



**PERANCANGAN KNALPOT BERBASIS *SPONGE*
STEEL UNTUK MENURUNKAN EMISI GAS BUANG
PADA SEPEDA MOTOR**

SKRIPSI

Diajukan Dalam Rangka Menyusun Studi Strata 1
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Pendidikan Jurusan Teknik Mesin

Oleh:
Berlian Seto
5201408041
Pendidikan Teknik Mesin

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2013

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : BERLIAN SETO

NIM : 5201408041

Program studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Judul : "Perancangan Knalpot Berbasis *Sponge Steel* Untuk Menurunkan Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor".

Telah dipertahankan di depan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian,

Ketua : Dr.M. Kumaedi, M.P.d. (.....)

NIP. 1962 0913 199102 1 001

Sekretaris : Wahyudi, S.Pd. M.Eng. (.....)

NIP. 1980 0319 200501 1 001

Dewan Penguji,

Pembimbing I : Hadromi, S.Pd. M.Si (.....)

NIP. 1969 0807 199403 1 004

Pembimbing II : Drs. Ramelan, M.T (.....)

NIP. 1950 0915 197603 1 002

Penguji Utama : Drs. Pramono (.....)

NIP. 1958 0910 198503 1 002

Penguji pendamping I : Hadromi, S.Pd. M.Si (.....)

NIP. 1969 0807 199403 1 004

Penguji pendamping II : Drs. Ramelan, M.T (.....)

NIP. 1950 0915 197603 1 002

Ditempatkan di Semarang

Tanggal:

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik

Drs. Muhammad Harlanu, M.Pd.

NIP. 1966 0215 199102 1 001

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya sendiri, bukan tiruan dari karya orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.



MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- ❖ Jangan berhenti berupaya ketika menemui kegagalan karena kegagalan adalah cara Tuhan mengajari kita tentang arti kemenangan kesungguhan dan Tuhan memiliki tujuan atas perjuanganmu saat ini. (Pepatah)
- ❖ Berdoalah kepada-Ku niscaya Aku akan mengabulkannya.(QS.Al Mu'min:60).
- ❖ Jangan takut disebut kamu orang yang aneh oleh oran-orang sekelilingmu, tapi berbanggalah karena sesungguhnya kamu melihat dunia dengan cara berbeda. Dan sesungguhnya kamu lah yang akan merubah dunia. (Penulis)

PERSEMBAHAN

1. Allah SWT, terima kasih untuk seluruh kasih sayang yang Engkau berikan, walaupun hamba sering berbuat dosa dan lupa arti bersyukur.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Sugito dan Ibu Sri Indarni terima kasih untuk kasih sayang, motivasi dan dukungan berupa materi maupun seluruh nasehat yang beliau berikan.
3. Saudara penulis, Nur Ratna B.R. semoga di setiap langkah kalian menghasilkan karya yang bermanfaat bagi semua orang dan sukses dalam kehidupan.
4. Erfaika Septiana yang selalu memberi semangat, dukungan, dan menemani dalam setiap langkahku.
5. Temanku Deftya Denny M. yang telah membantu dengan semangat dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2008, yang telah berjuang bersama-sama dalam menuntut ilmu dan juga memberikan informasi-informasi penting yang ada.
7. Almamater tercinta Universitas Negeri Semarang (UNNES).

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul "Knalpot Berbasis *Sponge steel* Untuk Menurunkan Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor". Skripsi ini disusun dalam rangka menyelesaikan studi Strata satu untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan berhasil tanpa bimbingan, motivasi, dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, maka dalam kesempatan ini penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Prof. Dr. H. Sudijono Sastroatmodjo, M. Si., Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan studi strata satu di Universitas Negeri Semarang.
2. Drs. Muhammad Harlanu, M.Pd., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, yang telah memberikan ijin penelitian dan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini serta memberikan kesempatan untuk menimba ilmu di Fakultas Teknik.
3. Drs. M. Khumaedi, M.Pd, Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kesempatan untuk menimba ilmu di Jurusan Teknik Mesin.

4. Wahyudi, S.Pd, M.Eng , Kaprodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan semangat, bimbingan serta pengarahan dalam menentukan dosen pembimbing.
5. Hadromi, S.Pd. M.T., Dosen Pembimbing I, yang dengan kesabaran dan ketekunan telah memberikan bimbingan, dukungan, dan bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Drs. Ramelan, M.T., Dosen Pembimbing II yang dengan kesabaran telah banyak memberikan bimbingan, bantuan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Rusiyanto, S.Pd, M.T, Kepala Lab. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin untuk pelaksanaan penelitian di Laboratorium Teknik Mesin.
8. Wahyu Ady P.K S.T, Petugas Lab. Teknik Mesin yang telah membantu dalam cara penggunaan alat dan membimbing dalam pengambilan data.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan bantuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Semoga amal baik yang diberikan kepada penulis mendapat imbalan dari Allah SWT. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya, dan bagi semua pihak pada umumnya.

Semarang, April 2013

Penulis

SARI

Seto, Berlian. 2013. *Knalpot Berbasis Sponge steel Untuk Menurunkan Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor*. Skripsi. Jurusan Pendidikan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I Hadromi, S.Pd. M.Si. Pembimbing II Drs. Ramelan, M.T. halaman 52, lampiran.

Kata kunci: Knalpot, *Sponge steel*, Emisi, Gas buang.

Kendaraan bermotor adalah suatu sarana yang digunakan manusia sebagai sarana transportasi, akan tetapi kendaraan bermotor menghasilkan gas buang yang sangat berbahaya bagi lingkungan dan kehidupan dalam kesehatan. Gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor mengandung senyawa yang berbahaya, yaitu senyawa *HC* dan *CO*, bila senyawa tersebut terhisap saat manusia bernafas maka akan menimbulkan banyak penyakit. Tumbuhan jika terus menerus menghisap senyawa *HC* dan *CO* pada saat fotosintesis juga akan berakibat tidak baik.

Mengatasi masalah diatas maka perlu dilakukan penelitian untuk membuat sebuah alat yang dapat mengendalikan emisi gas buang. Knalpot berbasis *sponge steel* dapat mereduksi emisi gas buang, pada senyawa *HC* dapat menurun hingga 59.65 % dan *CO* menurun hingga 72.54 %. Knalpot berbasis *sponge steel* menggunakan *sponge steel* sebagai sarana pembakaran lanjutan dari gas buang, pemanasan *sponge steel* dihasilkan dari panas gas buang itu sendiri. *Sponge steel* dapat membara karena panas dari gas buang itu sendiri, akan tetapi butuh desain aliran gas buang yang bagus supaya gas buang tersebut dapat memanaskan *sponge steel* dengan sempurna.

Panas dari *sponge steel* tersebut ditambah dengan tekanan dari gas buang sendiri akan meningkatkan panas dari *sponge steel*, sehingga *sponge steel* dapat membara dan hingga bersuhu 545 °C. Dengan panas *sponge steel* pada suhu tersebut maka gas yang belum terbakar diruang bakar akan dibakar lagi didalam knalpot oleh *sponge steel*, sehingga gas *CO* dan *HC* akan dibakar dengan *O₂*, maka akan didapatkan gas *CO₂* dan *H₂O*. *O₂* sendiri didapat dari sisa hasil pembakaran yang kurang sempurna, sehingga gas buang yang dikeluarkan ke lingkungan tidak akan beracun lagi.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
PRAKATA.....	v
SARI.....	vii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR BAGAN.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
Latar Belakang.....	1
Rumusan Masalah.....	3
Tujuan Penelitian.....	3
Manfaat Penelitian.....	4
Batasan Masalah.....	5
Penegasan Istilah.....	5
BAB II LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS.....	7
A. Landasan Teori.....	7

B. Kerangka Penelitian	22
C. Hipotesis.....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
A. Jenis Penelitian	26
B. Pengumpulan Data	26
C. Alur Penelitian.....	30
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	33
A. Hasil Penelitian	33
1. Desain Knalpot Berbasis <i>Sponge Steel</i>	33
2. Simulasi Knalpot Berbasis <i>Sponge Steel</i>	37
3. Hasil Uji Knalpot Berbasis <i>Sponge Steel</i>	43
B. Pembahasan	45
1. Kadar CO_2 dan CO	45
2. Kadar HC dan O_2	47
BAB V PENUTUP.....	48
A. Simpulan	48
B. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN - LAMPIRAN	



DAFTAR BAGAN

	Halaman
Bagan 1 Kerangka Penelitian	23
Bagan 2 Alur Penelitian	30



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Knalpot Standar <i>Suzuki Sky Drive 125</i>	7
Gambar 2 Star gas 898	9
Gambar 3 <i>Sponge Steel</i>	12
Gambar 4 Bagian Dalam Knalpot Berbasis <i>Sponge Steel</i>	28
Gambar 5 Desain Knalpot Berbasis <i>Sponge Steel</i>	33
Gambar 6 Bagian-Bagian Knalpot Berbasis <i>Sponge Steel</i>	33
Gambar 7 Sekat Pertama.....	34
Gambar 8 Sekat Kedua	35
Gambar 9 Sekat Ketiga	35
Gambar 10 Pipa <i>Sponge Steel</i>	38
Gambar 11 Pipa-Pipa <i>Mixer</i>	39
Gambar 12 Simulasi Temperatur	36
Gambar 13 Simulasi Pressure Gas Buang	40
Gambar 14 Simulasi Arah Aliran Pans dan <i>Pressure</i> Gas Buang.....	41
Gambar 15 Grafik Volume <i>CO</i> (% vol) Terhadap Putaran Mesin.....	45
Gambar 16 Grafik Volume <i>CO₂</i> (% vol) Terhadap Putaran Mesin	46
Gambar 17 Grafik Volume <i>HC</i> (ppm) Terhadap Putaran Mesin.....	47
Gambar 18 Grafik Volume <i>O₂</i> (% vol) Terhadap Putaran Mesin	47

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Dimensi Katalis Oksidasi	20
Tabel 2 Komposisi Katalis.....	21
Tabel 3 Uji Emisi Gas Buang	29
Tabel 4 Ukuran-Ukuran Dalam Simulasi <i>Solidworks</i>	38
Tabel 5 Batas Emisi	43
Tabel 6 Volume <i>CO</i> dan <i>HC</i> Knalpot Berbasis <i>Sponge Steel</i>	44
Tabel 7 Volume <i>CO</i> dan <i>HC</i> knalpot berbasis <i>sponge steel</i>	44
Tabel 8 Volume <i>O₂</i> dan <i>CO₂</i> knalpot standar <i>Suzuki Skydrive 125</i>	45
Tabel 9 Volume <i>O₂</i> dan <i>CO₂</i> knalpot berbasis <i>sponge steel</i>	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Surat Penelitian.....	51
Lampiran 2 Data Hasil Penelitian.....	52
Lampiran 3 Gambar Teknik Knalpot Berbasis <i>Sponge Steel</i>	53



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor saat ini meningkat pesat, sehingga pencemaran udara juga meningkat. Tidak adanya pepohonan yang berada di jalan raya dan penghijauan di kota-kota besar membuat udara tidak dapat bersirkulasi. Banyaknya kendaraan bermotor juga menjadi faktor terbesar meningkatnya pencemaran udara. Gas buang dari kendaraan bermotor mengandung senyawa beracun salah satunya karbon monoksida (*CO*) dan hidro karbon (*HC*) yang sangat berbahaya bagi lingkungan. *CO* (karbon monoksida) menurut Sastrawijaya (2000: 176) adalah gas tidak berwarna dan berbau, tetapi amat berbahaya. Kadar 10ppm *CO* dalam udara menyebabkan manusia sakit, dalam waktu setengah jam 1300 ppm dapat menyebabkan kematian. Data dari kementerian lingkungan hidup menyebutkan bahwa polusi udara dari kendaraan bermotor terutama bahan bakar bensin (*spark ignition engine*) menyumbang 70% karbon monoksida (*CO*) dan 60 persen hidro karbon (*HC*). PP Nomor 41 tahun 1999 yang menyatakan bahwa udara sebagai sumber daya alam yang mempengaruhi kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya harus dijaga dan dipelihara kelestarian fungsinya untuk pemeliharaan dan kesejahteraan manusia serta perlindungan bagi makhluk hidup lainnya.

Pencemaran udara yang tinggi membuat dunia prihatin karena pengaruh yang ditimbulkan telah merusak lingkungan, pemanasan global terjadi karena pencemaran udara, hal ini membuat semua lapisan masyarakat berupaya untuk membantu mengurangi presentase gas beracun yang ditimbulkan oleh kendaraan bermotor dengan cara pengurangan penggunaan bahan bakar fosil. Negara maju seperti Eropa mengeluarkan regulasi baru untuk mengembangkan teknologi otomotif yang ramah lingkungan dan juga mengembangkan bahan bakar yang memiliki kandungan sulfur yang rendah untuk kendaraan bermesin diesel. Indonesia sendiri berupaya memberlakukan regulasi baru dengan Standart EURO 2 yang berarti gas buang yang timbul dari pembakaran kendaraan bermotor harus memiliki nilai *CO* dan *HC* serendah mungkin.

