

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Ketika melakukan penulisan tugas akhir diperlukan banyak sumber Pustaka penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya, untuk dijadikan sebuah referensi. Berikut ini adalah beberapa referensi yang berkaitan antara lain.

Tekanan dalam sistem pipa knalpot bersifat berdenyut dan juga diselidiki menjadi yang terbaik cara bagaimana pulsasi ini dapat dikontrol sehingga memberikan keuntungan maksimal bagi performa mesin. Metode dan kesimpulan berbeda dalam beberapa hal. Fluktuasi tekanan dalam manifold buang konvensional umumnya merusak kinerja mesin dengan mengganggu pembuangan dan pengisian silinder mesin. Energi buang telah menjadi hambatan pada mesin dan spoiler kinerja. Pada beban penuh, energi yang hilang dengan cara ini akan memiliki urutan yang sama dengan panas setara dengan tenaga kuda yang ditunjukkan. Energi ini tidak hanya ditunjukkan sebagai suhu buang yang tinggi tetapi juga dalam bentuk pulsasi tekanan atau gelombang yang merambat dalam bentuk suara di sepanjang sistem pembuangan memberikan percepatan dan perlambatan partikel gas saat mereka melewati sistem pembuangan. Tentang 10% dari energi bahan bakar terkandung dalam denyut yang dihasilkan dalam sistem pembuangan mesin pengapian kompresi (Rasayan, 2017).

Sistem pembuangan adalah bagian utama dari sebuah mobil yang terdiri dari knalpot, *muffler*, dan *sub-muffler*. Sistem pembuangan adalah suku cadang mobil untuk mengurangi kebisingan dari mesin. Kebisingan adalah suara tak terduga karena berasal dari deru mesin mobil. Kebisingan desain yang tidak efektif dari sistem pembuangan membuat orang-orang di dunia mengalami masalah pendengaran, Selanjutnya, knalpot juga berfungsi untuk menyalurkan gas emisi hasil pembakaran mesin. Gas-gas emisi terdiri dari CO, CO<sub>2</sub>, dan HC. Kondisi tersebut menyebabkan pencemaran udara sekitar 70-85%. Investigasi di Indonesia membuktikan bahwa mobil besar, truk, bus dan minibus adalah yang menghasilkan emisi gas yang tertinggi. Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk

merancang knalpot mobil besar tersebut seperti truk, bus dan minibus (Aminuddin, dkk, 2020).

Knalpot adalah alat peredam kebisingan pada kendaraan, apakah itu mobil, sepeda motor, dan lain sebagainya. Untuk tujuan tersebut maka knalpot dirancang sedemikian rupa agar suara yang keluar tidak begitu keras. Salah satu penyebab utama kebisingan di kota-kota besar adalah diakibatkan oleh suara knalpot. Knalpot yang terbuat dari bahan logam, umumnya tidak mampu memberikan tingkat peredaman suara yang besar, oleh karena itu suara yang keluar menjadi bising. Kebisingan yang mempunyai nilai diluar ambang batas dapat mengganggu konsentrasi manusia dan menurunkan tingkat produktivitas dan kinerja manusia, selain itu dampak lain yang ditimbulkan pada manusia yakni rusaknya koklea telinga, dan naiknya tekanan darah serta dampak lainnya. Untuk mengantisipasi suara kebisingan tersebut. Menteri Kesehatan Republik Indonesia mengeluarkan Peraturan Pemerintah No. 718 /1987, yang isinya yakni mengatur tingkat kebisingan pada berbagai zona, khususnya untuk zona C. Adapun zona C tersebut meliputi daerah perkantoran, perdagangan, serta pemukiman. Batas kebisingan yang diizinkan pada zona C tersebut yakni antara 50 – 60 dB. Pernyataan tersebut yakni mengisyaratkan pada kendaraan harus dilakukan pengujian kebisingan (Supriyadi, 2010).

