

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Manurung (2012) menyatakan bahwa kehadiran air pada sistem pembakaran memang memungkinkan meningkatkan efisiensi pembakaran karena mengubah mekanisme dan menyempurnakan reaksi pembakaran. Pengolahan air dengan penambahan bahan kimia atau perlakuan *elektrolisis* tentu akan memberi kontribusi yang lebih besar dengan kehadiran energi lain pada air.

Penambahan uap air untuk meningkatkan kinerja pada proses *gasifikasi* (proses mengubah batu bara, kayu, sekam, dan lainnya menjadi bahan bakar gas melalui reaksi $C+H_2O \rightarrow CO+H_2$) sudah lazim dilakukan. Namun, harus dicatat, sebagian unsur karbon (C) dari bahan itu dibakar (bereaksi dengan O_2) untuk menghasilkan energi thermal agar dimungkinkan air tersebut bereaksi dan berubah jadi H_2 . Dalam hal ini, energi kimia yang terkandung dalam H_2 dan CO berasal dari karbon (C) dan bukan dari air. Air hanya berperan sebagai reaktan. Perubahan air ini tunduk pada Hukum Termodinamika Pertama ataupun Kedua.

Fikri (2012) melakukan penelitian dan sekaligus pengujian menggunakan sistem injeksi uap air yang dicobakan pada mesin diesel mobil Mitsubishi L300 untuk menguji kadar emisi gas buangnya, dengan melakukan pengujian ini dapat diketahui apakah sistem injeksi uap air dapat menekan emisi gas buang pada mobil Mitsubishi L300. Pada pengujian ini dengan sistem injeksi uap air dimasukkan ke dalam ruang bakar yang terlebih dahulu melilitkan lilitan pipa rem di dalam knalpot, dengan menggunakan jarum suntik dan selang kemudian memasukkannya ke dalam intake manifold. Dari hasil analisis dan pengolahan data didapatkan bahwa injeksi uap air dapat mengurangi emisi gas buang pada mesin Otto empat silinder.

Zakimar (2012) melakukan penelitian dan sekaligus pengujian menggunakan sistem injeksi uap air yang dicobakan pada mesin diesel mobil Mitsubishi L300 untuk menguji perbandingan laju bahan bakarnya, dengan melakukan pengujian ini dapat diketahui apakah sistem injeksi uap air dapat menghemat konsumsi bahan bakar pada mobil Mitsubishi L300. Pada pengujian ini dengan sistem injeksi uap air dimasukan kedalam ruang bakar yang terlebih dahulu melilitkan lilitan pipa rem di dalam knalpot, dengan menggunakan jarum suntik dan selang kemudian memasukannya ke dalam intake manifold. Dari hasil analisis dan pengolahan data didapatkan bahwa injeksi uap air dapat menghemat bahan bakar pada mesin Otto empat silinder.

Sahin (2012) melakukan kajian eksperimental tentang penambahan air pada intake manifold untuk mengetahui kinerja mesin dan pengaruh emisi gas buang pada mesin diesel Renault K9K 700 jenis turbocharged common-rail. Percobaan dilakukan pada berbagai variasi kecepatan mesin dan beban yang berbeda dengan variasi *water rasio* (WRs). Air diinjeksikan ke dalam *intake manifold* melalui karburator, dengan nozzle utama yang dapat disesuaikan dengan *water rasio* sekitar 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% (by vol.). Hasil yang diperoleh bahwa injeksi air pada *water rasio* tertentu dapat mengurangi kadar emisi K dan NOx dan dapat meningkatkan kinerja mesin. Kadar emisi K menjadi berkurang karena meningkatnya *water rasio* pada rpm 2000, 2500, dan 3000.

Pada beban dan kecepatan tertentu, *water rasio* ditingkatkan, kadar emisi NOx mengalami penurunan. Penurunan signifikan emisi NOx terjadi pada *water rasio* 6% dan 8%. Penambahan air pada intake manifold menghasilkan efek kurang signifikan pada brake specific fuel consumption (bsfc) pada rpm 2000, 2500, dan 3000. Dan water injection pada percobaan ini tidak menunjukkan perubahan yang signifikan pada tekanan silinder dan daya yang ditunjukkan.

