

# Desain Motor Bakar Bensin Untuk Mencapai Persyaratan Standar Polusi Dan Penghematan Bahan Bakar

Hendrata Suhada

Dosen Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin - Universitas Kristen Petra

## Abstrak

Ekonomis atau tidaknya suatu kendaraan bermotor dapat diukur dari banyaknya bahan bakar yang dipakai untuk mengoperasikan kendaraan tersebut. Setiap pemakai tentunya mengharapkan dapat memiliki kendaraan yang hemat bahan bakar. Pengoperasian kendaraan biasanya tidak akan mencapai hasil yang sama untuk segala kondisi operasi, misalnya operasi kendaraan pada kecepatan penuh sangat berbeda dengan kendaraan yang dioperasikan di dalam kota yang sering berhenti. Hal ini sangat menentukan pemakaian bahan bakar. Pengaturan pencampuran dan masuknya bahan bakar ke dalam silinder perlu dibedakan, antara operasi beban penuh dan operasi beban rendah atau menengah.

Keadaan lingkungan yang makin menguatirkan, disebabkan oleh polusi udara dari kendaraan bermotor, mewajibkan para perencana dan produsen kendaraan bermotor untuk memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh pemerintah dan lembaga pengawas lingkungan. Standar yang disusun menuju pada suatu kondisi di mana kadar komponen-komponen gas buang yang beracun dan membahayakan kesehatan manusia, dibuat seminimal mungkin dan diusahakan mendekati nol.

Agar tuntutan tersebut dapat dipenuhi, telah banyak dilakukan perubahan desain kendaraan bermotor. Beberapa contoh di antaranya yaitu menggunakan material yang lebih ringan, mengganti sistem penyemprotan bahan bakar, mengubah ketinggian pembukaan katup silinder dan waktu mulai buka dan lamanya pembukaan.

Kata kunci: motor bensin, katalisator, katup silinder

## Abstract

*Fuel consumption of an engine is one of the most important factors for a car, the economy of a car is determined by the engine thirst. Every car driver expects to drive a car with less consumption. Differences in how a car is operated, make a different in result too, car used with maximum power and full speed for longer run is not the same as using it for city drive, which might have to make a lot of car stop. Such drive conditions will effect the fuel consumption. Control of the mixture and the timing to inject the fuel between full load and low running load or idle should be different.*

*Because of the pollution which create more and more problem, especially from car's engine, government and environment controller have instructed designer and manufacturer of cars to commit the regulation regarding air pollution. Standard have been design to reach the condition where the components of pollutant should be minimized until it reach a zero level.*

*To meet that expectation, a lot of changes have been made in the past until now, such as the use of light material, different type of fuel injection, using variable control of valve lift and valve timing.*

*Keywords: petrol engine, catalyst, cylinder valve.*

## 1. Pendahuluan

Menjelang makin menipisnya cadangan minyak bumi di dunia, maka perlu dipikirkan cara-cara untuk menghemat pemakaiannya. Dalam mengatasi penggunaan bahan bakar minyak agar lebih efisien, telah banyak desain yang dilakukan pada motor bakar maupun pada kendaraan. Kondisi gas buang yang dapat men-

cemari lingkungan, juga merupakan kriteria dalam setiap pemikiran mengenai perubahan desain tersebut. Kendaraan di desain dengan bentuk yang lebih aerodinamis, penggunaan material yang lebih ringan untuk bagian kendaraan agar pemakaian bahan bakar dapat lebih efisien.

Motor bakar sendiri juga mengalami banyak perubahan dalam desain, misalnya penggunaan *turbo charger* dan pemilihan jenis material khusus yang lebih ringan untuk komponen motor bakar.

**Catatan :** Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juli 2002. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 4 Nomor 2 Oktober 2002.

Desain pengaturan udara dan bahan bakar perlu disempurnakan. Pengendalian atas jumlah udara yang masuk kedalam ruang pembakaran dengan demikian juga dapat mempengaruhi jumlah bahan bakarnya. Desain yang menggunakan cara penyemprotan bahan bakar secara langsung kedalam silinder juga telah dikembangkan. Selain itu, pengaturan pembukaan katub silinder secara bervariasi juga dapat membantu penghematan energi.

Dengan digunakannya *turbo charger* diperoleh penghematan bahan bakar, karena daya yang dihasilkan lebih besar, walaupun diameter silindernya lebih kecil.

Penggunaan jenis material tertentu, seperti untuk komponen motor bakar dapat menurunkan berat motor per satuan daya (kg/kW), artinya dengan berat motor yang sama tetapi dihasilkan daya yang lebih tinggi. Komponen yang menggunakan material khusus ini adalah blok mesin menggunakan logam ringan yaitu paduan aluminium, pipa penghisap udara menggunakan bahan dari plastik, batang torak menggunakan jenis aluminium tertentu yang disebut RSAI (*Rapidly Solified Aluminium*), katup silinder menggunakan keramik.

Rasio udara dan bahan bakar menentukan kesempurnaan pembakaran bahan bakar, makin banyak udara yang masuk kedalam karburator, maka makin banyak bahan bakar yang tertarik oleh kecepatan udara yang mengalir, apabila jumlah udara cukup besar maka kemungkinan terjadinya pembakaran yang sempurna akan lebih besar. Hal ini pada umumnya terjadi pada kondisi beban penuh, sedang pada kondisi beban setengah atau sebagian, jumlah udara tentunya lebih sedikit, sehingga kemungkinan ada bahan bakar yang tidak terbakar, tentunya hal seperti ini mengakibatkan pemborosan dan juga kondisi racun dari gas buang akan meningkat.

