

## PERBANDINGAN EMISI GAS BUANG MESIN BERTEKNOLOGI VVT-I DAN NON VVT-i

**Immanuel Munthe**

Program Studi Teknologi Industri Immanuel  
Immanuelmunthe10@gmail.com

### Abstrak

Tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah untuk mengetahui perbedaan emisi gas buang mesin berteknologi VVT-I dan non VVT-I dengan variasi putaran 1000 Rpm, 2000 Rpm, dan 3000 Rpm terhadap CO, AC, CO<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub>. VVT-I merupakan teknologi yang mengatur system kerja katup pemasukan bahan bakar secara elektronik, baik dalam hal waktu maupun ukuran buka tutup katup sesuai dengan ukuran putaran mesin sehingga menghasilkan tenaga yang optimal, hemat bahan bakar dan ramah lingkungan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan melakukan pengujian langsung dengan menggunakan alat yang telah disediakan dengan mencatat data yang diperoleh dari hasil pengujian serta melakukan pengamatan. Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah adanya perbandingan emisi gas buang mesin berteknologi VVT-i dan non VVT-i dimana dengan adanya system VVT-i emisi gas buangnya lebih sedikit dibanding dengan non VVT-i dengan variasi putaran 1000 rpm mempunyai perbedaan yaitu mesin non VVT-i terdapat CO = 0,26% vol, CO<sub>2</sub> = 0,8% vol, HC = 38 ppm dan pada O<sub>2</sub> = 21,13% vol. dan pada mesin VVT-i terdapat CO = 0,08% vol, CO<sub>2</sub> = 2,9 % vol, HC = 27 ppm, dan pada O<sub>2</sub> = 8,02 % vol. Pada putaran 2000 rpm mesin non VVT-i terdapat CO = 0,03% vol, CO<sub>2</sub> = 1,7% vol, HC = 30 ppm dan pada O<sub>2</sub> = 21,88% vol. dan pada mesin VVT-i terdapat CO = 0,08% vol, CO<sub>2</sub> = 4,2 % vol, HC = 21 ppm, dan pada O<sub>2</sub> = 8,5 % vol. Pada putaran 3000rpm mesin non VVT-i terdapat CO = 0,03% vol, CO<sub>2</sub> = 1,7% vol, HC = 30 ppm dan pada O<sub>2</sub> = 22,24% vol. dan pada mesin VVT-i terdapat CO = 0,009% vol, CO<sub>2</sub> = 3,19 % vol, HC = 22 ppm, dan pada O<sub>2</sub> = 9,7 % vol..dengan menggunakan system VVT-I kerja mesin lebih baik dan mengurangi polusi udara karena pemasukan di control oleh ECU melalui sensor yang diterima.

**Kata Kunci :** Sistem VVT-i dan Non VVT-I, Emisi gas buang

### 1. Pendahuluan

#### 1.1.Latar Belakang

Karena semakin tinggi permintaan pengguna kendaraan untuk memiliki mobil dengan mesin yang bertenaga namun tetap irit bahan bakar dan ramah lingkungan dan menipisnya bahan bakar fosil maka, pabri pembuat kendaraan menciptakan produk dengan semakin teknologi baru yang di kenal dengan nama *Variabel Valve Timing – Intelligent* atau lebih dikenal dengan sebutan VVT-i. merupakan teknologi yang mengatur sistem kerja katup pemasukan bahan bakar (intake) secara elektronik, baik dalam hal waktu maupun ukuran buka tutup katup sesuai dengan ukuran putaran mesin sehingga menghasilkan tenaga optimal, hemat bahan bakar dan ramah lingkungan, serta cara kerja yang cukup sederhana yaitu, untuk menghitung waktu buka tutup katup (*Vave Timing*) yang optimal, ECU (*Electronic Control Unit*) menyesuaikan dengan kecepatan mesin, volume udara masuk dan temperature udara agar target *valve timing* selalu tercapai, posisi *chamshaft* atau *crankshaft* memberikan sinyal sebagai respon koreksi. Sistem kerja VVT-i akan terus mengoreksi *valve timing* atau jalur keluar masuk bahan bakar dan udara, disesuaikan dengan pijakan pedal gas dan beban yang di tanggung demi menghasilkan torsi optimal disetiap putaran dan menghemat konsumsi bahan bakar minyak (BBM). Adopsi teknologi VVT-i pada mobil juga memberikan

kelebihan minimnya biaya pemeliharaan yang harus ditanggung oleh pengguna, sebab *tune up* seperti stel klep dan perangkat mesin lainnya tidak diperlukan lagi.

Dibanding dengan cara kerja mesin non VVT-i yaitu: waktu buka dan tutup katup isap selalu sama, baik saat mesin bekerja saat putaran rendah maupun tinggi. kondisi ini membuat mesin tidak bisa bekerja optimal dan efisien. pada saat mesin terjadi perlambatan mendadak putaran rendah mesin akan mbrebet sebaliknya, bila mesin melakukan percepatan kerja mesin pada putaran tinggi akan tersendat konsumsi bahan bakar juga boros.

Motor 4 langkah VVT-i dan non VVT-i dalam bekerjanya tetap terjadi proses pembakaran yang akan menimbulkan gas buang. Pemerintah telah menetapkan standar emisi gas buang terutama kota-kota besar yaitu: senyawa HC, CO, CO<sub>2</sub> dan senyawa NOX sedangkan emisi tidak terlalu ketat hanya mengukur 4 unsur dalam gas buang yaitu senyawa HC, CO, CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>.