Salah satu cara untuk mengurangi konsentrasi *CO* dan *HC* yang dihasilkan dari pembakaran kendaraan bermotor adalah dengan menambah katalitik konverter. Menambah katalitik konverter pada saluran knalpot berfungsi untuk menurunkan emisi gas buang yang beracun. Pada penelitian ini katalitik konverter akan diganti dengan *sponge steel*. Dipasaran *sponge steel* harganya sangat murah dari pada harga katalitik konverter, penelitian ini bertujuan menemukan knalpot yang dapat mereduksi emisi gas buang dengan biaya seminimal mungkin agar bisa dinikmati semua lapisan masyarakat nantinya. Selain itu *sponge steel* yang terbuat dari *stainless steel*, yang bersifat tahan panas dan tahan korosi. Dalam penelitian ini gas buang akan langsung mengarah ke *sponge steel* karena menurut Krisdianto,

dkk. (2011: 212) bahwa hubungan tekanan dan suhu pada volume tetap mengikuti persamaan garis lurus. Artinya semakin tinggi tekanan maka semakin panas pula gas buang yang menyebabkan sponge steel membara dan bara dari *sponge steel* tersebut di manfaatkan untuk proses pembakaran lanjut untuk gas *CO* dan *HC*. Setelah melalui pembakaran lanjut senyawa *CO* dan *HC* akan berubah menjadi H_2O dan CO_2 .

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas maka timbul permasalahan seperti berikut :

1. Bagaimana rancangan knalpot berbasis *sponge steel* untuk pengendalian emisi gas buang sepeda motor.
2. Bagaimana desain knalpot yang arah aliran gas buang dapat memanaskan *sponge steel* dengan optimal.
3. Bagaimana emisi gas buang setelah diaplikasikan knalpot berbasis *sponge steel*.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka dapat dirumuskan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Merancang knalpot berbasis *sponge steel* untuk pengendalian emisi gas buang sepeda motor.
2. Mendesain knalpot yang arah aliran gas buang dapat memanaskan *sponge steel* dengan optimal.

3. Mengetahui emisi gas buang setelah diaplikasikan knalpot berbasis *sponge steel*.

D. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian diatas maka didapatkan manfaat penelitian sebagai berikut :

1. Manfaat Teoritis

- a. Memberikan sumbangan positif bagi pengembangan teknologi dalam bidang pengendalian emisi gas buang.
- b. Hasil perancangan knalpot berbasis *sponge steel* diharapkan dapat bermanfaat bagi semua lapisan masyarakat agar dapat menambah kualitas udara dan lingkungan hidup.

2. Manfaat Praktis

Secara praktis manfaat yang dapat diperoleh dari perancangan knalpot berbasis *sponge steel* adalah:

a. Manfaat bagi mahasiswa

Memacu mahasiswa terutama Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang (UNNES) untuk menciptakan atau mengembangkan alat pengendalian emisi supaya dapat meningkatkan kualitas lingkungan hidup.

b. Manfaat bagi dunia otomotif

Memberikan masukan pada produsen otomotif supaya meningkatkan pengembangan knalpot agar gas buang yang dikeluarkan tidak berbahaya bagi lingkungan.

E. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dengan batasan masalah antara lain sebagai berikut:

1. Sepeda motor yang digunakan sebagai penelitian yaitu *Suzuki Skydrive* dengan volume silinder 125, bahan bakar bensin dengan kondisi standar.
2. *Sponge steel* diletakan pada *muffler* knalpot yang telah didesain.
3. Perancangan knalpot berbasis *sponge steel* untuk pengendalian emisi gas buang didesain dengan program *Auto CAD 2013*.
4. Perancangan knalpot berbasis *sponge steel* arah aliran gas diuji dengan program *Solidworks Premium 2013*.

F. Penegasan Istilah

Penegasan istilah bertujuan untuk menjelaskan masing-masing istilah judul agar tidak salah penafsiran sehingga penulis perlu mempertegas maksud dalam judul “PERANCANGAN KNALPOT BERBASIS *SPONGE STEEL* UNTUK PENGENDALIAN EMISI GAS BUANG SEPEDA MOTOR”.

1. Perancangan

Perancangan adalah langkah awal sebelum membuat knalpot *sponge steel*, supaya knalpot berbasis *sponge steel* dapat berfungsi untuk membakar gas buang yang mengandung *CO* dan *HC*.

2. Knalpot

Knalpot adalah saluran pembuangan gas sisa pembakaran kendaraan bermotor yang dilakukan diruang bakar kemudian dikeluarkan melalui knalpot tersebut ke lingkungan bebas.

3. *Sponge steel*

Sponge steel adalah alat suatu pada dapur rumah tangga terbuat dari serat *stainless steel* yang digunakan sebagai alat penggosok panci untuk menghilangkan karat. *Sponge steel* tahan akan korosi dan suhu tinggi.

4. Gas buang

Gas buang yang dimaksudkan disini adalah gas yang dibuang melalui saluran pembuangan yang mengandung senyawa beracun seperti *CO* dan *HC*. Kendaraan berbahan bakar bensin cenderung tidak terlihat bentuk fisiknya. Gas buang bersifat beracun bagi lingkungan dan manusia.

5. Sepeda motor

Sepeda motor adalah alat transportasi yang di gunakan untuk memudahkan manusia dalam berpergian. Pada penelitian ini menggunakan sepeda motor 4 langkah dengan volume silinder 125cc, menggunakan bahan bakar bensin.

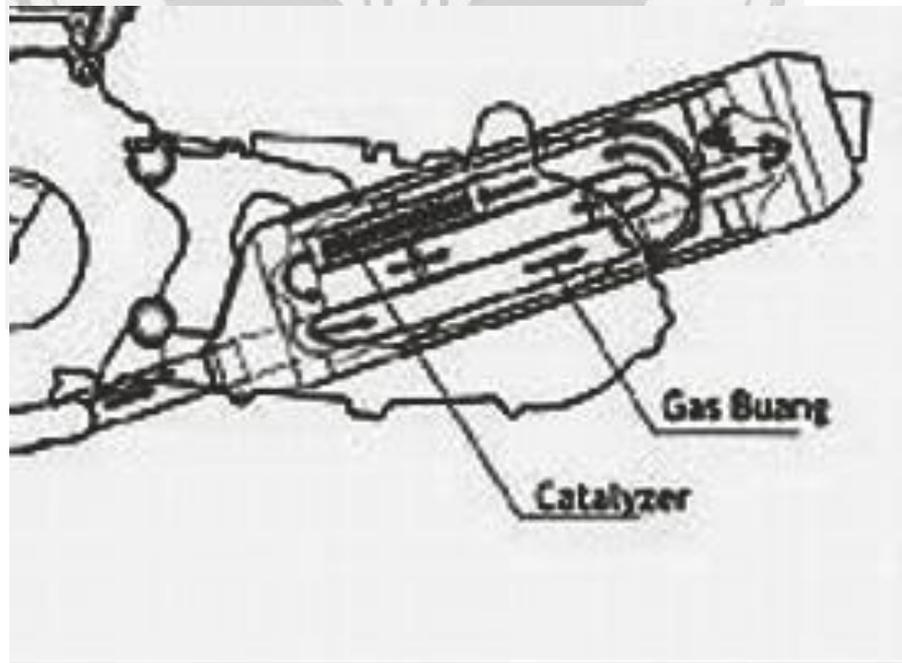
BAB II

LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS

G. Landasan Teori

1. Knalpot

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



Gambar 1. Knalpot standar *Suzuki Skydrive*.

Perkembangan teknologi terhadap knalpot menurut Lovinska (2012) bahwa knalpot 4 tak berfungsi untuk menurunkan suhu akibat kompresi. selain itu knalpot pada mesin 4tak berfungsi sebagai pengatur turbulensi yang akan menghasilkan tekanan balik untuk membantu kompresi bahan bakar walau hanya sedikit peranya. Knalpot mesin 4 tak dan 2 tak berbeda sistem kerja dan fungsinya, dalam mesin 2 tak knalpot sangat penting peranya. Turbulensi dalam knalpot 2 tak berperan penting untuk membantu kompresi bahan bakar di ruang bakar karena turbulensi ini akan menghasilkan tekanan balik ke ruang bakar, tetapi perhitungan turbulensi udara dalam knalpot ini tidak sembarangan harus ada perhitungan yang tepat. Seperti komponen pada mesin 4 tak seperti diameter klep, lama waktu klep membuka dan menutup.

2. Macam-macam knalpot

Menurut jenisnya macam knalpot dibgsi menjadi 2, yaitu knalpot *chamber* (knalpot menggunakan sekat) dan knalpot *free flow*. Adapun kelemahan dan kelebihan dari ke 2 jenis knalpot tersebut, yaitu:

- a. Dengan menggunakan knalpot *free flow* akan lebih bertenaga pada putaran atas, akan tetapi kurang baik pada putaran bawah.
- b. Dengan menggunakan knalpot *free flow* konsumsi bahan bakar lebih banyak.
- c. Pada knalpot *chamber* bertenaga pada putaran bawah, akan tetapi kurang pada putaran atas.
- d. Pada knalpot *chamber* konsumsi bahan bakar lebih sedikit.

3. Star GAS 898



Gambar 2. Star GAS 898.

Star GAS 898 adalah alat untuk menganalisis kandungan gas yang keluar dari knalpot kendaraan, *gas analyzer* termasuk *OIML Class* tipe O. Star gas dapat mengetahui besar dari CO, CO₂, HC, O₂, NO_x (optimal), Lamda, RPM, temperatur mesin, untuk mengetahui putaran mesin melalui pengisian baterai.

Star gas analyzer multi fungsi dalam penggunaan, tanpa membutuhkan disambungkan dalam perangkat komputer (PC) dalam penggunaannya. Alat ini dapat digunakan dengan mudah untuk mengukur gas dari mesin bensin atau diesel. Alat ini menggunakan layar LCD (320X240) yang dapat menampilkan pembacaan secara detail dan juga dapat di sambungkan dengan perangkat komputer (PC) . Dalam pengujian hasilnya dapat diketahui dari print out setelah pengujian, lembar kertas pengujian dapat dijadikan sebagai bukti pengujian emisi.

Specifications*Power* : 270V 50-60Hz*Battery* : 16V (5A fuse)*Remote IR keyboard* : 3 x AAA*Max consumption* : 70W*Display* : LCD 320x240*Keyboard* : Silicone rubber, coated*Printer* : Thermal bi-colour (black/red, 24 columns)*Serial ports* : COM1, COM2, RS232, RS485*Video plug* : VGA, (PAL or NTSC)*Port COM* : Ground connection*Parameters* : Ambient temp -40 - +60 celcius

Ambient pressure 750 - 1060 hPa

Ambient relative humidity 0% - 100%

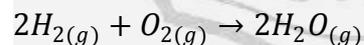
Refresh Rate : 20 times per second*Flow Rate* : <10 litres per minute*Working temperature* : +5 - +40 celcius*Features* : Clock, date, & time print*Size* : 400x180x450mm*Weight* : 8.6kgs

4. Reaksi pembakaran

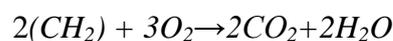
Reaksi pembakaran adalah reaksi kimia antara unsur bahan bakar dengan oksigen. Oksigen didapat dari udara luar yang merupakan campuran dari beberapa senyawa kimia antara lain oksigen (*O*), nitrogen (*N*), argon (*Ar*), karbondioksida (*CO*₂) dan beberapa gas lainnya. Dalam proses pembakaran maka tiap macam bahan bakar selalu membutuhkan sejumlah udara tertentu agar bahan bakar dapat dibakar secara sempurna. Bahan bakar bensin, untuk dapat terbakar sempurna membutuhkan udara kurang lebih 15 kali berat bahan bakarnya. Rumus kimia bahan bakar adalah *C_nH_m*. Dalam pembakaran dibutuhkan perbandingan udara dengan bahan bakar dimana besarnya udara yang dibutuhkan dalam silinder untuk membakar bahan bakar. Perbandingan udara bahan bakar atau AFR (*air fuel ratio*).

Berdasarkan bahan bakar :

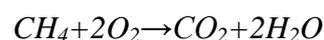
a. Hidrogen



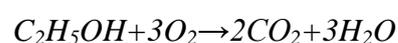
b. bahan bakar minyak



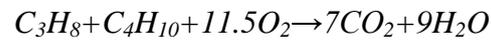
c. Metana



d. etanol



e. LPG



(Elsa, dkk. 2010).

5. *Sponge steel*



Gambar 3. *Sponge steel*.

Sponge steel adalah alat perkakas dapur yang digunakan untuk menggosok panci yang berkarat. *Sponge steel* terbuat dari *stainless steel* yang tahan akan korosi dan suhu yang tinggi, *sponge steel* ini akan diletakan pada *muffler* knalpot dimaksudkan supaya ketika *sponge steel* terkena gas buang yang sangat panas maka *sponge steel* akan membara. *Sponge steel* yang telah membara pada suhu $350^{\circ}C$ akan mampu untuk melakukan proses pembakaran lanjutan yang akan membakar gas CO dan HC yang sesudah pembakaran akan dihasilkan senyawa CO_2 dan H_2O yang tidak bahaya bagi lingkungan hidup.