Subramanian (2009) melakukan penelitian dengan membandingkan efek dari *water-diesel emulsion* dan *water injection* ke dalam intake manifold pada

kinerja, pembakaran dan karakteristik emisi pada mesin DI Diesel pada kondisi yang sama. Rasio campuran air ke diesel yaitu 0,4:1. Sama rasio *water-diesel* dipertahankan untuk metode *water injection* untuk mengkaji baik manfaat potensialnya. Semua tes dilakukan pada kecepatan konstan 1500 rpm pada output yang berbeda. Waktu injeksi statis 23 derajat BTDC dijaga sebagai konstan untuk semua tes penelitian. Pada tahap pertama, percobaan dilakukan untuk menilai kinerja, pembakaran dan emisi karakteristik mesin menggunakan *water-diesel emulsion*. Emulsi dibuat menggunakan surfaktan HLB: 7. Emulsi disuntikkan dengan menggunakan sistem injeksi konvensional selama langkah kompresi. Tahap kedua adalah air disuntikkan ke dalam intake manifold mesin menggunakan injektor tambahan selama langkah hisap. Sebuah unit kontrol elektronik (ECU) digunakan untuk mengendalikan operasi injektor seperti awal injeksi dan durasi *water injection* dengan memperhatikan sudut engkol yang dikehendaki.

Hasil percobaan menunjukkan kedua metode (emulsi dan injeksi) dapat mengurangi emisi NO signifikan pada mesin diesel. Pada beban penuh, NO emisi menurun drastis dari 1.034 ppm menjadi 645 ppm dengan emulsi dan 643 ppm dengan injeksi. Namun, pengurangan emisi NO lebih rendah dengan injeksi dibanding emulsi pada beban sebagian. Emisi asap lebih rendah dengan emulsi (2,7 BSU) dibandingkan dengan injeksi air (3,2 BSU) dibandingkan saat keadaan normal diesel (3,6 BSU). Kadar emisi CO dan HC lebih tinggi dengan emulsi dari injeksi air. Mengenai NO dan pengurangan kadar asap, emulsi lebih unggul daripada injeksi pada semua beban. Tekanan puncak, pengapian delay dan tingkat maksimum kenaikan tekanan yang lebih rendah dengan injeksi air dibandingkan dengan emulsi. Hal ini juga ditunjukkan melalui studi komparatif dengan hasil emulsi memiliki potensi yang lebih tinggi dalam pengurangan simultan NO dan emisi asap daripada metode injeksi.

2.2 LANDASAN TEORI

2.2.1 Prinsip Kerja Mesin Bensin Dua Langkah

Mesin 2 langkah atau yang lebih lazim disebut mesin 2 tak adalah mesin yang melakukan 1kali putaran poros engkol dalam 1 siklus. Dengan kata lain, mesin ini hanya membutuhkan 2 kali proses gerakan naik dan turun piston untuk menyelesaikan 1 siklus.

Berikut ini adalah proses dari mesin 2 langkah :

A. Langkah isap dan langkah kompresi

Pada kondisi ini piston bergerak naik dari TMB menuju TMA serta terjadi putaran pertama atau 180 derajat. Proses yang terjadi yaitu :

a. Di bawah piston

Selama piston menuju TMA, ruang engkol akan membesar dan menjadikan ruang tersebut vakum. Karena terjadinya perbedaan tekanan ini, maka udara luar akan mengalir dan bercampur dengan bahan bakar di karburator dan selanjutnya masuk ke ruang engkol. Langkah ini disebut langkah isap dan pengisian di ruang engkol.

b. Di atas piston

Selama proses ini, piston bergerak menuju TMA, bila kedua saluran yaitu saluran bilas dan saluran buang tertutup, maka proses langkah kompresi dimulai. Dengan langkah piston bergerak terus ke atas mendesak gas baru yang sudah masuk sebelumnya, membuat suhu dan tekanan gas meningkat. Beberapa derajat sebelum TMA, busi akan meletikkan bunga api dan mulai membakar campuran gas tersebut. Langkah ini disebut langkah kompresi, seperti gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Siklus Motor Dua Langkah

(Sumber : Pedoman Pemeliharaan dan Perawatan Suzuki Crystal, 2006)

B. Langkah usaha dan langkah buang

Pada kondisi ini piston bergerak dari TMA ke TMB, proses yang terjadi adalah :