#### 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, yang menjadi rumusan masalah adalah mengetahui perbedaan emisi gas buang mesin VVT-i dan mesin non VVT-i dengan variasi putaran 1000 Rpm, 2000Rpm dan 3000 Rpm terhadap CO, HC, CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> ?

**1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah mengetahui apakah ada perbedaan emisi gas buang yang di hasilkan mesin VVT-i dan non VVT-i dengan variasi putaran 1000 Rpm, 2000Rpm dan 3000 Rpm terhadap CO, HC, CO2 dan O2.

**1.4. Manfaat Penelitian**

Adapun mamfaat penelitian yang didapat yaitu mengetahui perbedaan emisi gas buang mesin VVT-i dan non VVT-i dengan variasi putaran 1000 Rpm, 2000Rpm dan 3000 Rpm terhadap CO, HC, CO2 dan O2.

**2. Tinjauan Pustaka**

**2.1. Mesin VVT-i**

Sistem VVT-i (variable valve timing intelligent) merupakan serangkaian peranti mengontrol penggerak camshaft yang diperkenalkan pada tahun 1996. Pada VVT-i ini bagian yang divariasikan adalah timing(waktu buka tutup) intake valve dengan merubah atau menggeser posisi intake camshaft terhadap puli camshaft drive. Fluida yang digunakan sebagai penggeak untuk menggeser posisi camshaft adalah oli mesin yang di berikan tekanan.

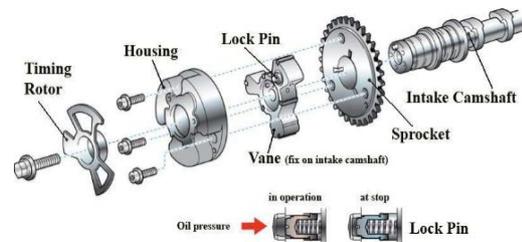
Jadi disini maksudnya puli pada intake camshaft adalah fleksibel,camshaftnya bisa di putar maju atau mundur. Gunanya untuk menyesuaikan waktu bukaan katup dengan kondisi mesin sehingga bisa didapat torsi optimal di setiap tingkat kecepatan, sekaligus menghemat bahan bakar dan mengurangi gas buang. Sedangkan pada mesin non-VVT-i , waktu buka dan tutup katup isap selalu sama, baik saat mesin bekerja pada putaran rendah, maupun tinggi. Kondisi seperti ini tentu saja membuat mesin tidak bisa bekerja optimal dan efisien, baik pada putaran rendah, maupun tinggi.

Bila salah satu diutamakan, misalnya putaran tinggi, seperti mesin balap jaman dulu, pada putaran rendah mesin akan tersendat.Selain itu konsumsi bahan bakar menjadi boros. Sebaliknya, bila hanya putaran rendah, kerja mesin pada putaran tinggi menjadi kurang maksimal (lit 2 hal 192-193)  
a. Prinsip Kerja VVT-i

Waktu bukaan camshaft bisa berfariasi pada rentang 60<sup>0</sup>.misalnya pada saat start kondisi mesin dingin dan mesin stasioner tanpa beban, timing dimunturkan 30<sup>0</sup>. Cara ini menghilangkan overlap yaitu peristiwa membukanya katup masuk dan klatup buang secara bersamaan di akhir langkah pembuangan karena katup masuk baru akan membuka beberapa saat setelah katup buang menutup penuh. Logikanya, pada kondisi ini mesin tidak perlu bekerja ekstra.Dengan tertutupnya katup buang, maka tidak ada bahan bakar yang terbuang saat terhisap keruang bakar.

Konsumsi bahan bakar jadi hemat dan mesin lebih ramah lingkungan. Sedangkan saat ada

beban, timing akan maju 30<sup>0</sup>overlapping akan meningkat. Tujuannya untuk membantu mendorong gas buang serta memanaskan campuran bahan bakar udara yang masuk.Untuk mewujudkannya ada VVT-i controller pada timing gear di intake camshaft. Alat ini terdiri atas housing(rumah), kemudian di dalamnya ada ruangan oli untuk menggerakkan vane atau baling baling itu terhubung dengan camshaft. Di dalamnya terdapat dua jalur oli menuju masing-masing ruang oli di dalam rumah VVT-i controller. Dari jalur oli yang berbeda inilah vane akan mengatur bukaan katup. (lit 2 hal 195-196)

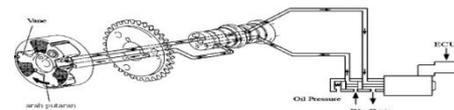


Gambar 1. Controller

Saat tekanan oli berhenti menekan pengontrol VVT-i, pen pengunci pengontrol VVT-i untuk mencegah suara pukulan udara antara vane dan bodi VVT-i.

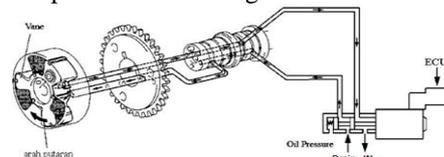
Pengoperasian:

1. Posisi advance timing maju Posisi advance timing maju di dapat dengan mengisi oli ke ruang belakang masing-masing vane, sehingga vane akan bergerak maju dan posisi timing pun ikut maju 3L,0 . Tekanan olinya sendiri di sediakan oleh camshaft timing oli control valve yang di atur oleh ECU(Elektronik Control Unit) mesin



Gambar 2. Pengontrol VVT-I Posisi Timing maju

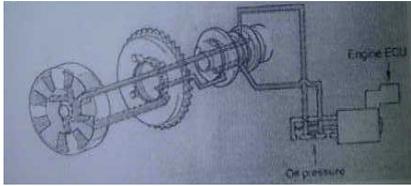
2. Posisi advance timing mundur Tekanan oli dialirkan ke belakang bodi VVT-i,dan tekanan di depan bodi VVT-i akan di dorong keluar dan kembali ke panic oli melalui saluran drain katup control oli timing camshaft.