Jumlah kendaraan di Indonesia pada setiap tahun terus meningkat. Pada tahun 2013 jumlah kendaraan meningkat pesat. Dari 94,299 juta unit kendaraan pada tahun 2012 meningkat menjadi 104,211 juta unit kendaraan pada tahun 2013. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 48 tahun 1996 tentang baku tingkat kebisingan menyatakan pembagian wilayah dalam beberapa zona antara lain perkantoran, pertokoan, perdagangan dan fasilitas umum dengan tingkat kebisingan sekitar 50-60 dB. Pada zona ini khususnya di kota-kota besar penyebab utama kebisingan adalah dari knalpot kendaraan bermotor khususnya mobil. Salah satu pengendalian tingkat kebisingan secara teknis adalah dengan menggunakan material rendah bising pada knalpot kendaraan. Bentuk knalpot penampang oval adalah salah satu bentuk knalpot yang banyak digunakan. Dalam penelitian ini akan digunakan model knalpot penampang oval dan material komposit serat Rockwool

dengan matrik epoxy adalah salah satu material rendah bising yang digunakan untuk bahan pembuatan knalpot rendah bising. Selain itu, kemampuan menurunkan tingkat kebisingan suara knalpot akan diuji secara simulasi dengan pendekatan *Finite Elemen Method* (FEM). Dari hasil simulasi diperoleh penggunaan bahan knalpot dari bahan komposit dapat menurunkan tingkat kebisingan knalpot mobil penampang oval sebesar 6,56 dB (Nurdiana, dkk, 2015).

*Catalytic converter* adalah salah satu alat yang berfungsi untuk menyaring gas buang sisa hasil pembakaran dari ruang bakar. Dimana apabila dimodifikasi sedemikian rupa alat ini juga dapat berfungsi sebagai peredam suara tambahan muffler. Dengan bentuk yang mirip *muffler* diharapkan selain untuk menyaring gas sisa hasil pembakaran juga mampu mengurangi kebisingan secara maksimal. Di samping itu alat ini juga dapat mempengaruhi *performance* motor bakar. Dan diharapkan dapat memperbaiki *performance* dan gas buang pada motor bakar. Adapun tujuan yang hendak dicapai yaitu untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan *catalytic converter* pada mobil toyota kijang 4K 1300 cc terhadap kebisingan jika dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar (Purnawan, dkk, 2006).

## **2.2 Sistem Pembuangan**

Sistem pembuangan adalah saluran untuk membuang sisa hasil pembakaran pada mesin pembakaran dalam. Sistem pembuangan terdiri dari beberapa komponen, minimal terdiri dari satu pipa pembuangan. Di Indonesia dikenal juga sebagai knalpot yang merupakan kata serapan dari bahasa Belanda yang secara harfiah berarti saringan suara. Dengan pengecualian mobil listrik, semua mobil memiliki sistem pembuangan untuk memindahkan gas yang mudah terbakar dari mesin. Sistem pembuangan juga meredam kebisingan mesin, mengurangi emisi ke atmosfer, dan membantu mesin bekerja lebih efisien.

## **2.3 Komponen Utama Sistem Pembuangan**

Tergantung pada model mobilnya, beberapa mobil memiliki komponen utama sistem pembuangan yang berbeda. Namun secara umum desain / komponen utama sistem pembuangan mobil bisa dibilang sama.

Berikut komponen-komponen utama sistem pembuangan dan fungsinya:

### 1. *Exhaust Manifold*

Sebagai komponen yang berfungsi untuk menyaring dan membuang gas sisa pembakaran, cara kerja exhaust manifold sebenarnya tidaklah rumit. Komponen ini hanya perlu mengalirkan gas hasil pembakaran pada tiap-tiap silinder ke pipa buang atau exhaust pipe. Selanjutnya, gas ini akan dialirkan ke catalytic converter, lalu ke muffler.