6. *Stainless steel*

Stainless Steel (SS) adalah paduan besi dengan minimal 12% kromium. Komposisi ini membentuk *protective layer* (lapisan pelindung anti korosi) yang merupakan hasil oksidasi oksigen terhadap krom yang terjadi secara spontan. Tentunya harus dibedakan mekanisme *protective layer* ini dibandingkan baja yang dilindungi dengan *coating* (misal seng dan cadmium) ataupun cat.

Meskipun seluruh kategori SS didasarkan pada kandungan krom (Cr), namun unsur paduan lainnya ditambahkan untuk memperbaiki sifat-sifat SS sesuai aplikasinya. Kategori SS tidak halnya seperti baja lain yang didasarkan pada persentase karbon tetapi didasarkan pada struktur metalurginya. Menurut Muharam, dkk. (2012) empat golongan utama SS adalah *Austenitic*, *Ferritic*, *Martensitic* dan *Duplex*.

a. Keuntungan menggunakan *stainless steel*:

- 1) Tahan korosi yang tinggi, yang memungkinkan untuk digunakan dalam lingkungan yang ketat.
- 2) Api dan tahan panas memungkinkan untuk melawan scaling dan mempertahankan kekuatan pada temperatur tinggi.
- 3) Higienis, tidak berpori, permukaan ditambah dengan kemampuan membersihkan dengan mudah dari stainless membuatnya pilihan utama untuk aplikasi yang memerlukan kontrol kebersihan yang ketat, seperti rumah sakit, dapur, dan tanaman pangan lainnya pengolahan.

- 4) Estetika penampilan, memberikan penampilan yang modern dan menarik untuk aplikasi logam yang paling arsitektur.
- 5) Cerah, dan mudah dipelihara permukaan sehingga pilihan yang mudah untuk aplikasi yang menuntut permukaan menarik setiap saat.
- 6) Keuntungan dari kekuatan yang memungkinkan untuk digunakan dengan ketebalan material berkurang selama nilai konvensional, sering kali menghasilkan penghematan biaya.
- 7) Kemudahan fabrikasi karena penggunaan modern pembuatan baja teknik yang memungkinkan *stainless steel* yang akan dipotong, mesin, dibuat, dilas, dan terbentuk, sama mudahnya seperti baja tradisional.
- 8) Ketahanan terhadap dampak bahkan pada variasi suhu ekstrim.
- 9) Nilai jangka panjang yang dibuat oleh siklus hidup panjang manfaatnya sering menghasilkan pilihan bahan yang paling murah jika dibandingkan dengan logam lainnya.

b. Kerugian menggunakan *stainless steel*:

- 1) Tinggi biaya awal, terutama ketika logam alternatif yang dipertimbangkan.
- 2) Kesulitan dalam fabrikasi. Ketika mencoba untuk membuat *stainless steel* tanpa menggunakan mesin teknologi tinggi dan teknik yang tepat, dapat menjadi logam sulit untuk

ditangani. Hal ini sering dapat menghasilkan limbah mahal dan kembali bekerja.

- 3) Kesulitan dalam pengelasan karena disipasi yang cepat panas yang juga dapat menghasilkan potongan hancur atau biaya pemborosan tinggi.
- 4) Tinggi biaya pemolesan akhir dan finishing.

7. Katalitik konverter

Katalitik konverter ada berbagai macam bahan dan bentuknya, ada yang berbentuk seperti sarang lebah, keramik dan ada juga yang berbentuk *packed bed* yang berbentuk silinder dengan penampangnya berbentuk ellips.

Menurut Nasikin, dkk. (2004:75) katalitik konverter *packed bed* untuk kendaraan bermesin diesel yang telah dikembangkan dan simulasi yang telah dilakukan maka diperoleh bahwa panjang katalitik konverter yang diperlukan untuk menurunkan kadar jelaga sampai ambang batas yang diperbolehkan sangat dipengaruhi berat jelaga di gas masuk tetapi tidak terlalu dipengaruhi oleh diameter partikel katalis.

Katalitik konverter tersusun dari dua katalis, yaitu katalis reduksi (*reduction catalyst*) dan katalis oksidasi (*oxidization catalyst*). Kedua katalis ini dilapisi katalis logam, seperti *platinum*, *rodium*, dan *palladium*. Baik katalis reduksi maupun katalis oksidasi, struktur permukaannya didesain sedemikian rupa untuk memaksimalkan permukaan katalis sekaligus meminimalkan jumlah katalis yang dipakai. Perlu diketahui, harga katalis logam mahal. Ada dua jenis struktur

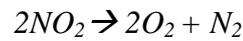
permukaan, yaitu struktur sarang lebah (*honeycomb*) dan keramik (*ceramic beads*). Struktur sarang lebah paling banyak di gunakan.

Katalis reduksi berfungsi mengurangi emisi oksidasi nitrogen dengan cara mengubahnya menjadi gas nitrogen dan oksigen. Logam platinum dan rodium berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat reaksi, ketika molekul NO atau NO_2 bersinggungan dengan katalis logam, permukaan katalis memecah oksida. Nitrogen menjadi atom nitrogen dan oksigen. Atom nitrogen di tahan di permukaan katalis. Sedangkan unsur oksigen di ubah menjadi molekul O_2 . Selanjutnya atom nitrogen yang bertahan dalam katalis berikatan dengan atom nitrogen lainnya sehingga membentuk *gas nitrogen* (N_2).

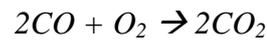
Katalis oksidasi berfungsi mengubah senyawa hidrokarbon yang tidak terbakar di ruang bakar dan karbon monoksida menjadi gas karbon di oksida dan uap air. Caranya dengan mengalirkan gas oksigen ke dalam katalitik konverter sehingga sisa senyawa hidrokarbon dan karbon monoksida akan bereaksi dengan gas oksigen. Reaksi karbon monoksida dan oksigen menghasilkan karbon dioksida, sedangkan senyawa hidrokrbon akan bereaksi dengan oksigen menghasilkan karbon dioksida dan uapa air. Pada proses ini, laju reaksi yang terjadi dipercepat oleh *katalis platinum* dan *palladium*.

Untuk menjelaskan reaksi-reaksi yang terjadi di dalam katalitik konverter, ahli kimia menggunakan persamaan reaksi sebagai berikut.

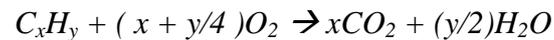
Katalis reduksi :



Katalis oksidasi:



(Ibrahim, 2012)



Seluruh proses tersebut dikendalikan oleh alat yang memonitor arus gas buangan. Informasi yang diperoleh dipakai lagi sebagai kendali sistem injeksi bahan bakar. Sebuah alat sensor oksigen diletakkan diantara mesin dan konverter. Sensor ini memberi informasi ke komputer mesin seberapa banyak oksigen yang ada di saluran gas buangan. komputer akan mengurangi atau menambah jumlah oksigen sesuai rasio udara bahan bakar. Sistem pengendalian membuat komputer mesin memastikan kondisi mesin mendekati stokiometri dan memastikan ketersediaan oksigen didalam saluran buangan untuk proses oksidasi hidrokarbon dan karbon monoksida yang belum terbakar.

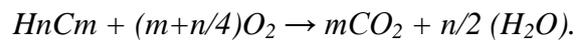
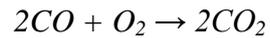
8. Macam-macam katalitik konverter

Menurut fungsinya katalitik konverter dibagi menjadi 4 macam, yaitu:

a. *Oxidizing catalytic system.*

Katalis ini mempercepat oksidasi *CO* dan *HC* yang dioperasikan pada kondisi oksigen berlebih, dengan umpan oksigen dari injeksi udara sekunder (*secondary air injection*). Katalis yang

biasa digunakan ialah platina atau palladium. Tipe katalis ini dipasang pada karburator. Berikut ini reaksinya. Oksigen berlebih mengoksidasi *CO* dan *HC* dengan reaksi:



Pada proses diatas, gas *NOx* tidak dapat direduksi sehingga diperlukan katalis lain. Kekurangan katalis ini adalah dapat dikotori oleh *lead*/timbal, belerang, dan fosfor.

b. *Reducing catalytic conversion system.*

Gas *NOx* yang tak dapat diolah oleh katalis oksidasi di atas, dapat diganti dengan *rhodium* dan *ruthenium* untuk mempercepat proses reduksi *NOx* menjadi gas *N₂*. Sedangkan konversi menjadi amonia, *NH₃* tidak diinginkan karena dapat diubah kembali oleh katalis pengoksidasi menjadi gas *NOx*. Proses reduksi dapat terjadi jika ada reduktor yang berlebih seperti *CO* dan *HC*.



c. *Dual-bed catalytic converter.*

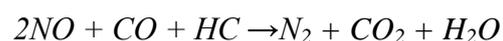
Inilah tipe kombinasi antara *catalytic converter* tipe oksidasi dengan tipe reduksi yang beroperasi pada kondisi rentang *rich*. *Secondary air*, udara sekunder diinjeksikan diantara dua tipe katalis tersebut. Dengan cara ini dimungkinkan terjadi reaksi secara serempak

untuk mereduksi NO_x , CO dan HC . Kekurangan tipe katalis reduksi ini, mesin harus dioperasikan pada rentang *rich* sehingga konsumsi BBM menjadi tinggi.

Raksi kimia reduksi dan oksidasi saling melengkapi satu sama lain dan saling bergantung. Reduksi serentak polutan CO , HC dan NO_x akan terjadi jika komposisi gas buang dalam rentang stoikiometri. Agar proses berlangsung dengan baik, perlu campuran BBM-udara yang konstan pada semua kondisi pembebanan mesin walaupun hal ini tidak dapat dikontrol dengan peralatan pencampur BBM mekanis. Dengan demikian diperlukan sistem loop tertutup (*closed-loop*). Hal ini dilakukan oleh Lambda, sensor untuk memonitor campuran udara dan BBM.

d. *Three-way catalytic converter system.*

Tipe keempat ini ialah konverter pengolah gas buang yang menghasilkan *fluen* dengan kualitas yang sangat baik dilihat dari segi kualitas gas olahan yang relatif bersih. Ini disebabkan oleh sistem pencampur udara - BBM yang berbasis komputer dan konversi yang serentak terhadap polutan CO , HC dan NO_x . Katalisnya adalah platina dan rhodium. Reaksi di dalam katalis *three-way* adalah:



Reaksi di atas perlu dikendalikan agar rasio oksidator (NO) terhadap reduktor (CO dan HC) dapat menghasilkan penyisihan semua polutan sekitar 95%. Ini dapat dilakukan oleh sensor ZrO_2 (*zirconium*

dioksida). Sensor ZrO_2 terdiri atas silinder yang salah satu ujungnya berupa ZrO_2 yang dilapisi platina dan dimasukkan ke dalam manifold gas buang. Sensor ini berupa sel elektrolit dengan ZrO_2 berfungsi sebagai elektrolit padat. Tegangan outputnya berfungsi untuk mengisi kadar oksigen di dalam gas buang. Hal ini akan mengendalikan komputer pengendali agar rasio A/F tetap berkisar $\pm 0,05$ sehingga tetap pada grafik teratas.

9. Spesifikasi mesin *Suzuki Skydrive 125*

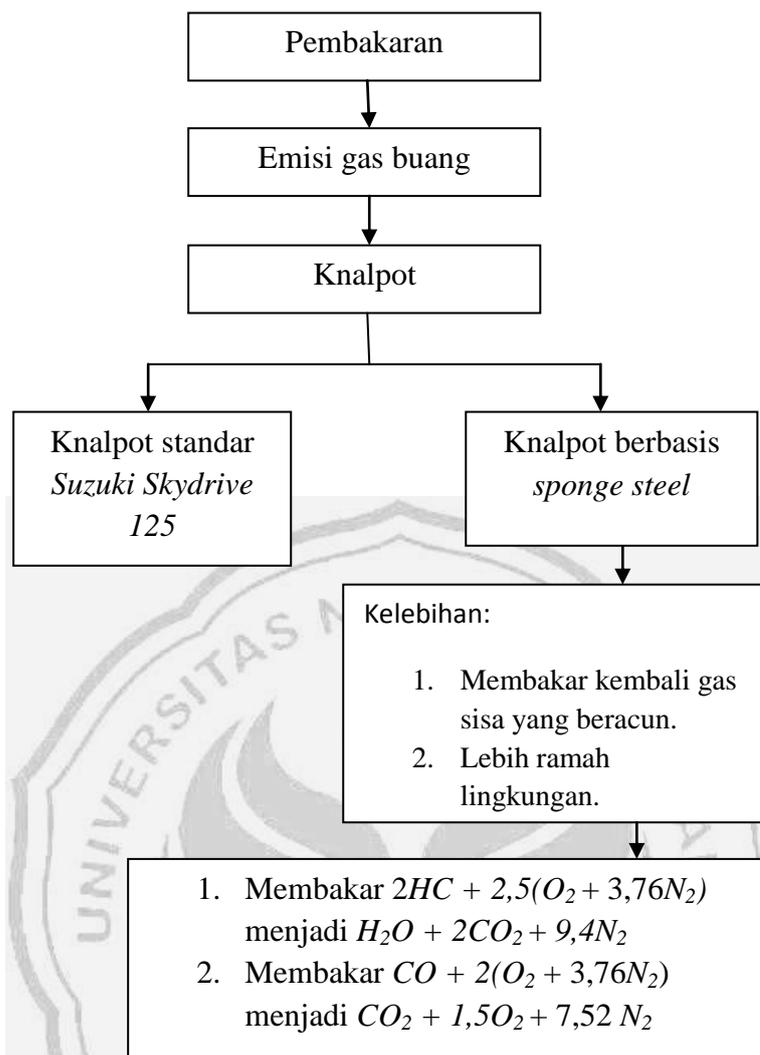
Suzuki Skydrive pada penelitian ini menggunakan mesin standar pabrik, yang mempunyai spesifikasi mesin sebagai berikut :

- a. Jenis : 4 langkah SOHC.
- b. *System* pendingin : pendingin udara.
- c. Jumlah silinder : 1 (satu).
- d. Diameter silinder : 53.5 mm.
- e. Langkah piston : 55.2 mm.
- f. Kapasitas silinder : 124 cm³.
- g. Rasio kompresi : 9.6 : 1.
- h. Daya maksimum : 6.9 kW/7.500 rpm.
- i. Torsi maksimum : 9.6 Nm/6.500 rpm.
- j. Karburator : Mikuni BS 26.
- k. Saringan udara : Busa *polyurethane* & elemen kertas.
- l. *System* starter : elektrik & engkol.