Untuk mengatur jumlah udara yang masuk ke ruang pembakaran maka pengemudi kendaraan akan menginjak pedal gas, sebenarnya hal ini bukan untuk mengubah jumlah bahan bakar secara langsung, melainkan mengubah jumlah udara yang masuk melalui karburator. Pada kondisi setengah beban atau sebagian beban, posisi kelep kupu-kupu pada karburator adalah tertutup atau terbuka sebagian, tergantung dari seberapa dalam pengemudi menginjak pedal gas. Apabila beban sangat minimum misalnya pada saat kendaraan berhenti atau berada pada jalanan menurun, maka posisi kelep adalah menutup. Hal ini tentunya mengakibatkan terjadinya kevakuman pada saluran antara karburator dan silinder, karena torak tetap bergerak maka dia

melakukan penghisapan udara. Kondisi semacam ini merupakan suatu pemborosan energi, jadi untuk situasi semacam ini, penggunaan kelep tidak menguntungkan.

Apa yang dapat dilakukan untuk menggantikan kelep yang dapat mengatur jumlah udara yang masuk ke ruang silinder? Dengan mengatur katup silinder, maka jumlah udara dapat dikendalikan. Hal ini telah mulai diterapkan pada desain kendaraan BMW.

## 2. Standar Emisi

Perkembangan jumlah penduduk yang sangat menyolok di beberapa negara, menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan transportasi, khususnya kendaraan bermotor. Meledaknya jumlah kendaraan yang beroperasi di jalan raya, khususnya di daerah-daerah yang sangat padat penduduknya, ternyata mengakibatkan berapa masalah yang sangat menguatirkan. Di antaranya adalah meningkatnya kebutuhan akan bahan bakar dan pencemaran lingkungan oleh gas buang.

Beberapa negara maju yang sangat prihatin terhadap persoalan-persoalan ini menetapkan peraturan-peraturan yang harus dipenuhi oleh para pemakai dan penghasil kendaraan bermotor. Negara bagian California di Amerika Serikat yang sangat merasakan kondisi udara yang sudah tidak bersih lagi, sejak tahun 1990 telah mulai menerapkan peraturan yang mewajibkan pengurangan polusi dengan membuat program kendaraan yang berpolusi rendah (*low emission vehicle program*). Sejak September 1990 negara bagian California membentuk suatu dewan yang disebut "*Air Resources Board*" yang bertugas menyusun peraturan-peraturan mengenai kendaraan yang berpolusi rendah dan bahan bakar yang bersih.

Untuk mencapai tujuan dalam mendesain kendaraan ringan dan menengah yang berpolusi rendah sampai nol, maka ditetapkan empat kategori yang harus diikuti oleh para produsen kendaraan. Kategori ini adalah kendaraan transisi berpolusi rendah (*transitional-low-emission vehicles*), kendaraan berpolusi rendah (*low-emission-vehicles*), kendaraan berpolusi ultra rendah (*ultra-low-emission vehicles*) dan kendaraan berpolusi nol (*zero-emission vehicles*). Keempat kategori ini harus dipenuhi secara bertahap dalam batas waktu yang telah ditetapkan, sehingga pada batas waktu terakhir, diharapkan agar kendaraan-kendaraan itu dapat mencapai kategori kendaraan berpolusi nol.

Tabel di bawah ini menunjukkan standar yang dimiliki untuk masing-masing kategori,

khususnya kadar gas organik bukan metan, karbon oksida dan oksida nitrogen.

**Tabel 1. Standar California untuk Polusi Dari Kendaraan Bermotor**

Kategori	Gas organik bukan metan gram/mil	Karbon mono oksida(CO) gram/mil	Oksida zat lemas (NO <sub>x</sub> ) gram/mil
TLEV	0,125	3,4	0,4
LEV	0,075	3,4	0,2
ULEV	0,04	1,7	0,2
ZEV	0	0	0

Bersamaan dengan apa yang dilakukan di Amerika Serikat, di Eropa juga berlaku pembatasan kadar gas buang, yaitu ditetapkan dalam standar EURO, di mulai dengan Euro 0, yang berlaku sejak 1988. Pembatasan yang ditetapkan adalah kadar oksida nitrogen, karbon mono oksida, hidro karbon dan butiran debu.

Butiran debu dan NO<sub>x</sub> merupakan komponen gas buang yang kritis. Untuk menurunkan kadar kedua komponen ini secara bersamaan tidak mudah. Penurunan kadar NO<sub>x</sub> dapat dilakukan dengan menurunkan temperatur pembakaran, tetapi akibatnya butiran debu yang timbul dari karbon dan hidro karbon akan bertambah. Sebaliknya peningkatan temperatur pembakaran dapat mengurangi butiran debu, tetapi menaikkan kadar NO<sub>x</sub>.

**Tabel 2. Standar Eropa untuk Kendaraan Bermotor**

Schadstoff, Grenzwerte in g/kWh	Abgasgrenzwerte: von EU 0 bis EU 3					VDI nachrichten	
	Euro 0 (1988)	Euro 1 (1992/93)	Euro 2 (1995/96)	Euro 3* (2000/01)	Euro 3 zu Euro 0, Absenkung in %	Euro 3 zu Euro 2, Absenkung in %	
Stickoxide (NO <sub>x</sub> )	14,4	8,0	7,0	5,0	65	29	
Kohlenmonoxid (CO)	14,0	4,5	4,0	2,1	85	48	
Kohlenwasserstoff (HC)	3,5	1,1	1,1	0,66	81	40	
Partikel	kein Grenzwert	0,36	0,15	0,1	72	33	

Ditinjau dari konsumsi bahan bakar, temperatur pembakaran yang tinggi menghasilkan efisiensi pembakaran yang bagus, dengan demikian tercapai juga penghematan bahan bakar, tetapi kadar NO<sub>x</sub> akan meningkat. Apabila temperatur diturunkan akan terjadi hal yang sebaliknya.

Mengingat akan hal tersebut di atas, maka perlulah dicari suatu jalan keluar yang mampu menyelesaikan persoalan ini.

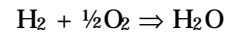
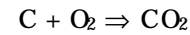
### 3. Udara dan Bahan Bakar

#### 3.1 Kebutuhan udara untuk pembakaran

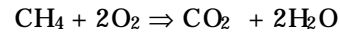
Pada setiap pembakaran bahan bakar dibutuhkan sejumlah oksigen, yang diambil dari

udara, jumlah udara teoritis yang dibutuhkan adalah 14,5 kg untuk setiap 1 kg bahan bakar.