Meskipun begitu, fungsi exhaust manifold sebagai penyalur dan penyaring gas buang ini tidak dapat diremehkan. Ia memiliki peran krusial untuk membantu agar gas sisa pembakaran mesin mobil tetap aman serta tidak mencemari lingkungan. Apabila exhaust manifold mengalami kerusakan, atau sedikit saja kebocoran, maka gas sisa pembuangan tidak akan tersaring. Akibatnya, akan ada senyawa kimia berbahaya yang akan meracuni manusia jika sampai terhirup.



Gambar 2. 1 *Exhaust Manifold*  
(Rajadurai, 2014)

### 2. *Catalytic Converter*

*Catalytic converter* memiliki fungsi utama mengurangi emisi gas buang. Seperti yang kita ketahui dalam gas buang mobil terdapat sangat banyak zat polutan seperti Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Hidrokarbon (HC), Karbon monoksida (CO) dan masih banyak lagi. *Catalytic Converter* terletak di dalam knalpot mobil. Dengan adanya alat ini emisi gas buang yang mengandung sangat banyak zat polutan tersebut menjadi jauh lebih bersih.



Gambar 2. 2 *Catalytic Converter*  
(Rajadurai, 2014)

Saat ini ada 3 jenis catalytic converter yang digunakan pada mobil, yaitu:

**a. *Oxidation Catalyst (OC)***

Pada jenis CCO (*Catalytic Converter for Oxidation*), oksigen akan melakukan reaksi dengan CO dan HC untuk membentuk CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang tidak mengandung polusi. Supaya proses oksidasi ini dapat berjalan dengan baik, pada exhaust manifold harus ada udara murni. Selanjutnya gasbuang harus disirkulasikan kembali melalui sistem EGR karena hanya sedikit mengurangi NOx.

**b. *Three-Way Catalyst (TWC)***

Dari semua tipe Catalytic Converter, tipe yang satu ini adalah yang paling ideal. Karena selain CO dan HC, NOx juga akan diubah menjadi zat non polusi. Proses NO dan O<sub>2</sub> akan difungsikan sebagai komponen yang menyebabkan terbakar (oksidasi), sementara CO dan HC sebagai komponen yang terbakar akan bereaksi dan membentuk CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan N<sub>2</sub>.

**c. *Three-Way Catalyst & Oxidation Catalyst (TWC-OC)***

Tipe *catalytic converter* ini merupakan kombinasi dari *oxidation catalyst* dan *three way catalyst* yang bertujuan untuk mengurangi polusi udara lebih banyak.

**3. *Pipa Knalpot***

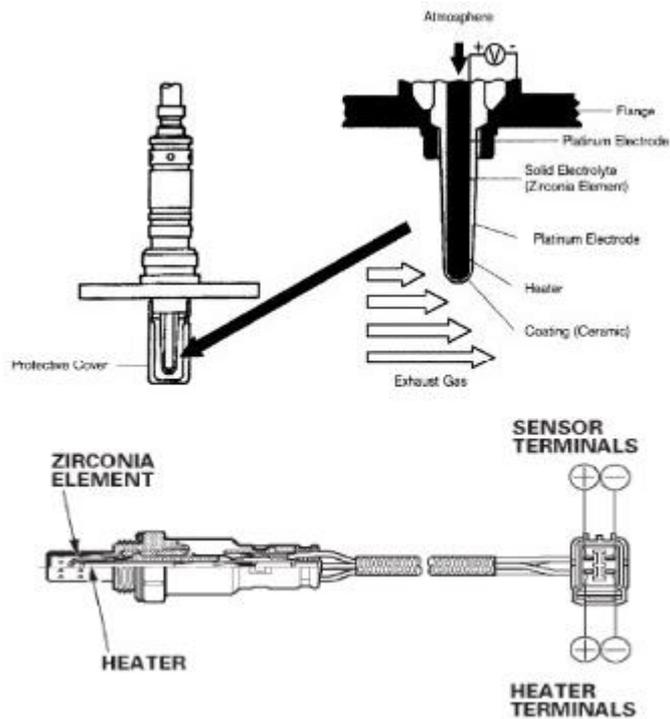
Saat ini ada 3 bahan material dasar yang digunakan untuk membuat pipa knalpot yaitu galvanis, stainless steel, dan titanium. Fungsi pipa knalpot / *exhaust pipe* adalah meneruskan kerja dari *exhaust manifold*, dimana gas sisa pembakaran akan dialirkan menuju ke dalam *exhaust pipe* atau pipa gas buang. *Exhaust pipe* bertugas sebagai penghubung antara *exhaust manifold* dengan setiap bagian knalpot