H. Kerangka Penelitian

Emisi gas buang adalah gas yang beracun bagi lingkungan dan manusia, karena di dalam gas buang mengandung banyak gas yang beracun seperti *HC* dan *CO*. Gas tersebut dihasilkan dari pembakaran yang kurang sempurna yang dilakukan di dalam ruang bakar. Sering bertambahnya putaran mesin maka pembakaran akan semakin cepat, pada kecepatan tertentu bahan bakar tidak terbakar dan menghasilkan gas *HC* dan *CO*.

Knalpot adalah suatu alat yang digunakan sebagai saluran gas buang yang akan dilepaskan ke lingkungan bebas. Knalpot yang biasa digunakan sepeda motor adalah knalpot standar pabrikan yang sudah didesain oleh perancangannya, akan tetapi knalpot standar tidak dapat mengurangi emisi gas sisa pembakaran. Dari hal itu penulis ingin membuat knalpot berbasis *sponge steel* yang diharapkan mampu menurunkan emisi gas buang hasil sisa pembakaran. Adapun kerangka penelitian seperti yang tertulis pada bagan kerangka penelitian berikut.



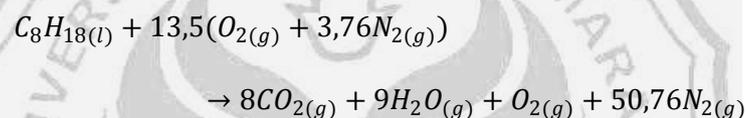
Bagan 1. Kerangka penelitian.

I. Hipotesis

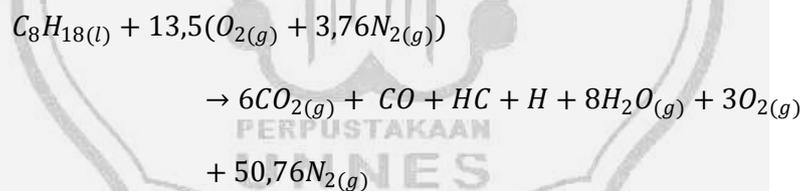
Knalpot berbasis *sponge steel* yang didesain adalah knalpot dengan tujuan menurunkan emisi gas buang dengan cara membakar kembali gas sisa yang belum terbakar sempurna. Pada pembakaran yang tidak sempurna masih ada ditemukan gas yang beracun yaitu *CO* dan *HC*. Knalpot berbasis *sponge steel* memanfaatkan *sponge steel* untuk membakar kembali gas buang yang tidak sempurna dengan cara gas buang yang suhunya panas yang kemudian akan dialirkan pada *sponge*

steel, sehingga *sponge steel* akan membara karena panas gas buang karena *sponge steel* bersifat menghantarkan kalor, menurut Zemansky dan Dittman (1986: 94) transport energy antara elemen volume yang bertetangga, yang ditimbulkan oleh perbedaan temperature antar elemen itu sendiri. Bara yang dihasilkan oleh gas buang akan membakar kembali gas sisa yang belum terbakar sempurna.

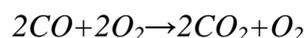
Pada reaksi pembakaran yang sempurna tidak akan ditemukan gas yang beracun bagi tubuh yaitu gas *CO* dan *HC*. Seperti reaksi berikut:



Akan tetapi jika pembakaran tidak sempurna maka mungkin akan timbul reaksi seperti berikut:



Pada reaksi tersebut jika gas tersebut melewati *sponge steel* maka *CO* akan dibakar kembali dengan *O₂* yang tersisa pada pembakaran tersebut sehingga menjagi gas *CO₂* (gas karbon dioksida) seperti reaksi berikut:



Kemudian gas *HC* dan gas *O₂* dari sisa pembakaran diatas juga akan dibakar kembali dengan gas *O₂* dan *H* yang tersisa dalam gas buang dan akan didapatkan gas sisa *H₂O* dan *CO₂*. Seperti reaksi berikut



Dari hasil reaksi pembakaran lanjutan yang dilakukan oleh sponge steel yang membara maka akan dihasilkan gas buang yang tidak beracun lagi bagi lingkungan, dan hasil dari pembakaran (gas buang) tidak berbahaya bagi lingkungan.



BAB III

METODE PENELITIAN

J. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian perancangan. Perancangan knalpot berbasis *sponge steel* untuk pengendalian emisi gas buang sepeda motor.

K. Pengumpulan Data

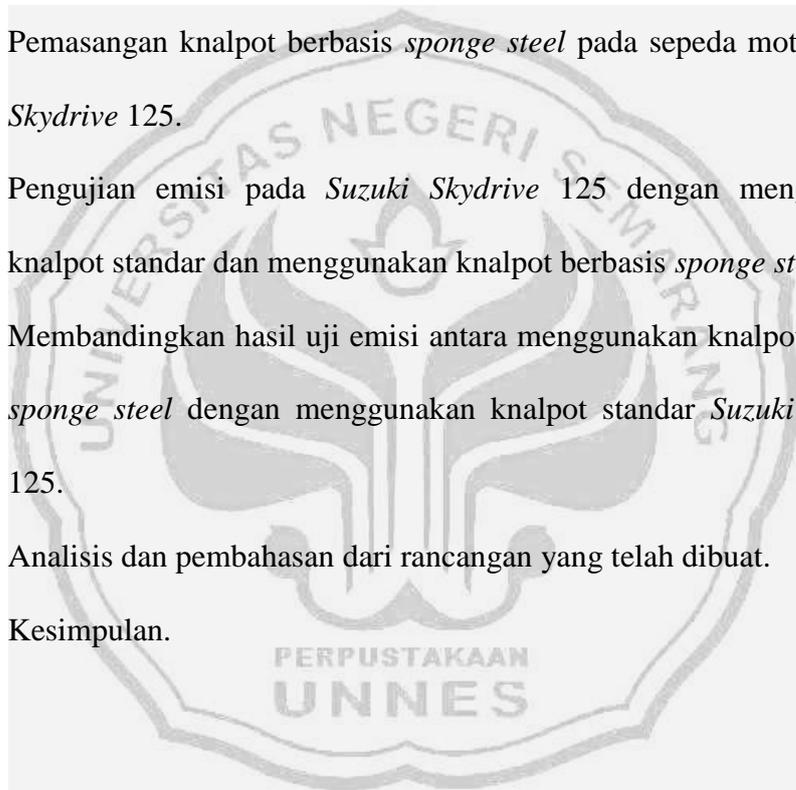
1. Alat dan bahan penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Program *Solidworks Premium 2013*.
- b. *Software Auto CAD 2013*.
- c. *Star Gas 898*
- d. Komputer bersistem operasi *Windows 7*.
- e. Jangka sorong.
- f. Satu set kunci kombinasi.
- g. Satu set kunci L.
- h. Sepeda motor *Suzuki Skydrive 125*.
- i. Knalpot standar *Suzuki Skydrive 125*.
- j. Knalpot berbasis *sponge steel*.

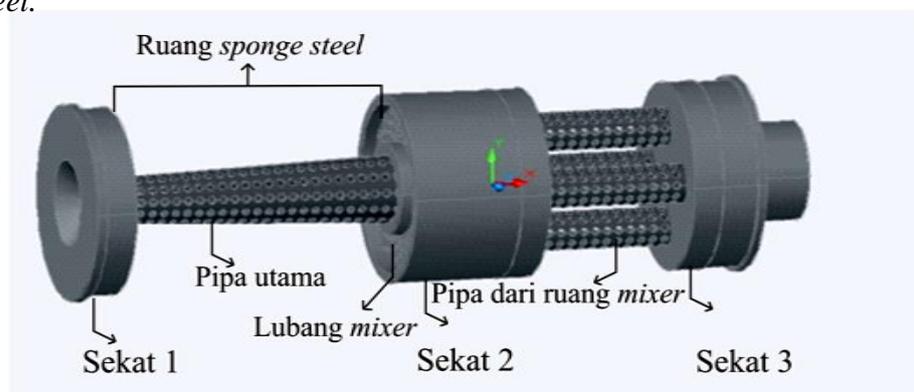
2. Langkah kerja

- a. Perancangan knalpot berbasis *sponge steel* dengan menggunakan *software Auto CAD 2013*.
- b. Merancang arah aliran gas buang yang melewati *sponge steel* dengan menggunakan *Solidworks Premium 2013*.
- c. Pembuatan knalpot berbasis *sponge steel* berdasarkan rancangan.
- d. Pemasangan knalpot berbasis *sponge steel* pada sepeda motor *Suzuki Skydrive 125*.
- e. Pengujian emisi pada *Suzuki Skydrive 125* dengan menggunakan knalpot standar dan menggunakan knalpot berbasis *sponge steel*.
- f. Membandingkan hasil uji emisi antara menggunakan knalpot berbasis *sponge steel* dengan menggunakan knalpot standar *Suzuki Skydrive 125*.
- g. Analisis dan pembahasan dari rancangan yang telah dibuat.
- h. Kesimpulan.



3. Perancangan dengan menggunakan *Auto CAD*

Knalpot *sponge steel* didesain dengan menggunakan *Auto CAD* supaya memudahkan dalam pembuatan. Dengan *Auto CAD* maka dapat diketahui bentuk-bentuk dari bagian knalpot sehingga memudahkan untuk pembuatan dan penjelasan cara kerja dari knalpot berbasis *sponge steel*.



Gambar 4. Bagian dalam knalpot berbasis *sponge steel*.

Bagian-bagian knalpot pada gambar di atas, adalah gambar bagian dalam dari knalpot berbasis *sponge steel*, knalpot *sponge steel* di desain sedemikian rupa bertujuan untuk mengoptimalkan pemanasan *sponge steel*.

4. Analisis dengan program *Solidworks Premium 2013*

Rancangan diamati dengan cara simulasi dengan program *Solidworks Premium 2013*, apa aliran gas buang dapat memanaskan *sponge steel* secara maksimal atau tidak. Program *Solidworks Premium 2013* akan menunjukkan panas pada beberapa bagian yang berada didalam knalpot berbasis *sponge steel* dengan menggunakan warna-warna tanda panas.