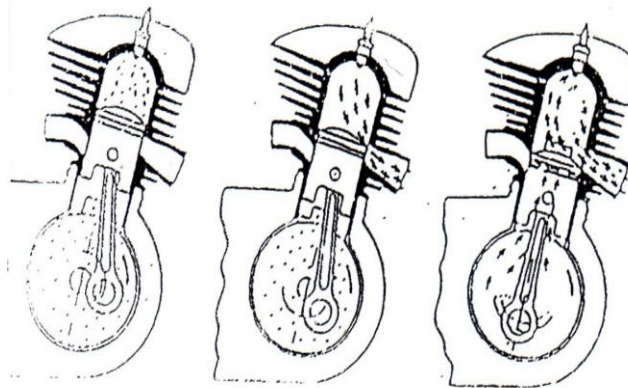
a. Di atas piston

Pembakaran menyebabkan ledakan yang menghasilkan tenaga dan mendesak piston menuju TMB. Langkah ini disebut langkah tenaga/usaha. Beberapa saat setelah piston bergerak ke TMB, lubang buang terbuka oleh kepala piston, gas-gas hasil pembakaran keluar melalui saluran buang. Langkah ini disebut langkah buang.

b. Di bawah piston

Beberapa derajat setelah saluran buang terbuka, maka saluran bilas mulai terbuka oleh tepi piston. Gas baru yang terdesak dan mengalir

melalui saluran bilas menuju puncak ruang bakar sambil membantu gas hasil pembakaran keluar. Proses ini dinamakan dengan pembilasan, seperti gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Langkah Usaha, Buang dan Proses Pembilasan

(Sumber : Pedoman Pemeliharaan dan Perawatan Suzuki Crystal, 2006)

C. Keuntungan menggunakan mesin 2 langkah:

- a. Merawat motor 2 langkah lebih mudah dibandingkan dengan motor 4 langkah.
- b. Oli mesin motor 2 langkah mampu tahan lama, karena oli motor 2 langkah hanya digunakan untuk melumasi mesin.
- c. Knalpot motor 2 langkah tidak mudah rusak (keropos).
- d. Motor 2 langkah mesinnya lebih bertenaga.
- e. Mesin motor 2 langkah agak ringan, karena mesinnya kecil.
- f. Biaya produksi mesin 2 langkah tidak mahal.
- g. Kerangka motor 2 langkah kuat atau awet.

2.2.2 Pembakaran pada mesin bensin

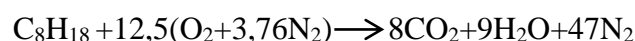
Proses Pembakaran

Secara umum pembakaran didefinisikan sebagai reaksi kimia atau reaksi persenyawaan bahan bakar dengan oksigen dengan diikuti udara panas. Bila oksigen dan hidrokarbon tidak bercampur dengan baik, maka akan terjadi proses *crucking* yaitu pada nyala akan timbul asap. Ada dua kemungkinan yang dapat terjadi pada pembakaran motor bensin ini, yaitu: (Soenarta , 2002)

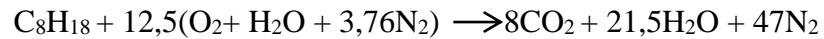
- a. Pembakaran sempurna, pada saat bahan bakar dapat terbakar seluruhnya pada saat dan keadaan yang dikehendaki.
- b. Pembakaran tidak sempurna, pada saat sebagian bahan bakar tidak ikut terbakar atau tidak terbakar bersama-sama pada saat keadaan yang dikehendaki. Contohnya *knocking* dan *pre-ignition* yang dapat menyebabkan gangguan dalam motor bensin.

1) Pembakaran sempurna

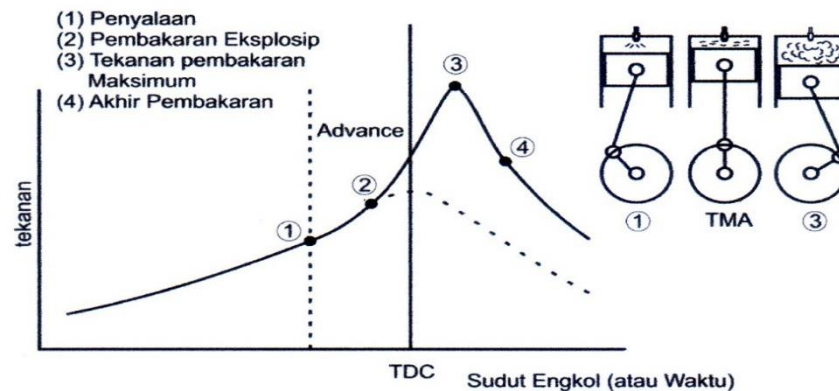
Pembakaran adalah reaksi kimia antara unsur bahan bakar dengan oksigen. Oksigen berada di udara luar yang juga bercampur dengan beberapa senyawa kimia antara lain, nitrogen (N), argon (Ar), karbondioksida (CO₂) dan beberapa gas lainnya. Dalam proses pembakaran maka tiap macam bahan bakar selalu membutuhkan sejumlah udara tertentu agar bahan bakar dapat dibakar secara sempurna. Bensin misalnya, agar terbakar sempurna butuh udara kurang lebih 15 kali berat bahan bakarnya. Rumus kimia bahan bakar adalah C_nH_m. Secara umum reaksi kimia pembakaran hidrokarbon sebagai berikut: (Soenarta , 2002)