lainnya, untuk kelancaran pembuangan gas sisa pembakaran. Dalam kerjanya, Exhaust pipe terhubung dengan *catalytic converter* yang menyaring zat-zat berbahaya sebelum dilepaskan ke udara bebas, sehingga tidak terlalu beresiko bagi lingkungan.

#### **4. Sensor Oksigen (O<sub>2</sub>)**

Fungsi sensor oksigen adalah melakukan pendeteksian secara rinci terkait jumlah oksigen di dalam gas buang. Dari hasil deteksi tersebut, komponen ini akan mengirimkan sinyal ke bagian unit kontrol mesin atau disebut juga ECM. Unit kontrol akan mengatur campuran antara bahan bakar dengan udara ke tingkat paling optimal. Jadi pencampuran yang dihasilkan menjadi lebih tepat untuk mesin. Selain itu, fungsi lainnya adalah mengukur konsentrasi gas buang oksigen untuk pembakaran internal di dalam mobil.

Keberadaan komponen ini memang penting dalam kinerja mesin injeksi. Jika tidak dirawat secara berkala, bisa menyebabkan mobil injeksi tidak bisa hidup. Sebenarnya ada dua bagian oksigen sensor di dalam mobil. Ada *heater* dan juga bagian sensor itu sendiri. Tentu saja *heater* tersebut memiliki fungsi tersendiri, yakni pemanas pada oksigen sensor. Jadi saat panas dari heater mengenai bagian sensor, kinerja komponen tersebut bisa lebih cepat.



Gambar 2. 3 Konstruksi & Bagian Sensor Oksigen (O<sub>2</sub>)  
(Sudarno, 2015)

## 5. Gasket Knalpot

Gasket digunakan pada titik koneksi untuk membuat potongan-potongan sistem pembuangan yang mungkin tidak sejajar dengan sempurna. Mereka membantu mencegah gas dan suara keluar, dan dapat dibuat dari grafit, kertas, baja, atau tembaga.



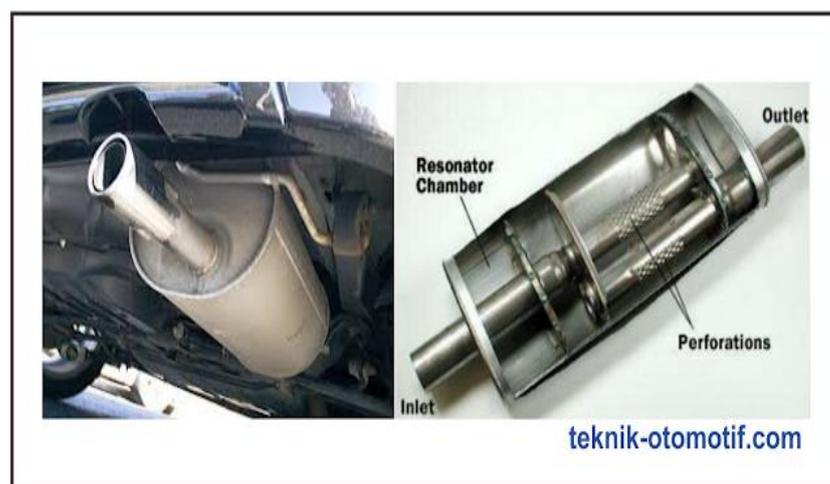
Gambar 2. 4 Gasket Knalpot  
(Teknisi Mobil, 2020)

## 6. Muffler

*Muffler* atau bisa disebut sebagai *silencer* pada sistem knalpot. Disebut *silencer* karena *muffler* sendiri merupakan perangkat untuk mengurangi jumlah suara yang dipancarkan oleh knalpot mesin pembakaran internal. Dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa *muffler* digunakan, untuk meredam suara yang dihasilkan oleh ledakan dalam ruang bakar mesin yang disalurkan melalui pipa *exhaust*.