Reaksi kimia dari pembakaran elemen karbon dan hidrogen adalah sbb.:

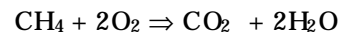


Reaksi kimia pada pembakaran bensin yang merupakan campuran dari hidro karbon dengan penambahan belerang dan zat lemas(N) adalah sbb.:



Kadar belerang di dalam bahan bakar sangat tidak diharapkan, karena dapat membentuk gas hidro sulfat yang sangat beracun. Kadar belerang di dalam bahan bakar pada waktu ini telah sangat dibatasi.

Untuk mencari kebutuhan udara teoritis untuk sejumlah bahan bakar tertentu, dilakukan dengan menghitung berat molekul dari komponen-komponen yang mengalami reaksi kimia.



$$16 \text{ g} + 64 \text{ g} \Rightarrow 44 \text{ g} + 36 \text{ g}$$

Untuk setiap gram bahan bakar dibutuhkan oksigen sebanyak 4 g. Berhubung oksigen diambil dari udara, sedang di dalam udara juga terdapat zat lemas(N) dan komponen lain yang lebih sedikit kadarnya, maka dengan diketahuinya perbandingan kadar oksigen dan zat lemas, dapat dicari kebutuhan udara teoritis.

Kebutuhan udara teoritis adalah  $4 : 0.232 = 17,24 \text{ g}$ . Dengan demikian setiap gram bahan bakar membutuhkan secara teoritis 17,24 g udara, supaya terjadi pembakaran yang sempurna.

Rasio udara :  $\lambda$

$$\lambda = \text{Jumlah udara sesungguhnya} / \text{Jumlah udara teoritis}$$

Untuk  $\lambda > 1$ : Pembakaran terjadi dengan sempurna, campuran udara dan bahan bakar jenis ini, disebut campuran kurus, pemakaian bahan bakar lebih irit, pada saat kondisi tanpa beban atau waktu pedal gas dilepas.

Untuk  $\lambda < 1$ : Kondisi ini disebut campuran gemuk, bahan bakar boros, digunakan untuk kondisi beban maksimum. Pada kondisi ini pemakaian bahan bakar spesifik

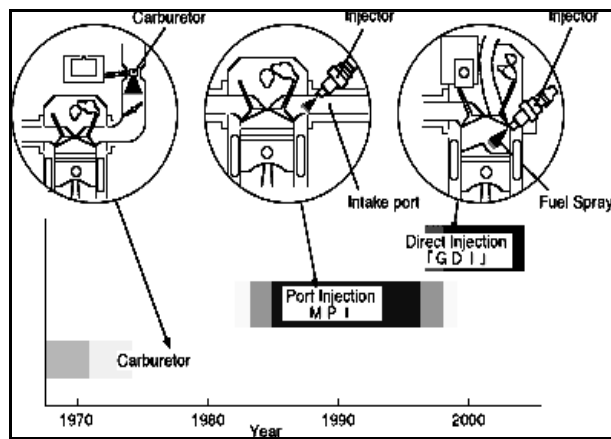
kurang menguntungkan dan kadar komponen CO dan hidro karbon pada gas buang agak tinggi.

Agar standar polusi yang telah ditetapkan tidak dilampaui, pada umumnya kendaraan beroperasi dengan  $\lambda = 1$ , khususnya pada operasi dengan beban penuh. Untuk operasi dengan beban rendah dan menengah digunakan campuran kurus.

### 3.2 Penyemprotan Bahan Bakar

Ada 3 cara penyemprotan bahan bakar bensin:

1. Karburator(banyak digunakan sampai tahun 1992)
2. *Multi point injection*(mulai digunakan sejak akhir tahun 70 an sampai sekarang)
3. Penyemprotan langsung (*Direct injection*) (mulai dikembangkan dan diterapkan pada saat ini)



Gambar 1. Skema Tiga Jenis Penyemprotan Bahan Bakar

Sistem injeksi adalah cara penyemprotan bahan bakar dengan menggunakan alat semprot(*injector*) yang menggantikan karburator. *Multi point injection* adalah sistem penyemprotan bahan bakar dengan menggunakan *injector*, yang ditempatkan pada ujung-ujung pipa udara masuk (*intake manifold*) ke silinder. Sistem penyemprotan langsung menggunakan *injector* yang dipasang pada silinder sehingga semprotan bahan bakar segera berada di dalam silinder.

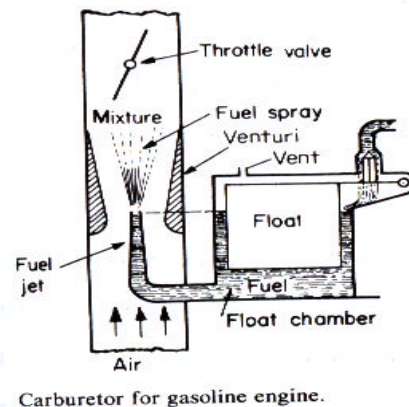
#### 3.2.1 Karburator

Di dalam karburator bahan bakar yang dibutuhkan untuk pembakaran diatur, baik untuk kondisi beban penuh maupun beban kosong.

Jumlah campuran udara dan bahan bakar yang akan disemprotkan kedalam silinder

diatur melalui pedal gas yang menggerakkan kelep kupu-kupu (*throttle valve*), sehingga banyaknya udara yang masuk melalui pipa venturi pada karburator dapat dikendalikan. Pipa venturi ini mengakibatkan kecepatan udara pada daerah venturi mengalami percepatan sedang tekanan mengalami penurunan. Perbedaan tekanan antara kamar apung (*float chamber*) dan ujung pipa keluaranya bahan bakar (*fuel jet*) mengakibatkan bahan bakar disemprot keluar. Makin besar pembukaan kelep kupu-kupu, makin banyak udara mengalir melalui pipa venturi. Hal ini mengakibatkan, bahan bakar makin banyak mengalir keluar dalam bentuk pancaran butiran bahan bakar yang halus.