Reaksi kimia di atas menunjukkan proses pembakaran yang sempurna dari 1 mol bahan bakar. Jika pembakaran ditambah dengan H₂O maka reaksi kimia pembakaran hidrokarbon menjadi:



Selama proses pembakaran, senyawa hidrokarbon terurai menjadi senyawa hidrogen dan karbon yang bereaksi dengan oksigen membentuk CO_2 dan H_2O .



Gambar 2.3 Pembakaran Normal Pada Motor Bensin

(Sumber : Soenarta , 2002)

Pada gambar di atas memperlihatkan grafik yang menunjukkan hubungan antara tekanan dari sudut engkol mulai dari saat penyalan sampai akhir pembakaran. Dari grafik tersebut dapat di lihat bahwa penyalan harus terjadi sebelum TMA agar tekanan pada awal langkah ekspansi lebih besar.

2) Pembakaran Tidak Sempurna

1. Detonasi

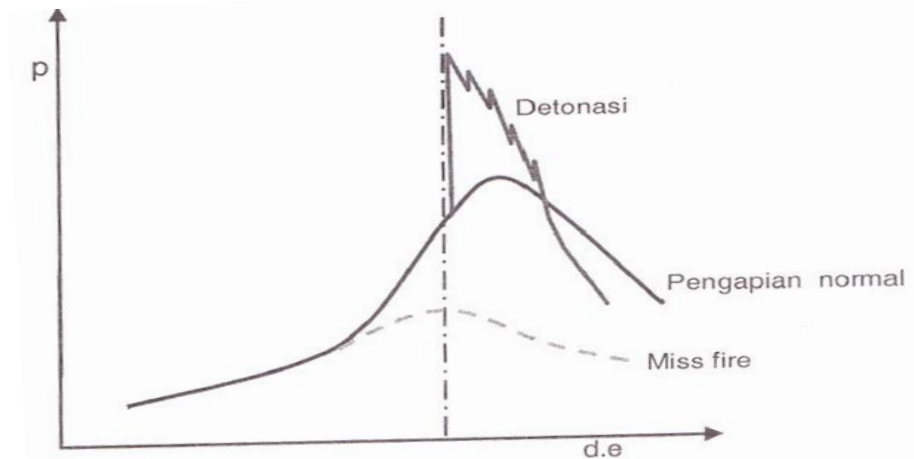
Detonasi pada motor bensin terjadi karena campuran bahan bakar dan udara di ruang bakar menyala secara spontan saat langkah pembakaran, setelah penyalan, api menyebar dengan kecepatan melebihi batas (dalam kondisi normal kecepatan penyebaran api adalah beberapa puluh meter per detik, tapi pada pembakaran abnormal dapat mencapai beratus meter per detik). Tekanan meningkat yang disebabkan oleh pembakaran yang tidak normal, menghantam dinding silinder dan kepala piston. Kemungkinan penyebab detonasi adalah: (Soenarta , 2002)

- 1) Perbandingan kompresi terlalu tinggi sehingga temperatur dan tekanan dari campuran bahan bakar udara cukup tinggi untuk dapat menyala dengan sendirinya.
- 2) Kualitas bahan bakar, nilai oktan yang rendah akan cenderung meningkatkan terjadinya detonasi.
- 3) Bentuk ruang bakar yang datar dan lebar dengan katup sisi. Penyalaan spontan cenderung meningkatkan terjadinya detonasi karena penyebaran api kurang baik.
- 4) Pada motor pendingin udara cenderung terjadi detonasi dibandingkan motor pendingin air, karena mesin berpendingin udara memiliki pendinginan kurang baik.
- 5) Pada kecepatan rendah dan beban berat, detonasi cenderung akan terjadi karena temperatur menjadi tinggi dan gas sukar bergerak.
- 6) Campuran yang kurus akan terbakar dengan lambat, sehingga cenderung terjadi detonasi.