Prinsip kerjanya sendiri dengan membalikan dan meredam sebagian dari gelombang suara melalui dinding-dinding *muffler*, sehingga gelombang tersebut akan saling meredam. Terdapat tiga jenis *muffler* untuk mendapatkan suara yang berbeda-beda yaitu, *chambered* (ruang pemisah atau pembatas), *straight through*, *twin pass double tail pipe*. Bahan material *muffler* sendiri terbuat dari bahan metal yang dibentuk sedemikian rupa, tanpa adanya kemampuan untuk menghasilkan gerakan, gesekan maupun getaran.

Dilihat dari bentuknya, *muffler* yang berbentuk tabung memiliki penempatan pada bagian ujung knalpot, dimana memiliki fungsi yang sama dengan resonator. Sehingga bisa dibilang bahwa kendala yang terjadi pada bagian ini sama dengan resonator. Pada *muffler* tabung, terdapat sekat-sekat yang bertujuan untuk membuat *back pressure* dan meredam suara.



Gambar 2. 5 *Muffler*  
(Juan, 2018)

## **2.4 Material Yang Digunakan Dalam Pembuatan *Muffler***

*Muffler* dengan diameter yang besar akan mengurangi kecepatan pembuangan, namun dapat memberikan ruang yang lebih besar untuk jumlah gas yang akan dibuang. Di sisi lain, diameter pipa yang kecil bisa menambah kecepatan serta mengurangi jumlah gas pembuangan. Selain ukurannya, knalpot pun memiliki bahan-bahan pembuat yang berbeda-beda. Komponen penyusunnya berpengaruh pada daya tahan serta kekuatan knalpot. Terdapat empat bahan pembuat knalpot yang sering ditemui, yakni *Stainless*, *Alumunized*, *Galvanis*, dan *Monel*. Berikut penjelasan dari ke-empat bahan tersebut:

### **1. *Stainless Steel***

*Stainless* sering juga disebut logam *alloy*. Bahan ini tersusun atas campuran baja, kromium, nikel, dan lainnya. Knalpot dari *stainless* cenderung tahan karat. Maka dari itu, harga knalpot *stainless* relatif mahal. Namun, knalpot yang ringan ini rentan panas dan bisa mengendapkan panas yang lebih besar dari material lainnya.

### **2. *Aluminized***

Dapat dibilang, kualitas bahan yang satu ini berada satu tingkat di bawah *stainless*. Material *aluminized* tersusun atas campuran besi dan *stainless*. Bahan ini sering juga disebut sebagai pipa ALC. *Aluminized* berpotensi untuk berkarat.

### **3. *Galvanis***

Dengan harga yang relatif murah, knalpot berbahan *galvanis* sering ditemui di pasar atau bengkel. Akan tetapi, material ini sangat mudah berkarat. Maka dari itu, daya tahan knalpot berbahan *galvanis* relative lebih singkat dari pada knalpot *aluminized*.

### **4. *Monel***

*Monel* adalah pipa campuran nikel, tembaga, sedikit besi, sulfur, dan unsur-unsur lainnya. Banyak yang bilang, knalpot berbahan *monel* harus sering dirawat/dibersihkan supaya tidak muncul bercak-bercak karat. Biasanya, *monel* adalah bahan yang dipakai oleh pabrik mobil untuk membuat knalpot baru lainnya.