Dalam keadaan tanpa beban, kelep kupu-kupu menutup pipa saluran bahan bakar. Torak motor bakar melakukan gerak turun naik, melakukan kerja menghisap dan memompa, terutama menghisap suatu kevakuman. Kerja ini merupakan energi yang terbuang, sehingga posisi kelep tertutup ini merugikan. Mengingat akan hal ini, maka terpikirkan untuk menghapuskan penggunaan kelep kupu-kupu ini.



Gambar 2. Karburator

#### 3.2.2 Multi point injection

Penyemprotan bahan bakar terjadi pada pipa pemasukan udara dan bahan bakar. Sistem ini yang banyak digunakan untuk menggantikan karburator. Berhubung pencampuran udara dan bahan bakar terjadi di pipa masuk dan bukan di silinder, maka pencampuran udara dan bahan bakar lebih homogen, pengaturan atas pembakaran masih sangat terbatas. Berhubung bahan bakar dan udara sudah bercampur pada saat memasuki ruang pembakaran, maka pengaturan untuk mengubah kondisi campuran dan pengaturan untuk proses pembakaran lebih sulit dilakukan.

### 3.2.3 Penyemprotan Langsung (Direct Injection)

Sistem penyemprotan langsung pada motor bakar bensin ternyata dapat mengurangi konsumsi bahan bakar. Pada awalnya sistem ini digunakan untuk mendapatkan daya motor yang tinggi dan menghemat bahan bakar pada operasi beban maximum. Walaupun sistem penyemprotan langsung ini mampu menghemat bahan bakar dibandingkan sistem yang lain, tetapi kadar gas buangnya, yaitu butiran-butiran debu, oksida zat lemas ( $\text{NO}_x$ ), hidro karbon (HC) dan karbon mono oksida (CO) masih belum dapat memenuhi tuntutan standar.

EURO4 yang akan berlaku mulai 1 Januari 2005 menetapkan sbb.:

- CO : 1,0 [g/km]
- HC : 0,1 [g/km]
- $\text{NO}_x$  : 0,1 [g/km]

ZEV : 10% dari produksi kendaraan ringan harus memenuhi persyaratan ZEV, yaitu :

- Gas organik bukan metan : 0 [g/mil]
- CO : 0 [g/mil]
- $\text{NO}_x$  : 0 [g/mil]

Untuk mencapai standar kadar komponen gas buang, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh motor bakar dengan sistem penyemprotan langsung. Motor bakar harus dilengkapi dengan katalisator pada saluran pipa pembuangan dan jenis bahan bakar tidak boleh terlalu banyak mengandung belerang.

Sistem penyemprotan langsung memiliki karakteristik:

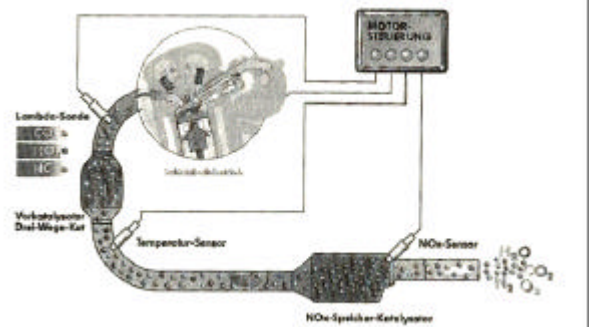
1. Arah arus udara yang masuk ke dalam silinder dan desain torak yang tepat, bersama-sama dengan penempatan *injector* yang tepat akan menghasilkan bola-bola campuran udara dan bahan bakar berkumpul di dekat busi menghasilkan suatu pembakaran yang sempurna.
2. Tidak dibutuhkan lagi kelep kupu-kupu, sehingga tidak ada energi yang terbuang.

## 4. Gas Buang dan Katalisator

Untuk memenuhi persyaratan tersebut, kendaraan motor bensin diperlengkapi dengan katalisator yang berfungsi untuk menurunkan kadar komponen tertentu, yaitu CO,  $\text{NO}_x$ , HC dan butiran-butiran debu. Pada gambar 3 dapat dilihat pemasangan katalisator untuk mengurangi komponen gas buang. Pada pipa pembuangan gas dari silinder di pasang sebuah sensor lambda (*Lambda-Sonde*), katalisator 3

jalan (*drei-wege-Katalysator*) dan katalisator penampung  $\text{NO}_x$  ( *$\text{NO}_x$ -Speicher-Katalysator*), sensor temperatur dan sensor  $\text{NO}_x$ . Sensor lambda bersama-sama dengan katalisator 3 jalan mengatur rasio udara/bahan bakar, melalui sebuah alat kontrol. Katalisator tiga jalan mampu menurunkan kadar tiga komponen, yaitu karbon mono oksida (CO), hidro karbon (CH) dan  $\text{NO}_x$ .

Katalisator penyimpan  $\text{NO}_x$  ( *$\text{NO}_x$ -Speicher-Katalysator*) berfungsi untuk menurunkan kadar  $\text{NO}_x$ . Pada campuran kurus komponen  $\text{NO}_x$  disimpan oleh katalisator, agar pada saat operasi normal dapat diubah menjadi  $\text{N}_2$ . Sensor  $\text{NO}_x$  berfungsi untuk mendeteksi kadar  $\text{NO}_x$  yang terdapat di dalam katalisator. Belerang yang terdapat pada bahan bakar dapat mengakibatkan katalisator tersumbat.