Ada beberapa cara untuk menghilangkan detonasi pada mesin dua langkah: (Soenarta, 2002)

- 1) Memperkecil diameter piston untuk memperpendek jarak yang ditempuh oleh nyala api dari busi ke bagian yang terjauh. Hal ini juga dicapai jika dipergunakan busi lebih dari satu.
- 2) Membuat konstruksi ruang bakar sedemikian rupa sehingga bagian yang terjauh dari busi mendapat perbandingan yang lebih baik. Caranya adalah dengan memperbesar perbandingan antara luas permukaan dan volume sehingga diperoleh ruang yang sempit.
- 3) Menggunakan bahan bakar dengan nilai oktan yang lebih tinggi.

Gambar 2.4 adalah grafik detonasi pada motor bensin.



Gambar 2.4 Grafik Detonasi pada Motor Bensin

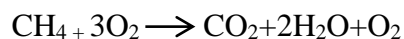
(Sumber : Soenarta , 2002)

2. *Pre-ignition*

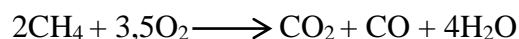
Peristiwanya hampir sama dengan detonasi tetapi terjadi hanya pada saat busi belum memercikkan api. Bahan bakar terbakar dengan sendirinya akibat dari tekanan dan suhu yang cukup tinggi sebelum busi menyala. Tekanan dan temperatur tadi dapat membakar gas bakar tanpa pemberian api dari busi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *pre-ignition* adalah peristiwa pembakaran yang terjadi sebelum sampai pada saat yang dikehendaki.

3) Pembakaran Tidak Lengkap

Pembakaran yang normal pada motor bensin dimulai pada saat terjadinya loncatan bunga api pada busi dan membakar semua hidrogen dan oksigen yang terkandung dalam campuran bahan bakar. Tetapi dalam pembakaran yang tidak lengkap yaitu pembakaran yang ada kelebihan atau kekurangan oksigen atau hidrogen. Contoh reaksi kelebihan oksigen:



Jadi didalam persamaan reaksi diatas jelas ada kelebihan O_2 . Contoh reaksi kekurangan oksigen:



Jadi dalam persamaan reaksi diatas masih ada CO yang tidak terbakar dan keluar bersama-sama dengan gas buang (Toyota, 1995). Hal tersebut disebabkan karena kekurangan oksigen.

2.2.3 Bahan Bakar Bensin

Bensin mempunyai komponen elemen karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S), oksigen (O), dan elemen lain seperti abu (ash) dan air (*moisture*). Selama ini untuk menaikkan angka oktan digunakan TEL(*Tetra Ethyl Lead*) yang mengandung timbal (Pb) sebagai *aditif* (Toyota, 1995). Namun, persoalannya bahwa bensin mengandung TEL akan menghasilkan emisi gas buang berupa timbal (Pb) yang beracun, selain itu ada tambahan pada bensin yaitu:

- a. *Oxidation inhibitor* yaitu suatu zat yang berfungsi untuk membantu mencegah terbentuknya karat sementara bensin disimpan dalam tangki bahan bakar.
- b. Bahan anti karat (*anti rust agent*) yaitu untuk melindungi sistem bahan bakar kendaraan dari kemungkinan karat.
- c. *Detergent* yaitu untuk mempertahankan kebersihan karburator.

2.2.4 Angka Oktan

Angka Oktan adalah angka indicator pada bahan bakar hidrokarbon jenis bensin yang menunjukkan kemudahan bahan bakar untuk menyala sempurna ketika bersentuhan dengan nyala api pembakaran (ignition) selama proses pembakaran. Umumnya skala oktan didunia adalah *Research Octane Number* (RON). RON ditentukan dengan mengisi bahan bakar ke dalam mesin uji dengan rasio kompresi variabel dengan kondisi yang teratur. Beberapa angka oktan untuk bahan bakar ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Tabel angka oktan bahan bakar

No	Jenis Bahan Bakar	Bilangan Oktan
1	Premium	88
2	Pertamax	92
3	Pertamax Plus	95
4	Benzena	101
5	Methane	107
6	Ethane	108
7	Propane	110
8	Metanol	113
9	Bensol	114
10	Ethanol	116