Gambar 3. Pengontrol VVT-I Posisi Timing mundur

3. Posisi advance timing menahan Setelah mencapai targe timing katup, valve timing di tahan dengan menjaga camshaft timing oil control valve dalam posisi netral meskipun

status traveling berubah. Hal ini menyatel timing katup pada posisi target yang diinginkan dan mencegah oli mesin habis ketika oli tersebut tidak di perlukan



Gambar 4. Pengontrol VVT-I Posisi Timing menahan

Dari semua paparan di atas tujuannya Cuma satu, yaitu mendapatkan power torsi yang optimal di semua kondisi dan beban kerja tetap irit bahan bakar.

#### b. Komponen VVT-i

Komponen-komponen VVT-i terdiri dari beberapa komponen yaitu:

ECU (Elektronik Control Unit) merupakan perangkat yang bertugas menerima masukan dari sensor yang kemudian dikalkulasi untuk mencari kondisi optimum dan member perintah ke actuator untuk melakukan fungsinya. Misalnya memerintah injector menyemprotkan bahan bakar atau memerintah ignition coil untuk melepaskan listrik tegangan tinggi ke busi sehingga akan timbul bunga api.

Guna mengetahui berapa bahan bakar yang harus di semprot dan berapa derajat sebelum titik mati atas busi harus dinyalakan. ECU dilengkapi dengan data base yang lazim di kenal dengan engine mapping. ECU selalu membandingkan hasil masukian sensor dengan engine mapping untuk mengetahui apa yang harus di perintah kepada akulator.

#### c. Camshaft Position Sensor

Camshaft merupakan sebuah alat yang di gunakan dalam mesin torak untuk menjalankan valve. Cam membuka katup dengan menekannya atau dengan mekanisme lainnya ketika berputar. Camshaft position sensor (CPS) berguna untuk mengetahui kedudukan camshaft. Jika ada perubahan beban mesin atau perubahan putaran mesin yang semuanya diolah oleh ECU dan dihitung untuk mendapatkan sebesar mungkin efisiensi volumetrik, dari perhitungan ECU ini di dapatkan kedudukan camshaft yang harus diubah. ECU ini akan memerintahkan modul VVT-i untuk merubah kedudukan camshaft.

Setelah modul VVT-i menerima perintah dari ECU untuk mmengubah kedudukan camshaft, maka modul VVT-i akan mengirimkan signal ke OCV (*oil control valve*) untuk mengatur tekanan oli yang akan di teruskan ke sprocket. Dengan adanya

perubahan tekanan oli yang di lakukan oleh OCV ini sampai ke spoket, maka sprocket akan berubah posisinya, karna sprocket itu menjadi satu dengan camshaft maka camshaft akan berubah posisinya sesuai yang diinginkan oleh ECU .kedudukan camshaft yang baru ini di deteksi oleh CPS dan signalnya di kirimkan ke ECU sebagai update. Kedudukan camshaft ini akan menentukan timing dari valve.

#### d. Camshaft Timing Oil Control Valve

Camshaft timing oil control valve mengendalikan posisi spool valve berdasarkan sinyal yang di kirim ECU hingga mengalokasikan tekanan oli ke VVT-i controller untuk sisi maju dan sisi mundur. Ketika mesin berhenti, camshaft timing oil control valve berada dalam sisi mundur.

#### e. Crankshaft Position Sensor

Sensor ini memberitahu ECU kecepatan putaran mesin dengan tepat. Pada sisitem penyemprotan bahan bakar, sensor ini juga memberitahu ECU waktu yang tepat untuk menyemprotkan bahan bakar yang kemudian di teruskan ke fuel injector.

## 2.2. Catalytic Converter

Catalytic converter merupakan salah satu inovasi terbesar di industry otomotif. Peralatnya, peranti ini mampu mengubah zat-zat hasil pembakaran seperti hydrocarbon (HC), karbonoksida (CO) menjadi zat yang lebih ramah lingkungan. Catalytic converter punya umur, yang bila tiba waktunya harus dig anti. Catalytic converter berfungsi untuk menyaring berbagai racun yang di akibatkan dari hasil pembakaran (CO, HC, Nox dan timbal) yang di timbulkan karena kondisi mesin yang tidak sempurna bisa dari pengapian, teknologi kompresi dan kebocoran air atau oli dari saluran dalam mesin. Penyebab catalytic converter kotor adalah karena pemakaian bensin bertimbel, karena tibel pembawa gas buang dan menyangkut dalam catalytic converter.

Kinerja catalytic converter lebih maksimal dalam menangkap racun karena sensor O<sub>2</sub>. Kerja sensor O<sub>2</sub> mengirim data ke ECU untuk mengoreksi O<sub>2</sub> yang di terimacatalyti converter. Jika data yang di terima ECU kurang bensin maka ECU akan memerintahkan injector menambah debit semprotanya begitu juga sebaliknya sampai di dapat campuran ideal antara bensin dan udara. Catalytic converter yang kotor juga menyebabkan kerja sensor oksigen tidak maksimal, menyebabkan bensin dan udara tidak seimbang.

## 2.3. Mesin Non VVT-i

Pada mesin non VVT-i digunakan juga sistim EFI (*Elektronik Fuel Injection*) untuk menjamin perbandingan udara dan bensin yang sebenarnya pada mesin oleh peralatan elektrik yang bisa mendeteksi berbagai kondisi.

