	15	14	17	15	14	17	15	15	15	15	15	15	3	2070	
4	2535	16	16	15	17	14	24	20	20	18	24	20	18	24	19	19	19	19	19	19	4	2550	
5	3045	18	22	22	23	20	26	31	24	24	30	28	24	30	28	28	28	28	28	28	5	3060	
6	3525	25	27	30	29	28	29	34	27	34	27	35	36	36	36	36	36	36	36	36	6	3540	
7	4020	37	35	39	39	40	34	42	30	42	30	42	38	42	38	38	38	38	38	38	7	4020	
8	4545	42	40	42	52	47	42	45	34	45	34	45	43	45	43	43	43	43	43	43	8	4515	
9	5040	51	45	56	60	54	50	49	54	52	51	59	51	59	51	59	51	59	51	59	9	5070	
10	5535	57	53	64	65	60	58	55	63	60	59	60	59	60	59	59	59	59	59	59	10	5550	

Data Penelitian Knalpot																									
No	RPM	Delta h Back Pressure Manometer (mm)																		No	RPM				
		100 cc 2 (Sblum Knalpot)									125 cc 2 (Sblum Knalpot)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8			9	10		
1	1050	10	5	5	6	7																	1	1050	
2	1530	12	6	19	13	16																		2	1545
3	2025	18	14	21	19	20																		3	2070
4	2535	22	18	27	24	26																		4	2550
5	3045	32	27	40	29	31																		5	3060
6	3525	42	38	45	39	41																		6	3540
7	4020	50	50	68	48	50																		7	4020
8	4545	65	55	70	59	66																		8	4515
9	5040	75	67	102	70	74																		9	5070
10	5535	100	89	126	88	90																		10	5550

## Data Tabel Dyno Test Knalpot Standar

### 1. Motor 100cc

Customer : FT-UI  
 Details : Motor X 100cc  
 I.D. : FT-UI1  
 Vehicle Type : 2WD Rear  
 Inertia : 15.0 kg  
 02-06-2012 09:48:40

Graph File: FT-UI1-005 Description:  
 02-06-2012 09:51:38 Gear Ratio = 307.6:1 A:1.059

Speed KPH	Gear RPM	RPM RPM	Power HP	Tractive Lb	Temp °C	Air/Fuel Petrol	Lambda Petrol	VacBoost (Atmos)	
Ramp-Up : Rate = 20									
12		3692	2.7	137	[34.1]	10.0	0.69	-10.7	kPa
14		4308	3.1	132	[34.1]	10.0	0.69	-10.7	kPa
16		4923	3.5	132	[34.1]	10.0	0.69	-10.7	kPa
18		5538	4.0	134	[34.1]	10.0	0.69	-10.7	kPa
20		6154	4.5	136	[34.1]	10.0	0.69	-10.7	kPa
22		6769	5.0	137	[34.0]	10.0	0.69	-10.7	kPa
24		7385	5.3	134	[34.1]	10.0	0.69	-10.7	kPa
26		8000	5.5	128	[34.1]	10.0	0.69	-10.7	kPa
28		8615	5.3	114	[34.1]	10.0	0.69	-10.7	kPa
30		9231	4.9	99	[34.1]	10.0	0.69	-10.7	kPa
32		9846	4.3	82	[34.1]	10.0	0.69	-10.7	kPa

### 2. Motor 125cc

Knalpot STD  
 Graph File: FT-UI2-37 Description: Motorx125cc  
 02-06-2012 14:03:44 Gear Ratio = 210.5:1 A:1.061

Speed KPH	Gear RPM	RPM RPM	Power HP	Tractive Lb	Temp °C	Air/Fuel Petrol	Lambda Petrol	VacBoost (Atmos)	
Ramp-Up : Rate = 20									
18		3789	4.1	137	[34.5]	10.0	0.69	-10.7	kPa
20		4211	4.7	142	[34.5]	10.0	0.69	-10.7	kPa
22		4632	5.2	144	[34.5]	10.0	0.69	-10.7	kPa
24		5053	5.7	143	[34.5]	10.0	0.69	-10.7	kPa
26		5474	6.1	143	[34.5]	10.0	0.69	-10.7	kPa
28		5895	6.6	142	[34.5]	10.0	0.69	-10.7	kPa
30		6316	6.9	139	[34.5]	10.0	0.69	-10.7	kPa
32		6737	7.1	133	[34.6]	10.0	0.69	-10.7	kPa
34		7158	7.1	126	[34.5]	10.0	0.69	-10.7	kPa
36		7579	7.1	119	[34.5]	10.0	0.69	-10.7	kPa
38		8000	6.7	107	[34.7]	10.0	0.69	-10.7	kPa
40		8421	6.4	96	[34.5]	10.0	0.69	-10.7	kPa