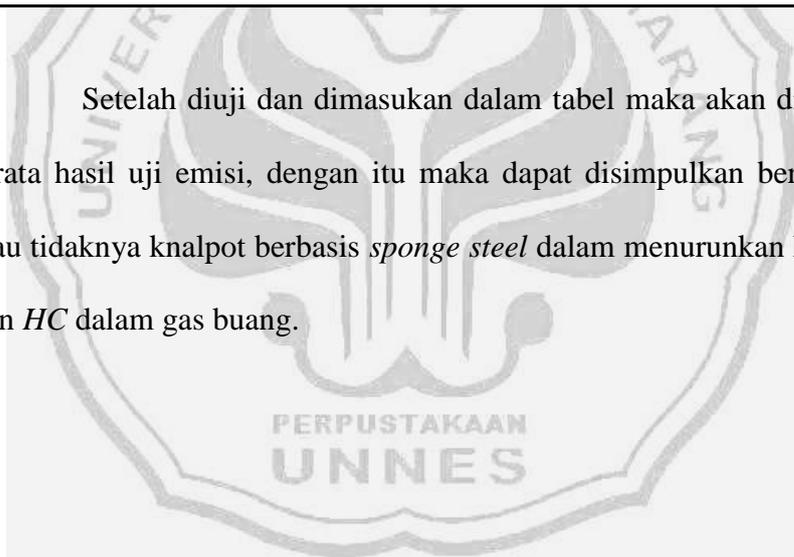
5. Uji emisi gas buang

Uji emisi dilakukan dengan dua tahap, yaitu dengan menggunakan knalpot standar pabrik dan dengan knalpot berbasis *sponge steel*. Hasil uji dimasukkan pada tabel uji emisi gas buang berikut:

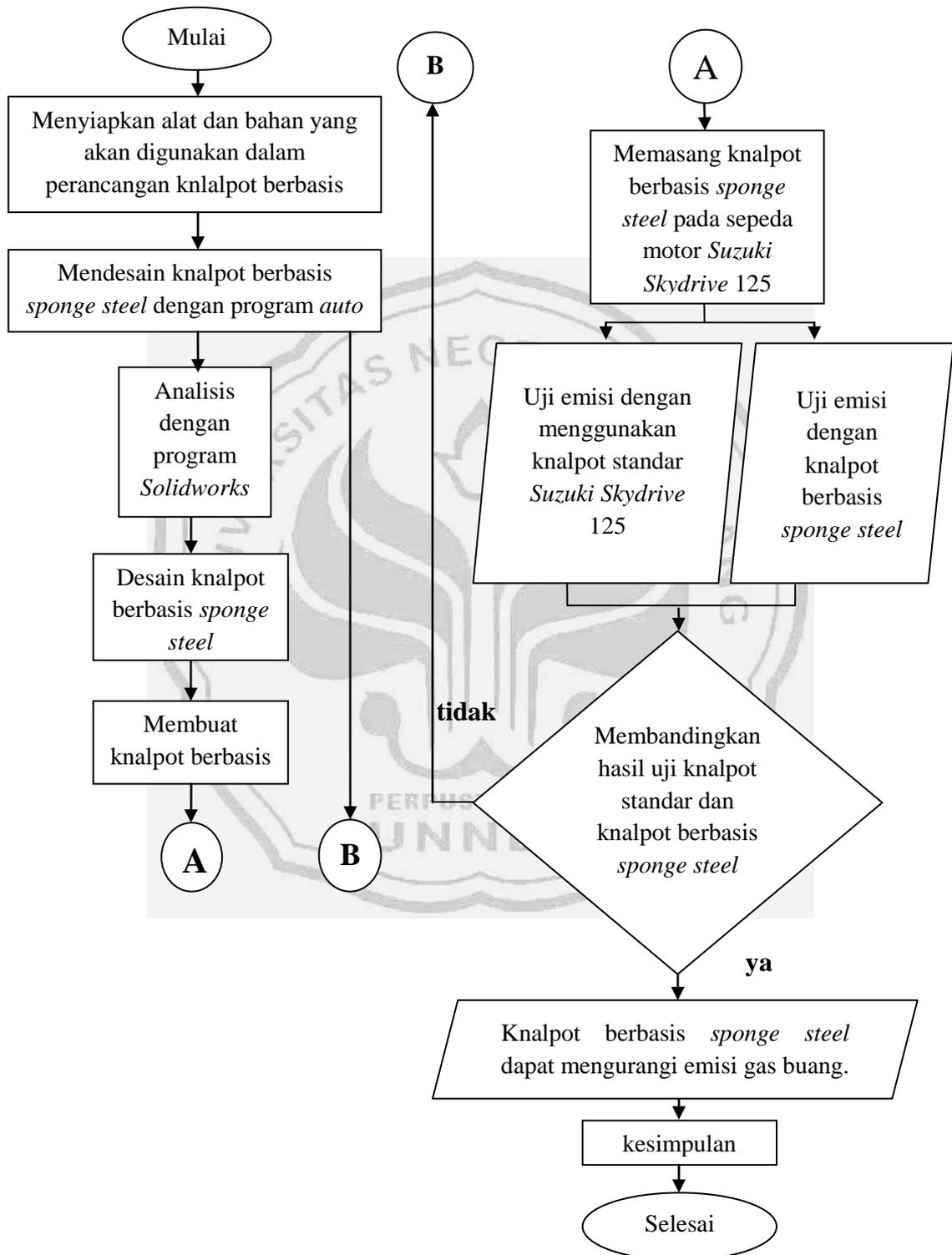
Tabel 1. Uji emisi gas buang

rpm	Knalpot standar				Knalpot berbasis <i>sponge steel</i>							
	<i>CO</i>		<i>HC</i>		<i>CO</i>		<i>HC</i>					
	x1	x2	x3	\bar{x}	x1	x2	x3	\bar{x}	x1	x2	x3	\bar{x}
1500												
5500												
9000												

Setelah diuji dan dimasukkan dalam tabel maka akan didapatkan rerata hasil uji emisi, dengan itu maka dapat disimpulkan berpengaruh atau tidaknya knalpot berbasis *sponge steel* dalam menurunkan kadar *CO* dan *HC* dalam gas buang.



L. Alur Penelitian



Bagan 2. Alur penelitian.

Dari bagan alur penelitian diatas untuk memulai penelitian dilakukan langkah awal dari penelitian, yaitu menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam perancangan knalpot berbasis *sponge steel*. Setelah penyiapan alat dan bahan dilakukan perancangan dengan menggunakan program *Auto CAD*.

Setelah didesain dengan *Auto CAD* dilakukan simulasi arah aliran dan panas *sponge steel* dengan menggunakan program *Solidworks Premium 2013*. Jika hasil arah aliran dan panas gas buang dapat memanaskan *sponge steel* maka rancangan dinyatakan berhasil.

Setelah didapatkan desain knalpot *sponge steel* maka dilanjutkan pada tahap pembuatan. Desain knalpot berbasis *sponge steel* yang telah dibuat digunakan sebagai panduan untuk membuat knalpot berbasis *sponge steel*. Setelah knalpot berbasis *sponge steel* jadi, maka dilakukan proses pemasangan pada sepeda motor *Suzuki Skydrive 125*.

Setelah dipasang pada motor *Suzuki Skydrive* maka dilakukan proses uji emisi, dengan menggunakan alat uji emisi sepeda motor *Suzuki Skydrive 125* diuji dengan menggunakan knalpot berbasis *sponge steel* dan knalpot standar. Pada pengujian emisi gas buang, sepeda motor *Suzuki Skydrive 125* dilakukan dengan cara menguji dengan putaran mesin yang bervariasi, dari putaran rendah, sedang, maupun tinggi.

Setelah pengujian selesai dilakukan proses membandingkan uji emisi sepeda motor *Suzuki Skydrive 125* yang menggunakan knalpot standar dengan sepeda motor *Suzuki Skydrive 125* yang menggunakan

knalpot berbasis *sponge steel*. Jika knalpot berbasis *sponge steel* dapat mengurangi emisi gas buang dibanding knalpot standar *Suzuki Skydrive* 125 maka knalpot berbasis *sponge steel* berhasil menurunkan emisi gas buang. Jika knalpot berbasis *sponge steel* tidak berhasil mengurangi emisi gas buang, maka perlu rancangan knalpot berbasis *sponge steel* yang tepat.



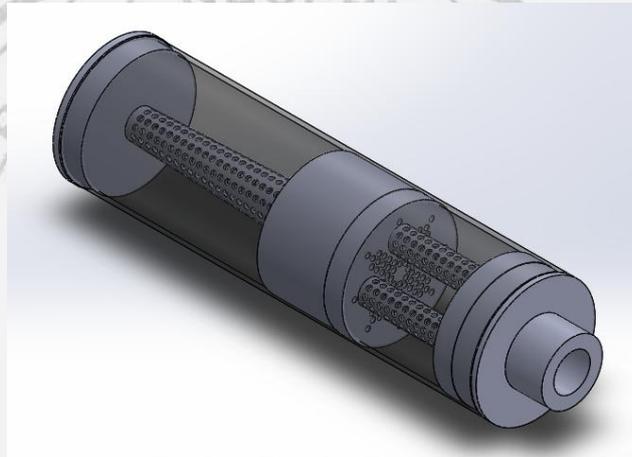
BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil penelitian

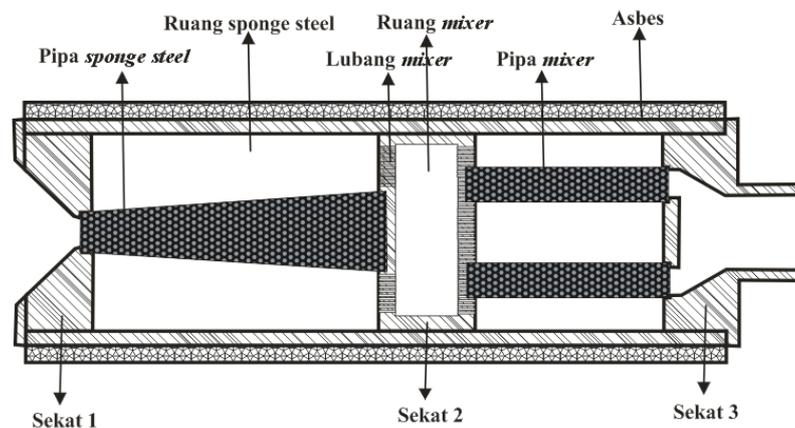
1. Desain knalpot berbasis *sponge steel*

Perancangan knalpot berbasis *sponge steel* adalah merancang bagian-bagian dari knalpot berbasis *sponge steel*. Berikut adalah gambar hasil perancangan tersebut.



Gambar 5. Desain knalpot berbasis *sponge steel*.

Knalpot berbasis *sponge steel* terdiri dari bagian-bagian komponen yang memiliki masing-masing fungsi yang berbeda.

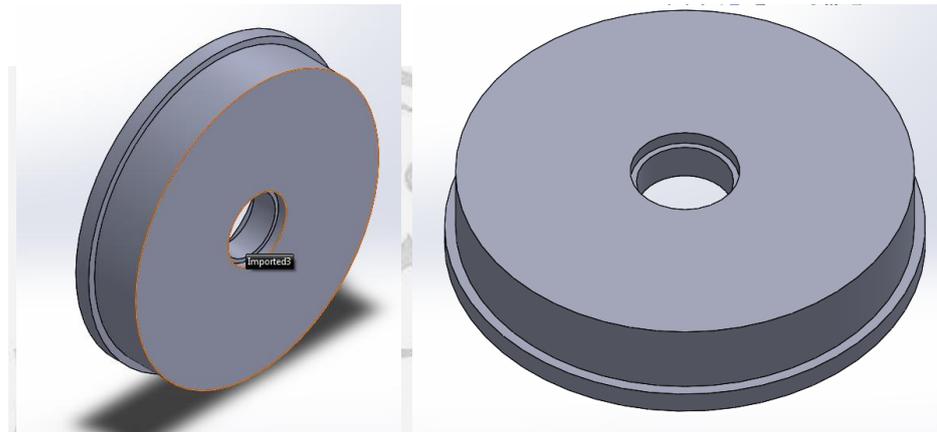


Gambar 6. Bagian-bagian knalpot berbasis *sponge steel*

a. Bagian-bagian knalpot berbasis *sponge steel*

1. Sekat pertama

Sekat pertama adalah bagian yang tersambung dengan pipa exhaust manifold, pada sekat pertama terdapat dudukan dari pipa tirus dimana pipa tirus tersebut dibalut dengan *sponge steel*.

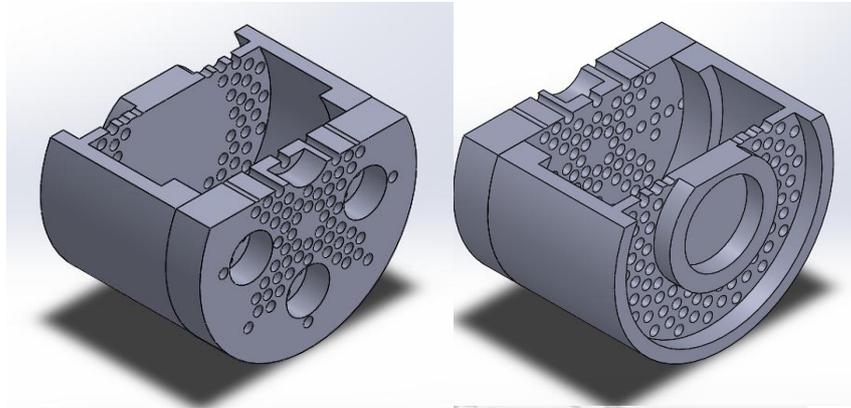


Gambar 7. Sekat pertama

2. Sekat kedua

Sekat kedua adalah sekat dimana didalamnya terdapat ruang *mixer* dan lubang-lubang *mixer* yang mengitarinya, hal ini berfungsi sebagai jalan gas buang yang setelah dibakar oleh *sponge steel*. Gas buang yang telah melalui *sponge steel* akan dibakar untuk menyempurnakan pembakaran, zat yang belum terbakar diruang bakar akan dibakar kembali oleh *sponge steel*. Setelah terbakar oleh *sponge steel* maka gas buang akan meningkat temperaturnya, sehingga molekul dari gas buang tidak stabil dan bergerak secara acak tidak

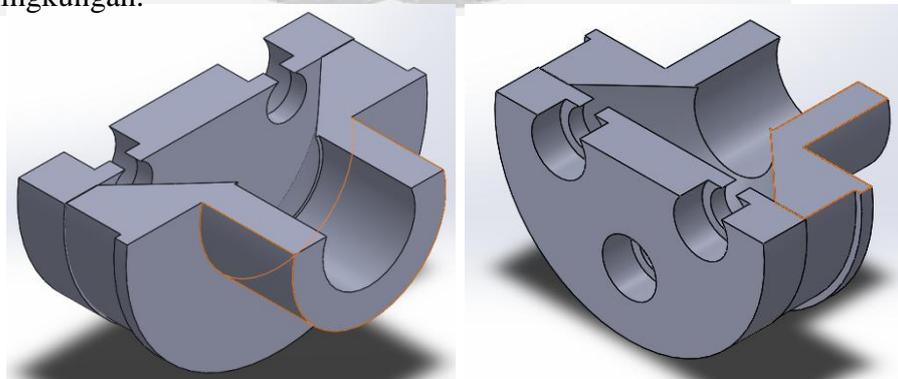
beraturan yang akan melalui lubang-lubang *mixer* dan kemudian kedalam ruang *mixer*.