EFI mempunyai dua peralatan untuk

mengatur volume udara masuk dan mengukur bahan bakar yang dideteksinya. Volume udara masuk diukur oleh sebuah sensor diteruskan ke computer kemudian computer memindahkan sinyal ke injector injector yang diletakkan pada masing masing silinder dimana pada injector-injektor sudah siap sejumlah bahan bakar yang bertekanan dari pompa bahan bakar. Pada saat start campuran akan di deteksi oleh sinyal dari motor stater, dan sementara motor stater berputar campuran kaya. Disini juga dilengkapi dengan injection valve yang bekerja hanya pada waktu temperature rendah untuk memperbanyak volume injeksi. Pada saat temperature rendah temperature air pendingin diukur oleh sensor untuk mendeteksi kondisi pada temperature rendah. Sensor mempunyai sebuah termister yang mempunyai tahanan yang dapat bervariasi tergantung dari temperature pendingin. Temperature pendingin dipindahkan ke sinyal elektrik dan dikirim ke computer dengan sinyal ini maka computer akan memperkaya campuran udara dan bahan bakar. Mesin dengan beban yang berlebihan ditentukan oleh pembukaan katup trotel dan ini akan dipindahkan ke sinyal elektrik. Pada saat pembukaan katup trotel bertambah maka volume injeksi bertambah.

#### a. Tipe - Tipe EFI

##### 1. D-EFI (*Speed Density Control Tipe*)

D-EFI merupakan sebuah kata yang dikombinasikan dari kata Jerman "Druck" (Tekanan) dan jetronik, yang biasanya disebut oleh Bosche "Injeksi". Pada tipe ini mengukur kevakuman didalam intake manifold dan menyensor volume udara yang berdasarkan kepekatan udara. Tetapi karena tekanan dan volume udara dalam saluran udara masuk tidak tepat ukurannya, maka ketepatan pendetksiannya lebih rendah bila dibandingkan dengan tipe L-EFI.

##### 2. L-EFI (*Mass Flow Control Tipe*)

L-EFI diambil dari kata L- jetronic, 'L' diambil dari kata Jerman "Luft yang berarti udara. Pada tipe ini air flow meter mengontrol langsung jumlah udara masuk lebih dari pada D-EFI dan pengontrolan campuran lebih presisi

#### b. Komponen Dasar EFI

Setiap jenis atau model motor mempunyai desain masing masing namun secara garis besar sama dan terdapat komponen-komponen sebagai berikut

- 1) ECU (*Elektronik Control Unit*)
- 2) Fuel pump
- 3) Pressure regulator
- 4) Temperature sensor
- 5) Inlet Air temperature sensor
- 6) Inlet air pressure sensor
- 7) Camshaft sensor
- 8) Throttle sensor

## 2.4. Emisi Gas Buang

Macam, sistem dan pengaruh gas buang terhadap manusia, seperti sudah diterangkan dari bahwa dari bermacam -macam gas buang yang sering dipersoalkan adalah CO, HC, dan NOX, dari ke 3 macam ini tentang sifatnya. Sebab-sebab terjadinya maupun pengaruh keburukannya seperti diterangkan dibawah ini.

### 1. Sebab-Sebab Timbulnya CO, HC Dan NOX

#### a. CO (Carbon Monoksida)

Sifat-sifat CO adalah zat gastidak berwarna tidak berbau, tidak mudah larut dalam air, Perbandingan berat terhadap udara (1 atm<sup>c</sup>) 0,967, di dalam udara bila diberikan api akan terbakar dengan mengeluarkan asap biru dan menjadi CO<sub>2</sub> (carbon dioksida).

Sumber utama dalam udara adalah terutama tempat sumbernya adalah pada kendaraan disaat idling. Efek buruk yang ditimbulkan adalah akan bercampur dengan hemologen yang terdapat dalam darah menjadi carbon oxida hemologen (CO-Hb), dengan tambahannya CO-Hb fungsi pengalir oksigen dalam darah akan terhalang dan didalam darah bila terdapat CO-Hb 5% (dalam udara CO 40 ppm) akan menimbulkan keracunan dalam darah. (lit 4 hal 9-13)

Bila carbon didalam bahan bakar terbakar habis dengan sempurna maka terjadilah reaksi sebagai berikut:



Dalam proses ini, yang terjadi adalah CO<sub>2</sub>. Apa bila unsur-unsur oksigen (udara) tidak cukup akan terjadi proses pembakaran tidak sempurna sehingga carbon di dalam bahan bakar terbakar dalam suatu proses sebagai berikut.



Pada kenyataannya gas CO yang di keluarkan oleh mesin kendaraan banyak di pengaruhi oleh perbandingan campuran dari jumlah supply antara udara dengan bahan bakar yang di isap oleh mesin (A/F). Jadi untuk mengfurangi CO, perbandingan campuran ini harus di buat kuno (Exsee Air), tetapi akibat lain HC dan Nox lebih mudah timbul serta output mesinpun akan menjdi kurang.

#### b. HC (Hidrokarbon)

Sifat-sifat HC adalah Sebutan zat yang merupakan ikatan kimia hanya dari carbon (C) dan hydrocarbon (H) saja, bentuk kimianya dibentuk menjdi parafine, naftalin, olefine, dan aromatic N<sub>2</sub>O karena tidak aktip, tidak menjadi persoalan.

Sumber utama dalam udara adalah gas buang dari kendaraan atau macam-macam alat pembakaran, dan lain-lainnya seperti refining oil

(pengilangan minyak) karena pemakaian pelarut.