## 2.5 Analysis of Variance (ANOVA)

Analysis of Variance (ANOVA) adalah sebuah analisis statistik yang menguji perbedaan rerata antar grup. Untuk pengujian kali ini penulis akan menggunakan Anova satu jalur (One Way – Anova) :

### 2.5.1 Anova satu jalur (One Way – Anova)

Anova jenis ini merupakan analistik statistik yang apabila variabel bebas dan variabel terikat jumlahnya satu.

$$F_{\text{hitung}} = \frac{V_A}{V_D} = \frac{KR_A}{KR_D} = \frac{JK_A / db_A}{JK_D / db_D} = \frac{\text{Varian antar grup}}{\text{Varian dalam grup}}$$

Varian dalam grup dapat juga disebut varian galat, dan dirumuskan sebagai :

$$JK_A = \sum \frac{(\sum X_{A_i})^2}{n_{A_i}} - \frac{(\sum X_T)^2}{N} \text{ untuk } db_A = A - 1$$

$$JK_D = \sum X_T^2 - \sum \frac{(\sum X_{A_i})^2}{n_{A_i}} \text{ untuk } db_D = N - A$$

di mana,

$$\frac{(\sum X_T)^2}{N} = \text{faktor koreksi}$$

N = Jumlah keseluruhan sampel

A = Jumlah keseluruhan grup sampel.

### 2.5.2 Langkah-langkah uji Anova satu jalur

1. Sebelum Anova dihitung, data harus bersifat random dalam pengambilannya, berdistribusi normal, dan memiliki varian homogen.
2. Tentukan hipotesis ( $H_a$  dan  $H_o$ ) dalam bentuk kalimat.
3. Tentukan hipotesis ( $H_a$  dan  $H_o$ ) dalam bentuk statistik.
4. Buat daftar statistik induk.
5. Hitung jumlah kuadrat antar grup ( $JK_A$ ) dengan rumus:

$$JK_A = \sum \frac{(\sum X_{A_i})^2}{n_{A_i}} - \frac{(\sum X_T)^2}{N} = \left( \frac{(\sum X_{A_1})^2}{n_{A_1}} + \frac{(\sum X_{A_2})^2}{n_{A_2}} + \frac{(\sum X_{A_3})^2}{n_{A_3}} \right) - \frac{(\sum X_T)^2}{N}$$

6. Hitung derajat bebas antar grup dengan rumus :  $db_A = A - 1$ .

7. Hitung kuadrat rerata antar grup (KRA) dengan rumus :  $KR_A = \frac{JK_A}{db_A}$
8. Hitung jumlah kuadrat dalam antar grup (JKD) dengan rumus :

$$JK_D = \sum X_T^2 - \sum \frac{(\sum X_{A_i})^2}{n_{A_i}} =$$

$$= (\sum X_{A_1}^2 + \sum X_{A_2}^2 + \sum X_{A_3}^2) - \left[ \frac{(\sum X_{A_1})^2}{n_{A_1}} + \frac{(\sum X_{A_2})^2}{n_{A_2}} + \frac{(\sum X_{A_3})^2}{n_{A_3}} \right]$$

9. Hitung derajat bebas dalam grup dengan rumus :  $dbD = N - A$  .
10. Hitung kuadrat rerata dalam grup ( $KR_D$ ),  $KR_D = \frac{JK_D}{db_D}$
11. Cari ( $F_{hitung}$ )  $F_{hitung} = \frac{V_A}{V_D} = \frac{KR_A}{KR_D} = \frac{JK_A/db_A}{JK_D/db_D} = \frac{\text{varian antar grup}}{\text{varian dalam grup}}$
12. Tentukan taraf signifikansi, ex :  $\alpha=0,05$  .
13. Cari ( $F_{tabel}$ ) dengan  $F_{tabel} = F(1-\alpha)(dbA,dbD)$ .
14. Tentukan kriteria pengujian : jika ( $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ ), maka tolak  $H_0$  (baca  $H_{nol}$ ).
15. Ambil kesimpulan.