Gambar 8. Sekat kedua.

3. Sekat ketiga

Sekat ketiga adalah sekat terakhir, dimana setelah keluar dari sekat ketiga gas buang akan keluar ke lingkungan. Gas buang setelah dari ruang *mixer* akan mengalir ke pipa-pipa *mixer* sebanyak 4 buah, karena pada ruang yang ditempati pipa-pipa *mixer* tersebut gas buang akan menurun temperaturnya, sehingga ketika dilepaskan ke lingkungan gas buang bisa mengkondisikan dengan udara lingkungan.



Gambar 9. Sekat ketiga.

4. Pipa *sponge steel*

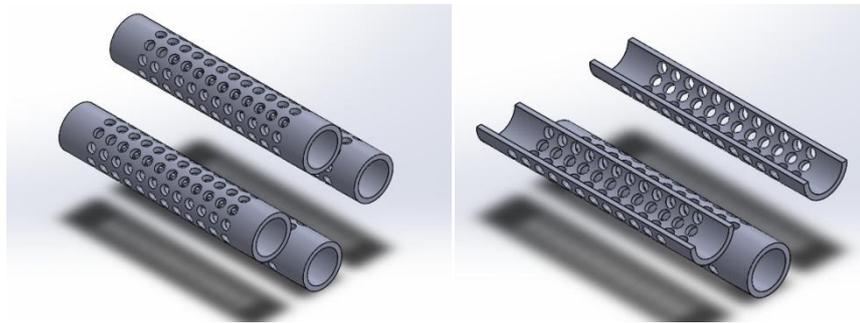
Pipa *sponge steel* adalah pipa yang didesain khusus dan berbentuk tirus supaya meratakan panas dari *sponge steel*. Sudut terdekat mempunyai luas yang sempit daripada sudut yang jauh, hal ini dimaksudkan sudut terdekat gas buang lebih panas daripada sudut terjauh dan ketebalan dari *sponge steel* lebih tebal sudut terdekat, hal ini dimaksudkan supaya panas gas buang dapat memanaskan *sponge steel* sampai bagian terluar.



Gambar 10. Pipa *sponge steel*.

5. Pipa *mixer*

Pipa *mixer* adalah pipa yang digunakan untuk meredam temperatur gas buang yang meningkat karena telah melewati *sponge steel* dan dibakar oleh *sponge steel*. Setelah gas buang temperaturnya meningkat maka partikel-partikel gas buang akan bergerak acak karena molekul yang tidak setabil, setelah itu gas buang melewati ruang *mixer* dan diteruskan ke pipa-pipa *mixer*.



Gambar 11. Pipa-pipa *mixer*.

2. Simulasi knalpot berbasis *sponge steel*

Simulasi knalpot berbasis *sponge steel* untuk mengetahui sistem kerja dan arah aliran gas buang dengan menggunakan *software solidworks premium 2013*. Program *solidworks premium 2013* yang didalamnya terdapat program *flow simulation*, yaitu suatu program yang digunakan untuk menguji suatu rancangan yang berkaitan dengan aliran fluida.

Simulasi knalpot berbasis *sponge steel* dengan program *flow simulation* akan didapatkan gambaran aliran gas buang dan bagian-bagian dalam knalpot yang terkena panas. Pada simulasi ini akan dapat secara mudah diamati, karena semua hasil dari simulasi akan disertai gambar yang didapatkan berupa file *html* yang didalamnya berisi gambar-gambar berwarna dan angka yang menunjukkan hasil pengujian.

Pada simulasi knalpot *sponge steel* akan dilakukan 3 pengujian simulasi, yaitu temperatur gas buang dalam knalpot, arah aliran gas buang dalam knalpot dan *pressure* gas buang dalam knalpot. Panas *sponge steel* tergantung dari temperatur gas buang, arah aliran gas buang dan *pressure* gas buang.

Pada simulasi knalpot berbasis *sponge steel* menggunakan ukuran standar SI. Pada simulasi ini akan menggunakan temperatur, *pressure* dan kecepatan aliran yang akan disesuaikan sendiri secara otomatis oleh program *solidwork flow simulation*. Ukuran-ukuran temperatur, *pressure* dan kecepatan aliran dapat dilihat dalam tabel berikut:

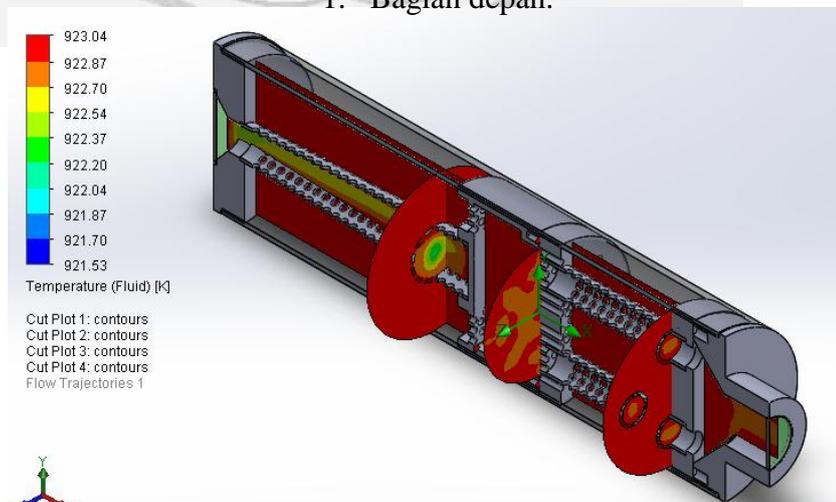
Tabel 2. Ukuran-ukuran dalam simulasi *solidworks*.

No	Ukuran	Nilai
1.	Temperatur	923.037529 K
2.	<i>Pressure</i>	104647.598 Pa
3.	Kecepatan aliran fluda (<i>velocity</i>)	51.2600803 m/s

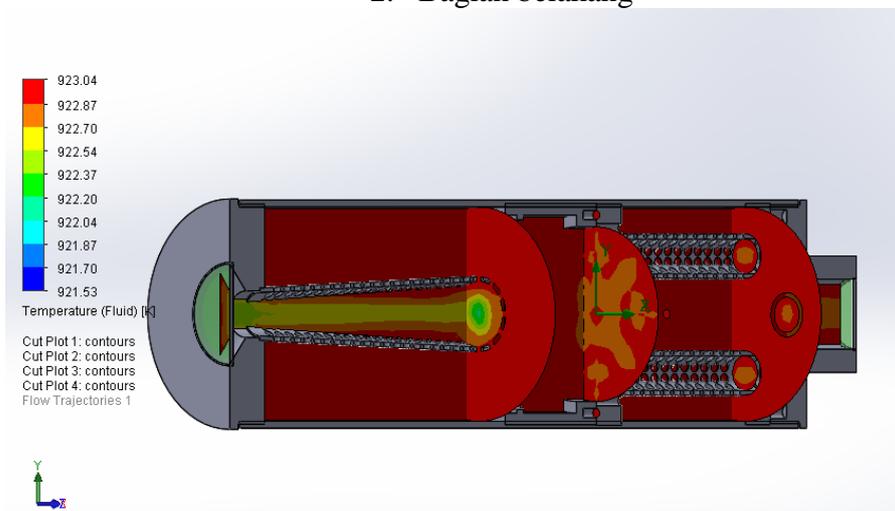
a. Simulasi temperatur gas buang dalam knalpot berbasis *sponge steel*

Simulasi temperatur gas buang dalam knalpot berbasis *sponge steel* yang akan dapat diamati dalam simulasi ini. Dalam simulasi ini gas buang akan ditampilkan dengan dambar berwarna yang masing-masing warna memiliki ukuran berbeda. Pada simulasi temperatur gas buang didapatkan gambar seperti berikut:

1. Bagian depan.



2. Bagian belakang



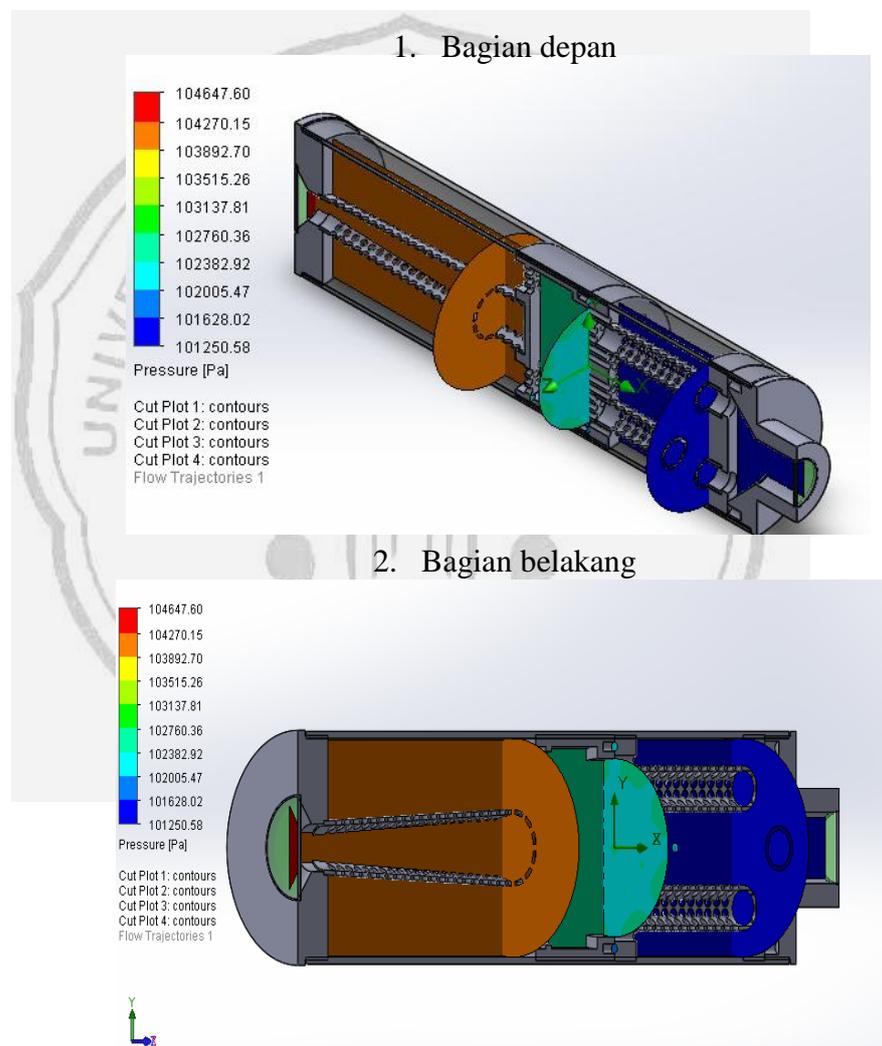
Gambar 12. Simulasi temperatur gas buang.

Pada gambar simulasi diatas dapat dilihat gas buang yang masuk dalam knalpot dengan temperatur 922.20 K– 922.70 K setelah terkena tekanan karena gas buang dialirkan menyebar merata ke bagian ruang *sponge steel* dengan lubang-lubang dengan diameter 2mm. Setelah terbakar oleh *sponge steel* yang membara dan mendapatkan *pressure*, temperatur gas buang naik sampai 923.04 K. Setelah dari ruang *sponge steel* gas buang yang panas menuju ruang *mixer*, pada ruang *mixer* molekul-molekul gas buang akan bergerak acak, hal ini dikarenakan molekul gas buang tidak stabil.