2.2.5 Daya, Torsi, dan Konsumsi Bahan Bakar

Torsi adalah indikator baik dari ketersediaan mesin untuk kerja. Torsi didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada jarak momen dan apabila dihubungkan dengan kerja dapat ditunjukkan (Heywood, 1988) :

$$T = F \cdot L \dots\dots\dots(1)$$

$$T1 \text{ (Torsi } water \text{ break dynamometer)} = F \cdot L \text{ (N.m)}$$

$$T2 \text{ (Torsi motor)} = T1 : \text{rasio gigi (N.m)}$$

Dengan:

T : torsi (N.m)

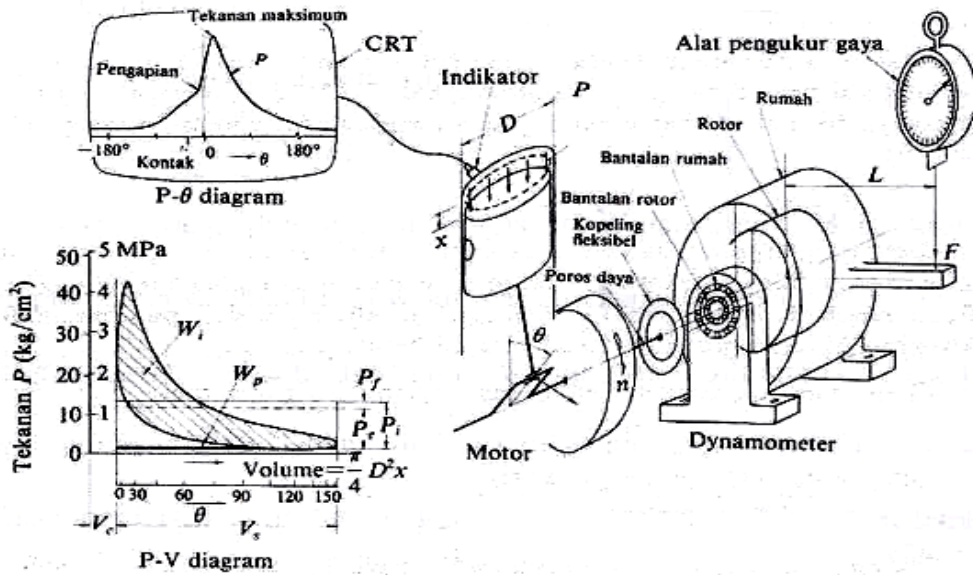
F : gaya yang terukur pada *dynamometer*

L : x = panjang lengan pada *dynamometer* (0,21m)

Rasio gigi = 3,115

Daya adalah besar usaha yang dihasilkan oleh mesin tiap satuan waktu, didefinisikan sebagai laju kerja mesin. Pada motor bakar daya yang berguna adalah daya poros. Daya poros ditimbulkan oleh bahan bakar yang dibakar dalam silinder dan selanjutnya menggerakkan semua

mekanisme. Unjuk kerja motor bakar pertama-tama tergantung dari daya yang ditimbulkan (Soenarta, 1995), seperti terlihat pada gambar (2.11) di bawah ini.



Gambar 2.5 Alat Tes Prestasi Motor Bakar

(Sumber : Soenarta, 1995)

Gambar (2.5) menunjukkan peralatan yang dipergunakan untuk mengukur nilai yang berhubungan dengan keluaran motor pembakaran yang seimbang dengan hambatan atau beban pada kecepatan putaran konstan (n). Jika n berubah, maka motor pembakaran menghasilkan daya untuk mempercepat atau memperlambat bagian yang berputar. Motor pembakaran ini dihubungkan dengan dinamometer dengan maksud mendapatkan keluaran dari motor pembakaran dengan cara menghubungkan poros motor yang akan mengaduk air yang ada di dalamnya. Hambatan ini akan menimbulkan torsi (T), sehingga nilai daya (P) dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P = \frac{2\pi n T}{60}(W).....(2)$$

Dimana :

P = Daya (W)

n = Putaran mesin (*rpm*)

T = Torsi (*N.m*)

Dalam hal ini daya secara normal diukur dalam kW, tetapi satuan HP masih digunakan juga, dimana :

$$1\text{HP} = 0,7457 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1,341 \text{ HP}$$

Piston yang di dorong oleh gas membuat usaha, baik tekanan maupun suhunya akan turun waktu gas berekspansi. Energi panas diubah menjadi usaha mekanis. Konsumsi energi panas ditunjukkan langsung oleh turunnya suhu. Apabila piston tidak mendapatkan hambatan dan tidak menghasilkan usaha gas tidak akan berubah meskipun tekanannya turun.