Efek buruk yang ditimbulkan adalah bila kepekatan HCnya bertambah tinggi akan merusak sistem pernapasan manusia (tenggorokan) terutama yang beracun adalah benzena dan toluena, hidrocarbon aktif seperti susunan (olifine dan sebagainya) akan menyebabkan photo chemical smoke. Smoke yang dimaksud disini adalah suatu kumpulan gugusan antara CO, HC dan N<sub>2</sub> yang bila terkena sinar matahari akan menimbulkan mata pedas dan dari jenis aromatic ada juga yang menyebabkan timbulnya kanker.

Dari gas buang HC dibagi 2 yaitu; bahan bakar tidak terbakar dan keluar menjadi gas mentah, bahan bakar terpecah karena reaksi panas berubah menjadi gugusan HC yang lain, yang keluar bersama gas buang.

Di bawah ini adalah sebab-sebab utama timbulnya HC

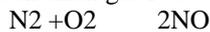
- Sekitar dinding-dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah di mana temperatur itu tidak mampu melakukan pembakaran
- Missing (missfire).
- Adanya overlap intake valve (kedua valve sama-sama terbuka), jadi merupakan gas pembilas/pembersih.
- NOX (Nitrogen Oksida)

Sifat-sifat NOX adalah terutama berbentuk NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O. NO zat gas yang berwarna tidak berbau sulit larut dalam air dan dalam udara karena gesekan menjadi NO<sub>2</sub>. NO<sub>2</sub> zat gas yang berwarna agak kemerahan dan sedikit berbau, mudah larut dalam air, bereaksi dalam air menjadi nitrit atau nitrat.

Sumber utama dalam udara adalah gas buang dari mobil, gas-gas yang timbul dari pabrik kimia serta gas-gas bakar yang timbul dari bermacam-macam alat dalam pembakaran.

Efek buruk yang ditimbulkan adalah NO<sub>2</sub> akan membuat sakit (merangsang) hidung dan tenggorokan dari sifat beracunnya akan menimbulkan sulit tidur, batuk-batuk dan sebagai gabungan zat nitrogen menyebabkan problem utama timbulnya photo chemical smoke.

Bila terdapat unsur-unsur N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada temperatur 1800- 2000°C akan terjadi reaksi pembentukan gas NO seperti di bawah ini;



Gas NO ini bila dalam udara mudah berubah menjadi NO<sub>2</sub>, dalam ruang pembakaran pada mesin karena temperatur pembakaran dalam akan melebihi 2000 °C. Maka gas NO akan terbentuk. NOx di dalam gas terbuang terdiri 95%, NO<sub>2</sub>, 3-4% NO<sub>2</sub> dan sisanya N<sub>2</sub>, O, N<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> dan sebagainya.

#### b. Hal-Hal Untuk Mengurangi Pengaruh Timbulnya Gas Buang

Ber macam macam cara untuk mengurangi timbulnya CO, HC, Nox misalnya, cara

berkendaraan maupun kondisi mesin itu sendiri dan sebagainya. Di sini akan diterangkan hanya yang berhubungan dengan mesin saja. Berikut ini disebutkan berbagai macam hasil macam hasil riset tentang gas buang yang disimpulkan dibawah ini faktor utama yang dimaksudkan terdahulu secara sederhana.

#### c. Pemakaian campuran kurus

Hubungan antara campuran dengan kadar CO, HC dan Nox dari gas buang. Mesin mesin pada umumnya mempunyai campuran sekitar 14;1 meskipun 15 ; 1 adalah campuran ideal. bila campuran ini lebih kurus lagi dari 14;1, maka kadar CO dan HC akan berkurang, tetapi NOx akan bertambah, serta output mesinpun akan turun.

#### d. Memperlambat saat pembakaran (Ignition timing) / sudutnya.

Saat pembakaran bila diperlambat dari kondisi pertamanya. Maka hasil HC, Nox-nya akan berkurang. HC karena dengan memperlambat timing pengapian temperatur pembuangan menjadi tinggi yang menjadikan HC terbakar lebih baik lagi pada sistem pembuangan (*exhaust port, exhaust manifold*, dan sebagainya). Nox berkurang karena dengan memperlambat timing pengapian menjadi kecepatan pembakaran berkurang pembakaran lebih rendah.

#### e. Mempertinggi putaran mesin

Dengan mempertinggi putaran mesin. Pengabutan bahan bakar menjadi lebih baik, yang berarti distribusi ke tiap silinderpun menjadi lebih baik, menyebabkan kondisi pembakarannya menjadi sempurna serta kadar HC pun menjadi lebih sedikit, tetapi karena temperatur pembakaran bertendensi meninggi maka kadar Nox akan naik.

#### f. Memperbesar engine load.

Dengan memperbesar beban mesin, temperatur pembakaran akan terjadi, yang menyebabkan Nox bertambah. Pada keadaan seperti ini karena pembakaran menjadi lebih baik HC akan berkurang, tetapi biasanya bila beban menjadi lebih besar dipakai campuran bahan bakar yang lebih gemuk, yang menyebabkan penurunan kadar HC menjadi relatif kecil.

#### g. Memperbesar compression ratio mesin

Jika luas permukaan ruang bakar di sebut S dan volumenya V, maka membesarnya nilai S/V, menyebabkan meningkatnya lapisan yang bertemperatur rendah pada dinding ruang pembakaran, karenanya kadar HC akan bertambah besar. bila compression ratio dan s/v dibuat bahwa bila perbandingan kompresi naik maka HC akan naik. Juga bila perbandingan kompresi diperbesar maka akan menghasilkan energi ledakan yang besar. Sehingga pembakaran akan terjadi pada temperatur yang tinggi dan Nox bertambah.