Gas buang setelah meninggalkan ruang *mixer* akan menuju ke ruang pipa-pipa *mixer*. Pada ruang pipa-pipa *mixer* temperatur gas buang akan menurun menjadi 922.37 K, hal ini disebabkan oleh pengkondisian molekul gas buang oleh pergerakan acak. Setelah dari ruang pipa-pipa *mixer* gas buang akan dikeluarkan ke lingkungan dengan panas 922.20 K.

b. Simulasi *pressure* knalpot berbasis *sponge steel*

Simulasi *pressure* knalpot berbasis *sponge steel* adalah mengetahui *pressure* dari gas buang dalam knalpot berbasis *sponge steel* yang dapat dilihat dengan warna yang akan menunjukkan besar *pressure*. Simulasi *pressure* knalpot berbasis *sponge steel* dapat dilihat dengan gambar berikut :



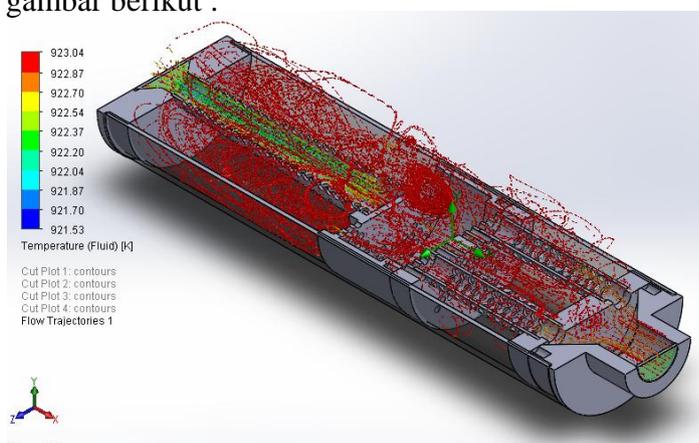
Gambar 13. Simulasi *pressure* gas buang.

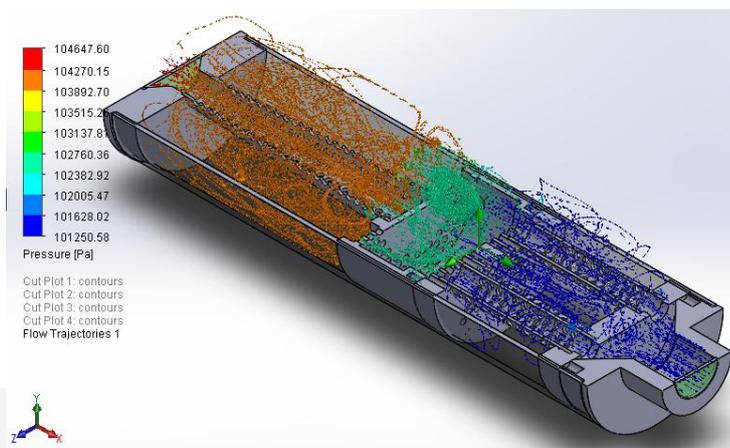
Pada simulasi *pressure* diatas dapat dilihat pada ruang *sponge steel pressure* gas buang adalah yang tertinggi yaitu 104270.15 Pa. Pada

ruang *sponge steel* *pressure*nya lebih tinggi daripada ruang *mixer* dan ruang pipa-pipa *mixer* yang masing-masing sebesar 102760.36 Pa dan 101250.58 Pa, pada ruang pipa-pipa *mixer* memiliki *pressure* yang paling rendah. Secara teori bahwa gas buang pada kondisi panas dan diberi tekanan (*pressure*) maka panas tersebut akan meningkat, akan tetapi jika gas buang tekananya (*pressure*) menurun maka panas juga akan menurun. Menurut Ginting (1989: 55) tekanan suatu gas berbanding lurus dengan temperatur bila volume konstan, hal ini sesuai dengan hukum Gay-Lussac. Semakin besar tekananya maka semakin meningkat panasnya.

c. Simulasi arah aliran gas buang knalpot berbasis *sponge steel*

Simulasi arah aliran gas buang knalpot berbasis *sponge steel* adalah mengetahui arah aliran gas buang yang disertai panas dan *pressure* (tekanan). Simulasi aliran gas buang akan ditandai dengan anak panah yang sambung-menyambung dan mengarah kesuatu titik dan memiliki warna tertentu untuk mengetahui arah aliran tersebut dengan disertai panas dan *pressure* (tekanan). Simulasi arah aliran gas buang dapat dilihat pada gambar berikut :





Gambar 14. Simulasi arah aliran panas dan *pressure* gas buang.

Pada gambar simulasi diatas dapat dilihat aliran dari gas buang secara detail, arah aliran gas buang dengan panas dan *pressure* tertinggi pada ruang *sponge steel* dengan panas 923.04 K dan diberi tekanan sebesar 104270.15 Pa. Setelah dari ruang *sponge steel* gas buang menuju keruang *mixer*, diruang ini gas molekul-molekul gas buang bergerak berputar-putar dan acak, oleh karena itu dinamakan ruang *mixer* (ruang acak) hal ini digunakan untuk mengkondisikan molekul dari gas buang setelah dibakar dan dikenakan *pressure*.

Pada ruang *mixer pressure* dari gas buang menurun, sehingga akan menyebabkan mulai menurunnya temperatur gas buang. Pada ruang *mixer* temperatur dan *pressure* gas buang masing-masing adalah 922.87 K dan 102760.36 Pa. Setelah dari ruang *mixer* gas buang menuju ruang pipa-pipa *mixer*, pada ruang pipa-pipa *mixer* gas buang akan dikondisikan untuk menurunkan gas buang, pada ruang pipa-pipa *mixer* gas buang memiliki temperatur dan *pressure* masing-masing 922.37 K

dan 101250.58 Pa. Gas buang akan menurun temperaturnya supaya jika dikeluarkan ke lingkungan gas buang dapat menyesuaikan dengan suhu udara lingkungan.

3. Hasil uji emisi knalpot berbasis *sponge steel*

a. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup

Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama sesuai dengan pasal 01 dalam peraturan menteri lingkungan hidup. Dengan ketentuan ambang batas emisi gas buang sepeda motor yang tertera dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 3. Batas emisi (Peraturan menteri lingkungan hidup NO. 5 tahun 2006)

Kategori	Tahun pembuatan	Parameter		Metode uji
		CO (%)	HC (ppm)	
Sepeda motor 2 langkah	< 2010	4.5	12000	Idle
Sepeda motor 4 langkah	< 2010	5.5	2400	Idle
Sepeda motor (2 langkah dan 4 langkah)	≥ 2010	4.5	2000	Idle

Keputusan Menteri Lingkungan Hidup diatas dijadikan sebagai acuan penelitian ini. Peraturan menteri lingkungan hidup tersebut mencantumkan bahwa pada sepeda motor 2 langkah < 2010 dengan batasan tidak lebih dari 4.5 % CO dan 12000 ppm HC, sepeda motor 4 langkah < 2010 tidak lebih dari 5.5 % CO dan 2400 ppm HC dan sepeda motor 2

langkah dan 4 langkah ≥ 2010 dengan batasan tidak lebih dari 4.5 % *CO* dan 2000 ppm *HC*.

b. Hasil uji emisi knalpot berbasis *sponge steel*

Pada pengujian emisi gas buang knalpot berbasis *sponge steel* dan pengujian gas buang pada knalpot standar didapatkan data emisi gas buang sebagai berikut :

Tabel 4. Volume *CO* dan *HC* knalpot standar *Suzuki Skydrive 125*.

Rpm	Knalpot standar							
	<i>CO</i> % vol				<i>HC</i> ppm			
	X1	X2	X3	\bar{X}	X1	X2	X3	\bar{X}
2000	1.106	1.188	1.186	1.16	90	93	90	91
3000	3.833	3.156	3.474	3.487	187	165	182	178
4000	5.106	4.764	4.852	4.907	218	203	199	206.6
5000	5.840	4.705	5.759	5.434	251	198	242	230.3
6000	3.701	3.879	3.888	3.822	110	73	66	83
7000	4.524	4.346	4.215	4.361	64	52	55	57
Rata-rata				3.861				140.98

Tabel 5. Volume *CO* dan *HC* knalpot berbasis *sponge steel*.

Rpm	Knalpot berbasis <i>sponge steel</i>							
	<i>CO</i> % vol				<i>HC</i> ppm			
	X1	X2	X3	\bar{X}	X1	X2	X3	\bar{X}
2000	0.252	0.292	0.203	0.249	31	33	27	30.3
3000	1.559	1.505	1.458	1.507	69	65	64	66
4000	2.055	2.455	2.345	2.285	55	65	65	61.66
5000	2.548	2.025	2.166	2.246	64	57	62	61
6000	1.540	1.096	1.152	1.262	7	9	6	7.3
7000	1.578	1.842	1.983	1.801	6	4	8	6
Rata-rata				1.558				38.71

Tabel 6. Volume O_2 dan CO_2 knalpot standar *Suzuki Skydrive 125*.

Rpm	Knalpot standar							
	O_2 % vol				CO_2 % vol			
	X1	X2	X3	\bar{X}	X1	X2	X3	\bar{X}
2000	6.52	5.90	6.32	6.24	9.30	9.61	9.33	9.41
3000	4.52	3.77	3.76	4.01	4.52	9.99	9.76	8.09
4000	3.44	3.55	3.13	3.37	8.94	9.04	9.15	9.04
5000	2.60	2.47	2.53	2.53	9.03	9.89	9.30	9.40
6000	0.69	0.47	0.48	0.54	11.84	11.83	11.87	11.84
7000	0,26	0.23	0.18	0.22	11.85	11.81	11.92	11.86
Rata-rata				2.818				9.94

Tabel 7. Volume O_2 dan CO_2 knalpot berbasis *sponge steel*.

Rpm	Knalpot berbasis <i>sponge steel</i>							
	O_2 % vol				CO_2 % vol			
	X1	X2	X3	\bar{X}	X1	X2	X3	\bar{X}
2000	9.95	8.22	10.38	9.51	7.61	8.72	7.01	7.78
3000	7.22	6.27	7.30	6.93	8.59	9.29	8.61	8.83
4000	6.46	6.30	6.41	6.39	8.77	8.84	8.68	8.76
5000	6.15	6.42	5.61	6.06	8.89	9.16	9.40	9.15
6000	4.09	4.96	4.31	4.45	11.00	10.64	10.96	10.86
7000	2.52	3.51	2.03	2.68	11.96	11.11	12.00	11.69
Rata-rata				6.003				9.51

Perhitungan hasil rata-rata uji emisi gas buang pada knalpot standar *Suzuki Sky Drive 125* dan knalpot berbasis *sponge steel* diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{X1+X2+X3}{3}$$

Keterangan :

X1 = hasil pengukuran pertama

X2 = hasil pengukuran kedua

X3 = hasil pengukuran ketiga

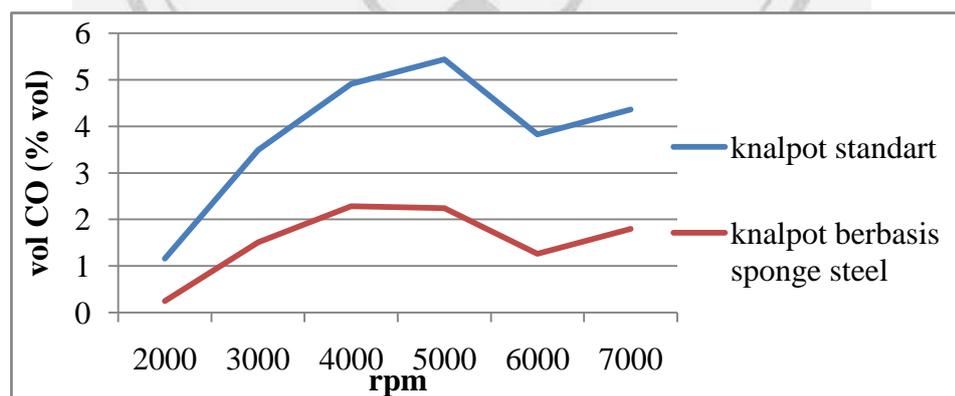
\bar{X} = rata-rata hasil pengukuran.

B. Pembahasan

Knalpot berbasis *sponge steel* dapat menurunkan kadar CO_2 , CO dan HC dari pada knalpot standar, kadar O_2 meningkat dengan signifikan. Hasil uji emisi diatas menunjukkan bahwa panas dan tekanan dari gas buang mampu untuk membakar dan membuat *sponge steel* menjadi membara, bara dari *sponge steel* mampu untuk membakar senyawa-senyawa gas buang menjadi senyawa-senyawa lain. Hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa senyawa-senyawa yang berbahaya dalam gas buang seperti CO dan HC menurun dan O_2 naik dengan signifikan. Menurut Saepudin (2004: 175) reaksi dalam pembakaran katalitik Konvertor adalah reaksi kimia seperti berikut :



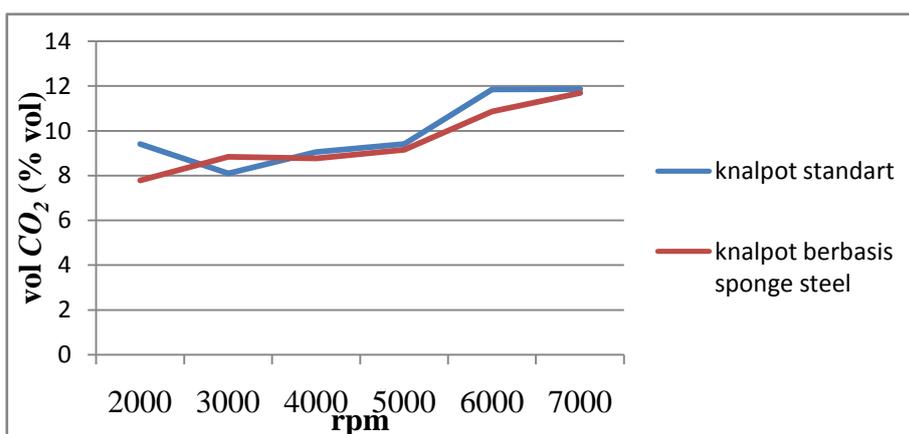
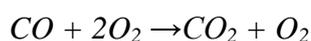
1. Kadar CO dan CO_2



Gambar 15. Grafik volume CO (% vol) terhadap putaran mesin.