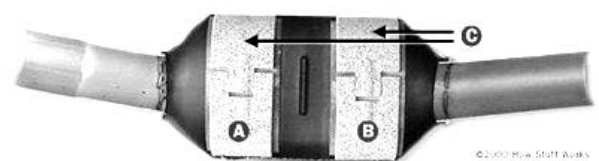


Gambar 3. Skema Pengolahan Gas Buang pada Campuran yang Kurus [2]

Pada operasi motor dengan beban penuh, temperatur yang dihasilkan adalah  $> 650^\circ\text{C}$ , pada temperatur yang tinggi belerang dapat terdorong keluar. Pada operasi beban rendah, temperatur tidak terlalu tinggi, sehingga katalisator tetap tersumbat. Belerang yang terdapat di dalam bahan bakar pada saat ini masih sangat tinggi  $> 500$  ppm, sehingga sangat mengganggu katalisator, mulai tahun 2005 di Eropa akan dipasarkan bahan bakar dengan kadar belerang hanya 30 ppm.



Gambar 4. Katalisator 3 Jalan



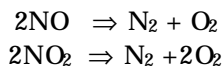
Gambar 5. Penampung Katalisator 3 Jalan



Katalisator 3 jalan terdiri dari katalisator reduksi (A) dan katalisator oksidasi (B), keduanya merupakan struktur keramik yang dilapisi oleh katalisator metal umumnya platinum, rhodium atau paladium. Keramik ini berbentuk sarang lebah (C).

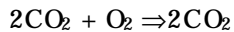
Katalisator reduksi dilapisi dengan platinum dan rhodium sebagai katalisator, berfungsi untuk menurunkan kadar  $\text{NO}_x$ . Apabila molekul  $\text{NO}$  atau  $\text{NO}_2$  menyentuh katalisator, atom nitrogen akan ditahan, sedang molekul oksigen dilepas.

Reaksi kimia :



Katalisator oksidasi berfungsi untuk mengurangi hidro karbon yang tidak terbakar dan mono oksida karbon melalui katalisator platinum dan paladium. Oksigen yang terdapat di dalam pipa gas buang mengoksidasi  $\text{CO}$  dan hidro karbon menjadi  $\text{CO}_2$  dan air.

Reaksi kimia :



## 5. Pengaturan Pembukaan Katup Silinder

Seperti telah dibahas sebelumnya bahwa dengan mengatur jumlah udara melalui kelep kupu-kupu ternyata kurang menguntungkan karena ada energi yang terbuang, khususnya apabila kelep tersebut dalam keadaan tertutup total. Kekurangan yang masih ada pada sistem penyemprotan langsung, yaitu ketergantungan sistem ini pada bahan bakar yang kadar belerangnya rendah, maka dibutuhkan cara lain yang lebih mampu mengatasi permasalahan polusi sekaligus mampu menghemat bahan bakar.

Untuk menggantikan sistem ini, maka dikembangkan suatu sistem yang baru, yaitu pengaturan udara melalui katup silinder.

Ada 4 kemungkinan untuk mengubah gerakan katup silinder, yaitu :

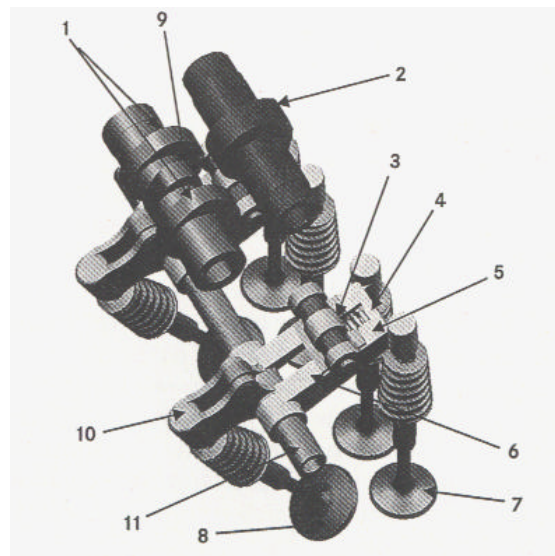
1. Pergeseran fasa poros bubungan (*cam shaft*).
2. Perubahan jarak pembukaan katup.
3. Variasi waktu buka atau tutup dari katup silinder.
4. Mematikan beberapa silinder dengan cara menutup katup.

Penghematan bahan bakar dan penurunan kadar gas buang seperti  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{NO}_x$  dan butiran-butiran debu, merupakan tujuan yang ingin dicapai oleh sistem yang baru, yaitu mengatur pembukaan katup silinder secara bervariasi tergantung dari beban yang dikehendaki. Untuk mendapatkan hasil yang

diinginkan, maka semprotan bahan bakar yang halus harus segera bercampur dengan udara dan membentuk kabut awan yang mudah terbakar secara merata. Sistem ini harus memperhatikan agar bahan bakar yang berada di dalam ruang silinder dapat bercampur dengan udara secara merata, sehingga mudah dijangkau oleh api dari busi. Pembentukan campuran yang homogen terjadi dengan mengatur pembukaan katup tidak terlalu besar sehingga udara yang masuk memiliki kecepatan tinggi. Gerakan udara berbentuk pusaran juga membantu terjadinya campuran yang homogen.

Pada kondisi tanpa beban, terutama pada saat katup masuk menutup, sedang torak bergerak turun menuju titik mati bawah, volume ruang silinder membesar, maka campuran kehilangan gerakannya. Hal ini mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna, karena gerakan pembakaran melambat dan tidak merata. Untuk mengatasi hal ini, dibutuhkan masa pembakaran yang lebih cepat.

Untuk mengatur jarak pembukaan katup silinder digunakan bubungan, yang menggerakkan lengan yang berhubungan dengan tangkai katup, sehingga posisi terbukanya katup sebanding dengan posisi bubungan. Untuk mendapatkan jarak yang berbeda pada masing-masing katup, bentuk bubungan dapat didesain sesuai dengan kebutuhan akan tinggi rendahnya bukaan katup maupun posisi kapan katup mulai membuka atau menutup. Bubungan yang berada pada poros bubungan dapat didesain secara kaku atau fleksibel, artinya tetap pada posisi atau dapat digeser pada porosnya. Berbeda dengan sistem karbulator, poros bubungan selalu berada pada posisi yang tetap.