### 2.5. Efisiensi Pembakaran

Mesin bensin modern memiliki efisiensi rata-rata sekitar 25 sampai 30% bila digunakan

untuk daya mesin. Dengan kata lain, dari energi panas total bensin, 70 sampai 75% ditolak (sebagai panas) di knalpot atau dikonsumsi oleh motor (gesekan, turbulensi udara, panas melalui dinding silinder atau kepala silinder, dan bekerja digunakan untuk menghidupkan mesin peralatan dan peralatan seperti pompa air dan minyak generator listrik), dan hanya sekitar 25% dari energi bergerak kendaraan. Pada saat mesin dalam keadaan mati maka efisiensinya adalah nol karena tidak ada proses pembakaran didalam ruang bakar. Pada kecepatan lambat (yaitu output daya rendah) efisiensi jauh lebih rendah dari pada rata-rata, karena persentase lebih besar dari panas yang tersedia diserap oleh bagian-bagian logam mesin, bukannya dilakukan untuk pekerjaan yang bermanfaat. Mesin bensin juga menderita kerugian efisiensi pada kecepatan rendah dari turbulensi tinggi dan kehilangan kepala saat udara masuk harus berjuang jalan sekitar throttle hampir tertutup; mesin diesel tidak menderita kerugian ini karena udara yang masuk tidak mencekik. Meningkatkan efisiensi mesin jauh pada kecepatan jalan terbuka, melainkan puncak dalam sebagian besar aplikasi disekitar 75% dari tenaga mesin dinilai, yang juga kisaran torsi mesin terbesar (misalnya dalam ford focus 2007, torsi maksimum 133 kaki pon adalah diperoleh pada 4500 RPM, dan tenaga mesin maksimum tenaga kuda 136 brake horse power (101KW) diperoleh pada 6000 RPM.

**3. Metode Penelitian**

**3.1. Bahan Dan Peralatan**

a. Bahan

Dalam melaksanakan penelitian. Adapun bahan yang perlu digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. 2 unit mobil Toyota avanza VVT-I dan non VVT-i

Tabel 1. Data Spesifikasi Mobil Toyota Avanza VVT-i

Jenis Mobil	Toyota Avanza VVT – i
Jenis/ Tipe mesin	Mesin bensin K3-VE VVT-I DOHC
Kapasitas Silinder	1298 Cm <sup>3</sup>
Daya Maksimum	92 PS @ 6000 Rpm / 67.712 Kw @6000
Torsi Maksimum	12.2 Kg @ 4.400 / 119 N.m @ 4.400 Rpm
Diameter x Langkah	72 mm x 79.7 mm
Sistim Bahan Bakar	EFI
Jumlah Silinder	4 buah Segaris
Jumlah Katup	16 Katup
Rasio Kompresi	11 : 1

Tabel 2. Data Spesifikasi Toyota Avanza Non VVT-i

Jenis Mobil	Toyota Avanza non VVT – i
Jenis/ Tipe mesin	Mesin bensin K3-VE DOHC
Kapasitas Silinder	1298 Cm <sup>3</sup>
Daya Maksimum	86 PS @ 6000 Rpm / 63.296 Kw @6000
Torsi Maksimum	11.9 Kg @ 3.200 / 107 N.m @ 3.200 Rpm
Diameter x Langkah	72 mm x 79.7 mm
Sistim Bahan Bakar	EFI
Jumlah Silinder	4 buah Segaris
Jumlah Katup	8 Katup
Rasio Kompresi	11 : 1

**b. Peralatan**

Pada penelian, perlu di gunakan peralatan yang di gunakan untuk melaksanakan penelitian pada emisi gas buang VVT-I dan non VVT-I adalah Auto gas analyzer adalah alat uji emisi gas buang kendaraan yang berbahan bakar bensin.

**3.3. Rancangan**

Sebelum melakukan penelitian, terlebih dahulu mempersiapkan tabel rancangan penelitian yang akan di teliti. Adapun tabel rancangannya adalah sebagai berikut:

a. Variabel Yang Mempengaruhi

- 1. Sistim non VVT-i
- 2. Sistim VVT-i
- 3. Putaran mesin

b. Variabel Yang Di Pengaruhi

- 1. CO (Karbon monoksida)
- 2. CO2 (Karbon dioksida)
- 3. O2 ( Oksigen )
- 4. HC (Hidro carbon)

**3.4. Pelaksanaan Penelitian**

Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada mobil Toyota Avanza adalah sebagai berikut:

- 1. Menempatkan kendaraan di tempat yang aman, kemudian mempersiapkan alat uji gas buang (gas analyzer)
- 2. Menghidupkan mesin dengan putaran 1000 Rpm
- 3. Mengaktifkan alat uji gas buang
- 4. Menekan tombol power pada gas analyzer, kemudian menunggu sekitar 2 menit agar alat dapat digunakan
- 5. Memasukkan ujung dari alat uji pada ujung knalpot kurang lebih 50 cm.
- 6. Menekan enter pada alat uji kemudian tunggu sekitar 2 menit agar gas buang masuk ke selang menuju alat uji gas buang.
- 7. Menekan tombol menu maka akan muncul data, tekan 3 untuk mengeprint kemudian tekan tombol 4 untuk print last page
- 8. Kemudian tekan enter untuk mengeluarkan kertas data print emisi gas buang
- 9. Begitulah seterusnya cara melakukan kegiatan penelitian emisi gas buang dengan menggunakan alat tersebut dari kelipatan 1000 Rpm sampai putaran 3000 Rpm