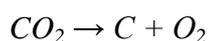
Pada grafik diatas dapat kita lihat bahwa kadar dari senyawa CO menurun, penurunan kadar CO knalpot berbasis sponge steel dibandingkan dengan knalpot standar sebesar 59.65 % dari rata-rata tiap

rpm. Dalam reaksi penurunan CO seharusnya CO dibakar menjadi CO_2 akan tetapi ada sebagian C yang terdeposit dan menempel menjadi kerak pada sponge steel. Reaksi pembakaran CO sebagai berikut :

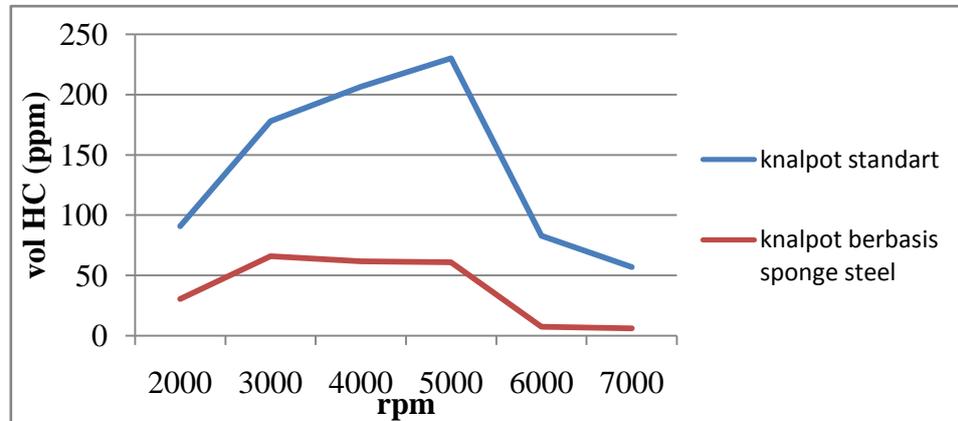


Gambar 16. Grafik volume CO_2 (% vol) terhadap putaran mesin.

Pada gambar diatas dapat kita lihat bahwa CO_2 menurun pada rata-rata tiap rpm sebanyak 4,32 % dari knalpot standar, padahal seharusnya CO_2 naik karena pembakaran CO menghasilkan CO_2 , akan tetapi dalam knalpot berbasis sponge steel menggunakan sponge steel sebagai media pembakaran. Hal itu menyebabkan CO_2 pun ikut terbakar kembali menjadi C dan O_2 , senyawa C terdeposit dalam sponge steel dan senyawa O_2 menjadi senyawa bebas dan ikut terdorong ke lingkungan.

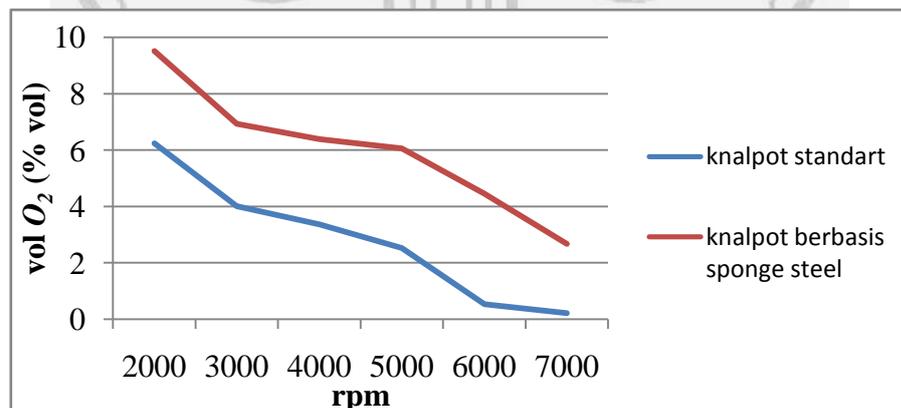


2. Kadar O_2 dan HC



Gambar 17. Grafik volume HC (ppm) terhadap putaran mesin.

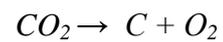
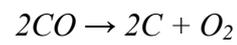
Grafik diatas menunjukkan penurunan kadar senyawa HC sangat besar, rata-rata penurunan HC pada tiap rpm adalah 72.54 %. Hal itu disebabkan karena senyawa HC bereaksi dengan O_2 dan menghasilkan H_2O dan CO_2 seperti pada reaksi berikut :



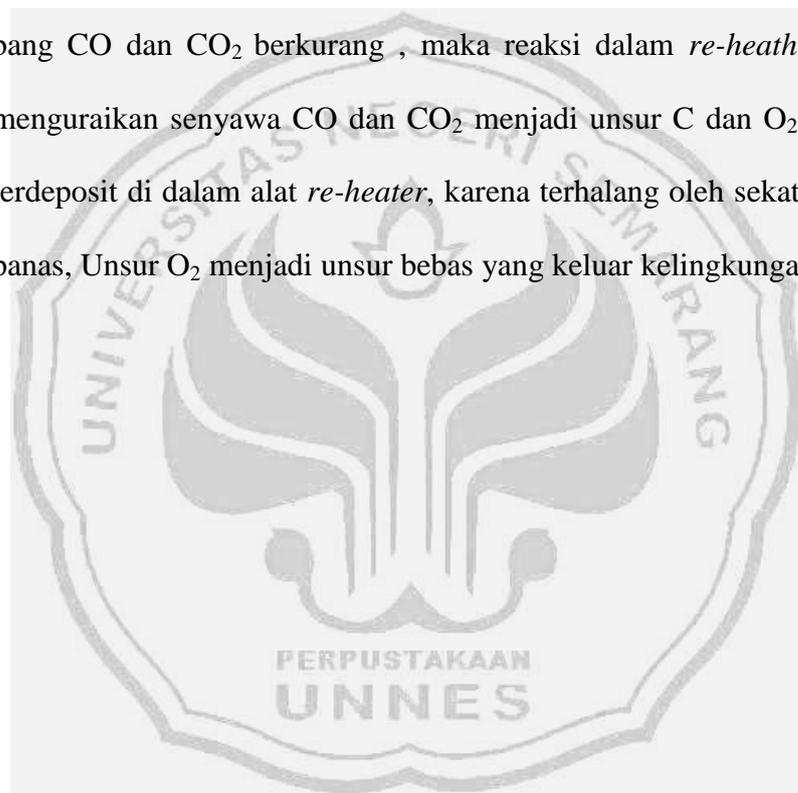
Gambar 18. Grafik volume O_2 (% vol) terhadap putaran mesin.

Pada grafik diatas menunjukkan kenaikan dari kandungan senyawa O_2 sebanyak 53.06 % dari rata-rata tiap rpm dibandingkan dengan knalpot standar. O_2 naik dengan signifikan disebabkan karena

terdeposinya sebagian unsur C dari senyawa CO dan CO_2 pada sponge steel dan O_2 dari senyawa tersebut menjadi unsur bebas dan terdorong keluar lingkungan.



Menurut Kusuma (2002: 97) menerangkan bahwa gas gas CO dan CO_2 berkurang , maka reaksi dalam *re-heather* adalah menguraikan senyawa CO dan CO_2 menjadi unsur C dan O_2 , unsur C terdeposit di dalam alat *re-heater*, karena terhalang oleh sekat dan pipa panas, Unsur O_2 menjadi unsur bebas yang keluar kelingkungan.



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian pada knalpot berbasis *sponge steel* untuk menurunkan emisi gas buang, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut :

1. Rancangan knalpot berbasis *sponge steel* dengan menggunakan program *Auto CAD 2013* dapat bekerja maksimal dalam memanaskan *sponge steel* dan menurunkan emisi gas buang.
2. Rancangan arah aliran dari gas buang mampu untuk memanaskan *sponge steel* yang ditampilkan pada simulasi knalpot berbasis *sponge steel* dengan *software Solidworks Flow Simulation 2013*. Penelitian pada knalpot berbasis *sponge steel* dengan simulasi *Solidworks* yang dilakukan sebelum membuat benda kerja, ternyata tidak jauh berbeda dari penelitian knalpot *sponge steel* secara nyata, hal tersebut ditunjukkan dari panas hasil penelitian dan pada simulasi tidak jauh berbeda. Panas dari *sponge steel* tersebut mampu untuk membakar lagi kandungan gas buang yang belum terbakar secara sempurna pada pembakaran di ruang bakar mesin.
3. Knalpot berbasis *sponge steel* mampu menurunkan emisi gas buang, pada hasil uji emisi knalpot berbasis *sponge steel* menunjukkan penurunan emisi gas buang sebanyak 72.54% senyawa *HC*, 59.65% senyawa *CO*, 4.32% senyawa *CO₂* dan *O₂* mengalami kenaikan sebanyak 53.06%. Knalpot

berbasis sponge steel bekerja dan berfungsi sesuai yang diharapkan, oleh karena itu penulis berani memberikan nama knalpot berbasis sponge steel dengan nama D-BER KONSERVASI.

B. Saran

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

1. Perlu diadakan penelitian dengan merubah variasi dari lubang-lubang dari pipa *sponge steel* dan dimensi *sponge steel* untuk mendapatkan desain knalpot yang lebih sempurna dalam mereduksi emisi gas buang.
2. Kepada mahasiswa UNNES teknik mesin supaya dapat menganalisis kandungan gas buang pada knalpot berbasis *sponge steel* selain dari gas yang telah di uji, seperti gas *HC*, *CO*, *CO₂* dan *O₂*.
3. Kepada masyarakat disarankan untuk menggunakan knalpot berbasis *sponge steel* pada kendaraan yang dipakai supaya dapat meningkatkan kualitas lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Elsa, M., Fahrul., dan R. Mutiara. 2010. *Emisi Hasil Pembakaran*.
<http://nayhndy.wordpress.com/2011/01/18/emisi-hasil-pembakaran/> ,
diunduh tanggal 07/02/2012.
- Ginting, R.U. 1989. *Dasar-Dasar Termodinamika*, Jakarta : Penerbit Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan.
- Ibrahim, Ardiansyah. 2012. *Katalitik Konverter*.
<http://ardiansyahibrahim.wordpress.com/2012/10/08/katalitik-konverter/>,
diunduh tanggal 21/5/2013.
- Kusuma, G.B.W. 2002. Alat Penurun Emisi Gas Buang pada Motor, Mobil, Motor Tempel Dan Mesin Pembakaran Tak Bergerak. *Makara, Teknologi, VOL. 6. NO. 3: 95-101.*
- Krisdianto, D., A. Purwanto., dan Sumarna. 2011. Profil Perubahan Tekanan Gas Terhadap Suhu pada Volume Tetap. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta : F207-F212.
- Lovinska, W. 2012. *Fungsi knalpot*.
<http://k2otomotif.blogspot.com/2012/02/fungsi-knalpot-sejarahnyafungsi.html>, diunduh tanggal 6/12/2012.
- Muharam, A., G. Priandani., dan S. Khairunnisa. 2012. *Stainless steel : Dominasi Era Modern Alat Perindustrian Farmasi*.
<http://tsffarmasiunsoed2012.wordpress.com/2012/05/22/stainless-steel-dominasi-era-modern-alat-perindustrian-farmasi/>, diunduh tanggal 26/11/2012.
- Nasikin, M., P.P.D.K. Wulan, dan V. Andrianti. 2004. Pemodelan dan Simulasi Katalitik Konverter Packed Bed Untuk Mengoksidasi Jelaga pada Gas Buang Kendaraan Bermesin Diesel. *Makara, Teknologi, VOL. 8. NO. 3: 69-76.*
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.*
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara.*

Saepudin, Aep. 2004. Pengaruh Catalytic Converter pada Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor. *Prosiding Konfrensi Nasional Tenaga Listrik dan Mekatronik ke- 1*, ISSN 1829-7854 : 173-180.

Sastrawijaya, A.T. 2000. *Pencemaran Lingkungan*. Jakarta : PT. Rineka Cipta

Suyatno, Agus. 2011. Variasi Campuran Bahan Bakar Dengan Peralatan Elektromagnet Terhadap Emisi Gas Buang pada Motor Bakar Bensin 3 Silinder. *Proton*, VOL. 3. NO. 1: 13-18.

Zemansky M.W. dan R.H. Dittman. 1986. *Kalor Dan Termodinamika*, Bandung : Penerbit ITB.