Gambar 6. Mekanisasi pengaturan pembukaan katup [3]

Keterangan gambar 6:

1. Bubungan buka(katup masuk)
2. Bubungan tutup(katup masuk)
3. Rol
4. Pegas pengatur
5. Tempat pegas
6. Lengan(katup masuk)
7. Katup masuk
8. Katup keluar
9. Bubungan(katup keluar)
10. Lengan(katup keluar)
11. Poros penahan

Pada gambar di atas hubungan 1 dan 2 berada pada poros bubungan yang berbeda, bubungan 1 akan menekan lengan 6, sehingga tangkai katup akan ditekan kebawah sesuai posisi bubungan. Bubungan 2 berfungsi untuk menutup katup. Untuk mendapatkan putaran dan beban yang diinginkan, posisi bubungan harus tepat dan berfungsi dengan sempurna, untuk ini maka digunakan motor yang mampu memutar poros bubungan pada posisi yang tepat, seperti pada beberapa sistem yang akan dibahas lebih lanjut. Motor mendapat masukan dari kontrol yang dihubungkan dengan putaran motor.

### 5.1 Valve-Timing and Lift Electronic Control (VTEC)

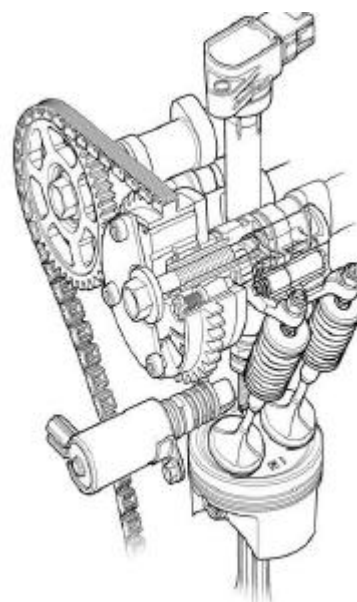
Pengaturan yang digunakan oleh Honda disebut pengaturan waktu dan pembukaan katup secara elektronik atau disingkat VTEC.

Perbedaan pengaturan katup pada sistem VTEC dibagi dalam 2 posisi atau lebih, yaitu pertama pada putaran rendah, fasa kedua pada putaran yang lebih tinggi, tergantung dari jenis sistem yang digunakan. Perubahan ini dapat terjadi pada putaran rendah, dan untuk posisi berikutnya 2500 rpm dan posisi ketiga pada putaran 6000 rpm. Pembagian ini dilakukan, karena pada putaran yang lebih tinggi terjadi keterlambatan masuknya udara ke ruang pembakaran, sedang pada putaran rendah tidak terjadi keterlambatan masuknya udara tersebut. Mengingat akan hal tersebut, maka perlu dibedakan saat pembukaan katup untuk putaran yang berbeda. Pada putaran yang lebih tinggi, pembukaan katup dilakukan lebih awal, waktu pembukaan lebih lama dan jarak pembukaan lebih tinggi. Pada kondisi putaran rendah, pembukaan katup tidak perlu terlalu dini, waktu lebih singkat dan jarak lebih pendek.

Setiap silinder memiliki 4 katup dan bubungan yang menggerakkan lengan untuk mengatur pembukaan katup dengan cara

menekan tangkai katup sesuai dengan bentuk bubungan. Pada setiap silinder terdapat 2 jenis bubungan, yaitu bubungan untuk pembukaan katup putaran rendah dan bubungan untuk putaran tinggi, kedua bubungan ini mempunyai bentuk berbeda. Bubungan berputar pada satu poros, bubungan pertama berfungsi pada putaran rendah sedang bubungan kedua baru akan berfungsi kalau putaran sudah mencapai ketinggian yang diprogramkan.

Sistem ini mampu menghemat bahan bakar dan memberikan daya maksimum pada putaran tinggi.



Gambar 7. Sistem Pengaturan Katup Menurut Desain VTEC

Kedua katup silinder mendapat tekanan kebawah melalui lengan yang ditekan oleh sebuah rol. Rol tersebut berhubungan langsung dengan kedua bubungan. Pada putaran rendah bubungan yang lebih kecil yang beroperasi, sedang bubungan besar diam.

Pada saat putaran mencapai ketinggian tertentu, maka melalui kontrol elektronik akan dialirkan melalui sebuah saluran yang terdapat di dalam poros bubungan, tekanan minyak yang mampu mendo-rong sebuah pasak sehingga posisi bu-bungan kedua akan terkunci. Bubungan kedua akan ikut berputar dan menggantikan fungsi bubungan pertama.

### 5.2 Valvetronic

Sistem terbaru yang pada saat ini telah diterapkan untuk produksi, yang dikembangkan oleh BMW adalah *Valvetronic*. Dalam mengembangkan sistem ini, penekanan diletakkan pada pengaturan beban dengan tanpa menggunakan kelep kupu-kupu, yang sudah diketahui pada

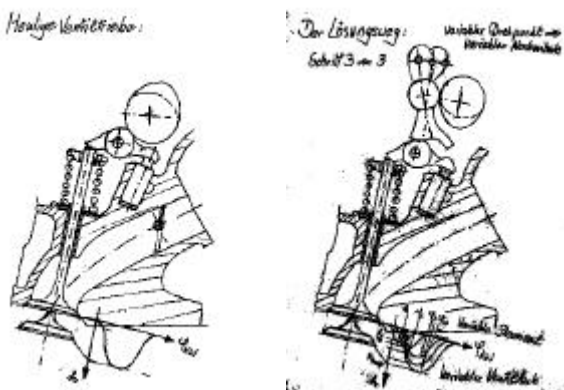
pembahasan sebelumnya, bahwa kelep ini tidak menguntungkan.