**4. Hasil dan Pembahasan**

**4.1. Hasil Penelitian**

Setelah melaksanakan penelitian perbandingan emisi gas buang maka di peroleh data sebagai berikut :

a. Hasil Penelitian Mesin VVT-i

Tabel 3. Hasil Pengujian Mesin VVT-i

Percobaan	Putaran mesin (Rpm)	Kandungan Emisi gas buang Mesin non VVT-i			
		CO (%)	CO2 (%)	HC (ppm)	O2 (%)
1	1000	0,26	0,8	38	21,13
2	2000	0,03	1,7	30	21,88
3	3000	0,03	1,7	30	22,24

b. Hasil Penelitian Mesin Non VVT-i

Tabel 4. Hasil Pengujian Mesin Non VVT-i

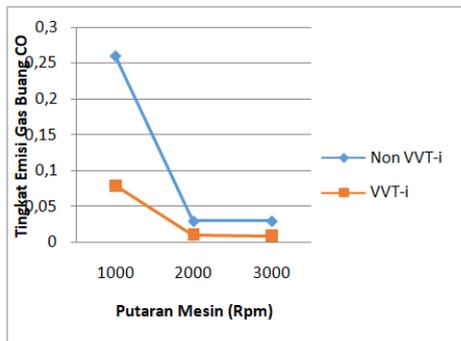
Percobaan	Putaran mesin (Rpm)	Kandungan Emisi gas buang Mesin non VVT-i			
		CO (%)	CO2 (%)	HC (ppm)	O2 (%)
1	1000	0,26	0,8	38	21,13
2	2000	0,03	1,7	30	21,88
3	3000	0,03	1,7	30	22,24

4.2. Pembahasan

a. Emisi Gas CO (% vol)

Tabel 5. Emisi Gas Buang CO (% vol)

Putaran mesin (Rpm)	Gas buang CO mesin VVT-i	Gas buang CO mesin non VVT-i
1000	0,08	0,26
2000	0,011	0,03
3000	0,009	0,03



Gambar 5. Hubungan Antara Putaran Mesin Dengan Kandungan Emisi Gas Buang CO

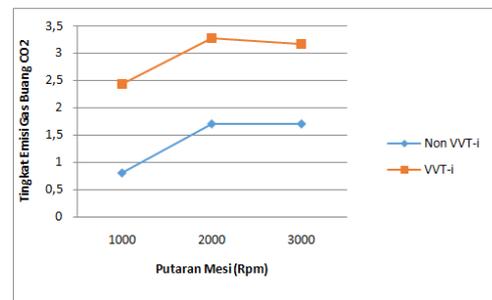
Dari grafik dapat dijelaskan atau diperhatikan perbandingan antara sistem VVT-I dan non VVT-I terhadap tingkat emisi gas buang CO sesuai dengan putaran mesin (Rpm) yaitu bahwa dengan sistem VVT-I nilainya lebih rendah dibanding dengan sistem non VVT-I . Sebagai contoh jika dilihat dari grafik pada putaran 1000 Rpm tingkat emisi gas buang yang di hasilkan non VVT-I adalah sebesar 0,26 % vol, sedangkan tingkat emisi gas dengan sistem VVT-I sebesar 0,08 % vol.penggunaan sistem VVT-I untuk meningkatkan kerja katup, hasil pembakaran pada ruang bakar akan lebih sempurna, gas buang yang di keluarkan lebih baik dibanding mesin non VVT-I

mengeluarkan emisi gas buang yang lebih tinggi dan menciptakan polusi udara. Dimana pada mesin non VVT-I diatur melalu kerja mesin langsung, bahan bakar yang masuk tidak dapat dioptimalkan. Proses pemasukan bahan bakar ke dalam ruang silinder kurang baik, dimana banaknya bahan bakar yang masuk tidak sesuai dengan kerja mesin sehingga terjadi pemakaian bahan bakar yang sia-sia.

b. Emisi Gas Buang CO2 (% vol)

Tabel 6. Emisi Gas buang CO2

Putaran mesin (Rpm)	Gas buang CO2 mesin VVT-i	Gas buang CO2 mesin non VVT-i
1000	2,9	0,8
2000	4,2	1,7
3000	3,19	1,7



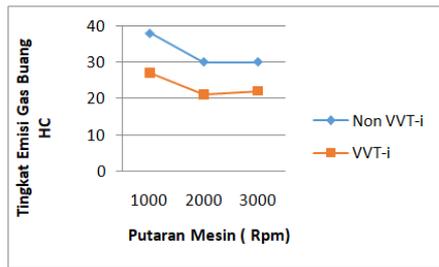
Gambar 6. Hubungan Antara Putaran Mesin Dengan Tingkat Emisi Gas Buang CO2

Dari grafik dapat dijelaskan atau diperhatikan perbandingan antara sistem VVT-I dan non VVT-I terhadap tingkat emisi gas buang CO2 sesuai dengan putaran mesin (Rpm) yaitu bahwa dengan penggunaan sistem VVT-i lebih tinggi dibanding non VVT-i .sehingga sangat lebih baik digunakan emisi gas buang yang dihasilkan lebih baik ,hasil pembakaran pada ruang bakar akan lebih sempurna. Sehingga bahan bakar tersebut dapat lebih mudah untuk mengikat udara pada saat pengabutan di ruang bakar. Sebagai contoh yaitu pada putaran 1000 Rpm tingkat emisi gas buang non VVT-I adalah sebesar 0,8 % vol, sedangkan tingkat emisi gas buang menggunakan sistim VVT-I sebesar 2,9% vol

c. Emisi Gas Buang HC (ppm vol)

Tabel 7. Emisi gas buang HC

Putaran mesin (Rpm)	Gas buang HC mesin VVT-i	Gas buang HC mesin non VVT-i
1000	27	38
2000	21	30
3000	22	30



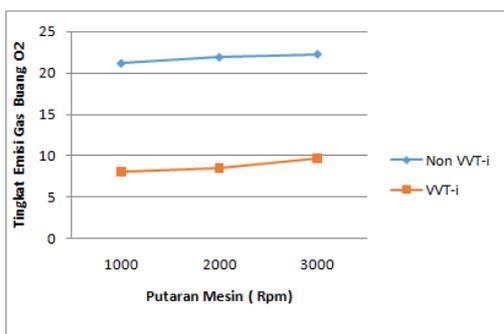
Gambar 7. Hubungan Antara Putaran Mesin Dengan Tingkat Emisi Gas Buang HC

Dari grafik dapat dijelaskan atau diperhatikan perbandingan antara sistem VVT-I dan non VVT-I terhadap tingkat emisi gas buang CO sesuai dengan putaran mesin (Rpm) yaitu bahwa dengan sistem VVT-I pengeluaran gas buang HC nilainya lebih rendah dibanding dengan non VVT-i. sama halnya dengan emisi gas buang lainnya bahwa penggunaan sistem VVT-I untuk meningkatkan kerja katup, hasil pembakaran pada ruang bakar akan lebih sempurna, gas buang yang di keluarkan lebih baik, disamping itu dapat juga mengurangi produk hidrokarbon yang tidak terbakar. Artinya panas yang di hasilkan akibat pembakaran tercapai sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna. Sebagai contoh yaitu pada putaran 1000 Rpm tingkat emisi gas buang non VVT-I adalah sebesar 38 ppm, sedangkan tingkat emisi gas buang menggunakan sistim VVT-i sebesar 28 ppm.

d. Emisi Gas Buang O2 (% vol)

Tabel 8. Emisi Gas Buang O2

Putaran mesin (Rpm)	Gas buang O2 mesin VVT-i	Gas buang O2 mesin non VVT-i
1000	8,02	21,13
2000	8,5	21,58
3000	9,7	22,24



Gambar 8. Hubungan Antara Putaran Mesin Dengan Tingkat Emisi Gas Buang O2.

Dari grafik dapat dijelaskan atau diperhatikan perbandingan antara sistem VVT-I dan non VVT-I terhadap tingkat emisi gas buang CO sesuai dengan putaran mesin (Rpm). Yaitu dengan

percobaan yang dilakukan dngan menggunakan sistim VVT-I, pengeluaran gas O2 nilainya lebih tinggi pada putaran 1000 Rpm dibanding dengan non VVT-I Sistim penggunaan sistem VVT-I untuk meningkatkan kerja katup, hasil pembakaran pada ruang bakar akan lebih sempurna dapat menurunkan kadar emisi gas buang sehingga bahan bakar tersebut dapat lebih mudah untuk mengikat udara pada saat pengabutan di ruang bakar. Artinya proses pembakaran menggunakan sistim VVT-I dapat menghasilkan gas buang yang ramah lingkungan.

5. Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian tentang Perbandingan Emisi Gas Buang Mesin VVT-i dan non VVT-i , Maka peneliti menyimpulkan:

- Adanya perbandingan emisi gas buang mesin berteknologi VVT-i dan non VVT-i dimana dengan adanya system VVT-i emisi gas buangnya lebih sedikit dibanding dengan non VVT-I dengan variasi putaran 1000 rpm mempunyai perbedaan sebagai berikut :
  - mesin non VVT-i terdapat CO = 0,26% vol, CO2 = 0.8% vol, HC = 38 ppm dan pada O2 = 21,13% vol. dan pada mesin VVT-i terdapat CO = 0,08% vol, CO2 = 2,9 % vol, HC =27 ppm, dan pada O2 = 8,02 % vol.
  - Pada putaran 2000 rpm mesin non VVT-i terdapat CO = 0,03% vol, CO2 = 1,7% vol, HC = 30 ppm dan pada O2 = 21,88% vol. dan pada mesin VVT-i terdapat CO = 0,08% vol, CO2 = 4,2 % vol, HC = 21 ppm, dan pada O2 = 8,5 % vol.
  - Pada putaran 3000rpm mesin non VVT-i terdapat CO = 0,03% vol, CO2 = 1,7% vol, HC = 30 ppm dan pada O2 = 22,24% vol. dan pada mesin VVT-i terdapat CO = 0,009% vol, CO2 = 3,19 % vol, HC = 22 ppm, dan pada O2 = 9,7 % volt
- Dari hasil keterangan diatas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa emisi gas buang mesin berteknologi VVT-i lebih sedikit dibandingkan dengan mesin non VVT-i dan ramah lingkungan.

Daftar Pustaka

[1] Drs. M. Suratmandan Ir. Ohan Juhana, 2001, Servis dan Reparasi Auto Mobil. Bandung: Pustaka Grafika  
 [2] Toyota, 2006, Step 2, Jakarta: PT. Toyota Astra Motor  
 BPM. Arendan H. Berenschot, 1996, Motor bensin, Jakarta: Penerbit Erlangga  
 [3] Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Motor Lama Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 5 witoelar R.2006

- [4] Design Motor Bakar Bensin Untuk Mencapai Persyaratan Standart Polusi : [http: www. Crushlite.PetraHc.AD](http://www.Crushlite.PetraHc.AD) 28 Desember 2005
- [5] PT.Toyota Astra Motor Trening Center Astra mobil.[www/hut.jakarta.1998,step](http://www/hut.jakarta.1998,step) 2
- [6] PT. Toyota Astra Motor Materi Pelajaran/Engine Group Step 2
- [7] WirantoArismunandar 1988,Pengerak Motor BakarTorakEdisi 3 Penerbit ITB Bandung