Salah satu faktor yang juga merupakan pemikiran dalam desain yang pada saat ini sedang berkembang, adalah adanya kenyataan bahwa operasi kendaraan bermotor yang paling banyak dipakai terjadi pada operasi beban rendah dan menengah. Operasi beban penuh lebih jarang dimanfaatkan, terutama kendaraan yang beroperasi di dalam kota. Operasi motor pada kondisi kendaraan sedang berhenti atau beban menengah, memerlukan campuran kurus, yaitu  $\lambda < 1$ . Seperti diketahui pada campuran kurus bahan bakar dapat irit dan polusinya rendah.

Pengaturan campuran dilakukan oleh pembukaan katup, dengan pembukaan yang kecil, kecepatan udara akan meningkat. Penyemprotan bahan bakar terjadi di pipa udara masuk sebelum masuk ke dalam silinder, seperti pada *multi point injection*, di sini tidak digunakan penyemprotan langsung, yang telah diketahui memiliki kelemahan.

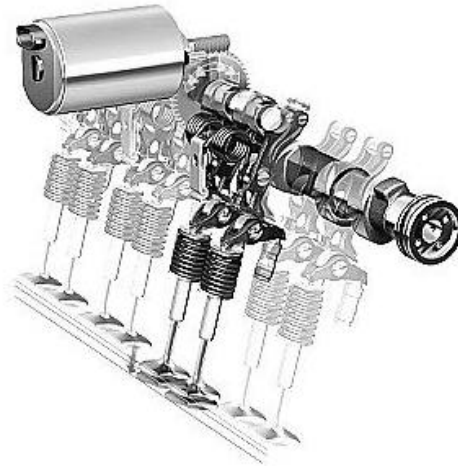
Pembukaan katup silinder secara statis dari 0,1 mm sampai 10 mm, pada saat tanpa beban pembukaan sangat kecil, pada saat beban penuh pembukaan maksimum, bahan bakar yang disemprotkan ke dalam pipa udara masuk akan bercampur dengan udara. Pada operasi tanpa beban, terhubung lubang masuk sangat kecil dan terjadi penghisapan yang kuat dari torak, maka dapat terjadi pencampuran udara dan bahan bakar yang sangat homogen. Pembakaran terjadi sangat merata, sehingga hampir tidak ada polusi.

Perbedaan dengan sistem yang lain, adalah sebuah tuas, yang digunakan sebagai pengganti bubungan, yang memiliki bentuk kurva pada ujungnya. Kurva pada ujung tuas berhubungan dengan rol pada lengan dan mampu menekan tangkai katup ke bawah dan membuka katup sesuai dengan jarak yang diharapkan.



Gambar 8. Pengaturan Katup pada Motor Bakar Bensin

Pada kedua gambar di atas dapat dilihat perbedaan antara pengaturan katup yang banyak digunakan oleh motor bensin pada umumnya seperti terlihat pada gambar sebelah kiri, sedang pada gambar sebelah kanan adalah desain dari BMW.



Gambar 9. Mekanisasi Pengatur Katup

Tuas dengan ujung yang berbentuk kurva mampu menggerakkan tangkai katup, sehingga jarak pembukaan dapat diatur.

Bubungan yang berputar pada porosnya mampu menggerakkan tuas ke kiri pada saat bubungan mendesak tuas, karena bentuk kurva dari ujung tuas maka mampu mendesak tangkai katup agar jarak bukaan makin besar. Pada ujung tuas sebelah atas dihubungkan dengan sebuah poros eksentrik. Poros eksentrik ini memberi kemungkinan pada tuas untuk bergerak lebih jauh ke kiri atau ke kanan, tergantung dari posisi eksenternya.

Untuk mengembalikan tuas pada posisi awal, maka disamping kiri tuas dilengkapi dengan sebuah pegas. Untuk menggerakkan poros eksentris digunakan sebuah motor. Untuk memperjelas bentuk tuas dan hubungannya dengan lengan, poros bubungan maupun poros eksentris dapat dilihat dengan jelas pada gambar berikutnya.

Dibandingkan dengan sistem yang lain, *Valvetronic* mempunyai beberapa kelebihan, yaitu tidak tergantung pada jenis bahan bakar yang kadar belerangnya rendah. Penghematan bahan bakar menyamai sistem penyemprotan langsung, sedang polusi yang ditimbulkan sangat rendah, sehingga masih dapat memenuhi persyaratan standar EURO maupun California Standar (ULEV) yang berlaku pada saat ini.

Salah satu kelemahan yang ada pada sistem ini, adalah keterbatasannya untuk operasi motor di atas 6000 rpm. Pada putaran tinggi,

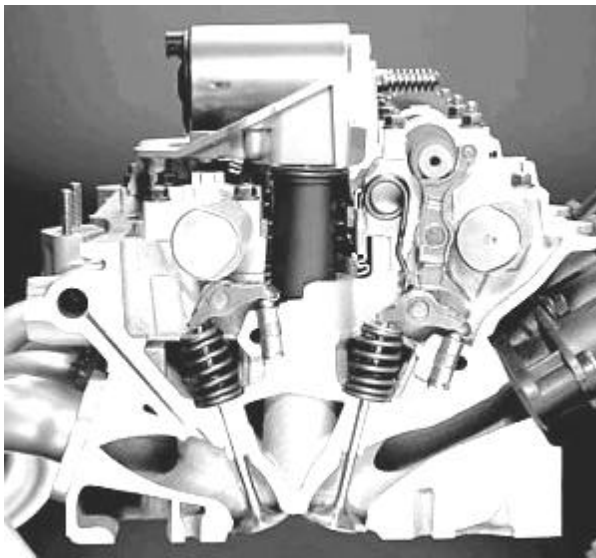


karena mekanisme yang cukup rumit, mengakibatkan timbul banyak friksi antara komponen-komponen yang terlibat, sehingga efisiensi menurun.

Komponen-komponen yang digunakan pada sistem ini memiliki ketelitian yang sangat tinggi, sehingga memerlukan proses manufaktur yang mengarah pada produksi massal, agar biaya tidak terlalu tinggi.



Gambar 10. Pandangan Samping



Gambar 11. Mekanisme *Valvetronic* Terpasang pada Silinder Blok <sup>[10]</sup>

## 6. Penutup

Desain kendaraan dan motor penggeraknya sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor yang dapat merubah kondisi lingkungan hidup maupun tuntutan ekonomi. Komponen yang terdapat pada gas buang telah diketahui dapat mengakibatkan banyak masalah bagi ke-

hidupan di dunia. Peraturan-peraturan yang dibuat oleh lembaga pemerintah mewajibkan setiap produsen motor dan kendaraan untuk selalu berusaha memenuhinya.

Perkembangan yang dilakukan oleh para teknisi dan produsen telah merubah desain motor, dari penggunaan komponen yang menggunakan metal berat sampai kepada metal ringan dan plastik, membuat motor menjadi lebih ringan yang berakibat menguntungkan secara ekonomis. Tuntutan atas daya yang makin kuat dan bentuk yang makin ringkas, agar kendaraan mempunyai daya angkut yang lebih dan kecepatan tinggi maupun jarak tempuh, memberikan beban pikiran bagi para ahli, yang tidak akan pernah berhenti. Dari pembahasan di dalam naskah ini, dapatlah diikuti kemana arah yang sedang dituju oleh para teknisi dan peneliti untuk selalu mempersiapkan kebutuhan akan tenaga penggerak dimasa-masa yang akan datang.

Motor bensin yang pada awal mulanya menggunakan karburator telah mengalami perubahan, yaitu digunakannya penyemprotan baik pada pipa udara masuk maupun yang sekarang sedang mulai dikembangkan, penyemprotan langsung ke dalam silinder. Perubahan ini telah membawa keuntungan ekonomis, karena terjadi penghematan bahan bakar.

Perkembangan dibidang motor diimbangi juga dengan perkembangan di bidang bahan bakar, seperti telah diketahui bahan bakar pada umumnya mengandung kadar belerang yang sangat tinggi. Berhubung belerang ini dapat merusak katalisator yang mempunyai fungsi untuk menurunkan kadar komponen dalam gas buang, maka bahan bakar harus dibatasi kadar belerangnya, untuk saat ini kadar belerang sebesar 30 ppm kebawah sangat diharapkan.

Katalisator sudah merupakan keharusan pada kendaraan yang diwajibkan untuk memenuhi standar gas buang baik kendaraan ini dipergunakan di Eropa, Amerika atau negara maju lainnya. Pengoperasian kendaraan pada beban rendah dan menengah, terutama kendaraan yang lebih banyak digunakan di dalam kota tentunya berbeda dengan kendaraan yang beroperasi di luar kota dengan beban maksimum. Pada beban rendah, campuran udara dan bahan bakar adalah kurus, sedang untuk operasi beban penuh, campuran gemuk. Berhubung kelep kupu-kupu yang biasanya digunakan untuk mengatur campuran, ternyata memiliki kerugian, maka digunakan cara pengaturan yang lain, yaitu pengaturan melalui pembukaan katup silinder, secara bervariasi. Dengan pembukaan yang sangat kecil kira-kira 0,1 sampai 0,3 mm, dapat diperoleh campuran

yang homogen, sehingga polusinya rendah, hal ini dilakukan untuk operasi beban kosong, misalnya kendaraan sedang tidak bergerak, menunggu muatan.

Sistem pengaturan campuran dengan melalui katup telah dilakukan oleh pembuat motor bensin, di antaranya Honda dengan sistem VTEC yang telah beroperasi lebih dari 8 tahun dan mampu memberikan andil yang cukup baik. Sistem terbaru yang dikembangkan oleh BMW, yaitu *Valvetronic* memberi keuntungan lebih banyak dari segi penghematan bahan bakar dan kondusi kadar polusi yang dapat memenuhi persyaratan yang ditetapkan pada waktu ini.

Masih banyak perkembangan yang dapat terjadi, hal ini tidak luput dari peran elektronik dan teknologi informasi, seperti komputer, yang telah banyak berperan dalam sistem pengaturan pada kendaraan dan motor bensin, terutama dalam pengontrolan bahan bakar maupun pengendalian kendaraan sendiri.

8. Mayer H.W., "Sparen mit direkter Benzineinspritzung", *VDI Nachrichten*, 14 September 2001.
9. Bauer E., "Klappe auf – Schwefel tot", *Robert Bosch GmbH*.
10. Jerzembek M., "Enhanced performance, lower consumption", *BMW Magazine*, BMW New Zealand and POL Corporate Publ. Pty. Ltd., 2/2001.
11. Bartsch C., "Clou ist die Mechanik", *VDI Nachrichten*, 7 September 2001.
12. Weidenhammer P., "BMW setzt mit neuen Motoren hohe Maßstäbe", *VDI Nachrichten*, 6 Oktober 2000.

### Daftar Pustaka

1. Bolt J.A., Cole D.E., Mirsky W., Patterson D.J., "Internal Combustion Engines", *Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers*, ninth Edition, McGraw Hill Book Company, New York, 1987.
2. Schommers J, Duvinage F. dan Kemmler R., "Entwicklungsperspektiven von Kraftfahrzeugantrieben" - *Jahrbuch 2000 - Fahrzeug- und Verkehrstechnik*, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2000.
3. Neumann K.H., Schindler K.P., "Future powertrain concepts"- *Jahrbuch 2001 - Fahrzeug- und Verkehrstechnik*, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2001
4. \_\_\_\_\_, Staff report: "Low-emission vehicle and zero-emission vehicle program review", *Air Resources Board, California Environmental Protection Agency, State of California*, November 1996.
5. \_\_\_\_\_, "Gasoline direct injection engine", *Mitsubishi Motors Corporation*, 1996.
6. Wildhage H.J., "Verschärfte Abgasgrenzwerte führen zu Zielkonflikten", *VDI Nachrichten*, 8. September 2000.
7. Wildhage H.J., "Benziner fährt mager am weitesten", *VDI Nachrichten*, 17 September 2000.