Besar pemakaian konsumsi bahan bakar (\dot{m}_f) ditentukan dalam *g/kWh*. Konsumsi bahan bakar spesifik adalah pemakaian bahan bakar yang terpakai perjam untuk setiap daya yang dihasilkan pada motor bakar (Munandar, 2002). Nilai *SFC* dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut :

Persamaan Konsumsi Bahan Bakar Spesifikasi (*SFC*)

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{P} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

SFC = Konsumsi bahan bakar spesifik (*kg/kWh*)

P = Daya mesin (*kW*)

Sedangkan nilai \dot{m}_f dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\dot{m}_f = \frac{b}{t} \cdot \frac{3600}{1000} \cdot \rho_{bb} [\text{kg} / \text{jam}] \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

b = Volume buret yang dipakai dalam pengujian (*cc*)

t = Waktu pengosongan *buret* dalam detik (s)

ρ_{bb} = Massa jenis bahan bakar (premium campur ethanol 0,7682 kg/l)

\dot{m}_f = Adalah penggunaan bahan bakar per jam pada kondisi tertentu/laju aliran bahan bakar masuk ke mesin.

2.2.6 Emisi Gas Buang

Gas yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor terbagi menjadi tiga:

1. *Blow by gas* (gas hembusan)

Gas ini dihembuskan ke *crankcase* melalui celah antara piston dan silinder, terdiri dari gas yang tidak terbakar. Gas yang terbakar dan berhembus ke *crankcase* melalui celah disebut *Blow by gas*. Gas ini biasanya terdiri dari gas HC.

2. Gas hasil penguapan bahan bakar dari karburator dan tanki yang menghasilkan gas HC.

3. Gas bekas (gas pembuangan)

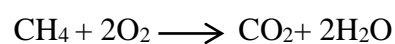
Gas yang keluar dari knalpot yang terdiri dari:

CO, NO dan HC

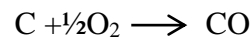
Sebab-sebab timbulnya CO, HC dan NO_x:

1. CO

Bila karbon didalam bahan bakar terbakar habis dengan sempurna maka terjadi reaksi sebagai berikut:



Dalam proses ini, yang terjadi adalah CO₂. Apabila unsur-unsur oksigen tidak cukup akan terjadi proses pembakaran yang tidak sempurna sehingga karbon didalam bahan bakar terbakar dalam suatu proses sebagai berikut:



Pada kenyataannya gas CO yang dikeluarkan oleh mesin kendaraan banyak dipengaruhi oleh perbandingan campuran dari jumlah suplai antara udara dengan bahan bakar yang dihisap oleh mesin (A/F). Jadi untuk mengurangi CO, perbandingan campuran ini harus dibuat kurus (*exses air*), tetapi akibat lain HC dan NO_x lebih mudah timbul serta *output* mesin menjadi berkurang.

2. HC

Dari gas buang HC dibagi 2 yaitu:

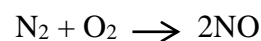
- a. Bahanbakar yang tidak terbakar dan keluar menjadi gas hidrokarbon.
- b. Bahan bakar terpecah karena reaksi panas berubah menjadi gugusan HC yang lain, yang keluar bersama gas buang.

Berikut ini adalah sebab-sebab utama timbulnya HC:

- a. Sekitar dinding-dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah, temperatur itu tidak mampu melakukan pembakaran.
- b. Adanya *overlap* (kedua *valve* sama-sama terbuka), jadi merupakan gas pembilas.

3. NO_x

Bila terjadi unsur-unsur N₂ dan O₂ pada temperatur 1800-2000°C akan terjadi reaksi sebagai berikut:



Gas NO dalam udara bebas berubah jadi NO₂, dalam pembakaran mesin pada temperatur 2000°C gas NO akan terbentuk. NO_x dalam gas buang terdiri dari 95% NO, 3-4% NO₂ dan sisanya N₂O, N₂O₃ dan sebagainya.

Untuk memudahkan menganalisa kondisi mesin ada penjelasan berikut ini:

1. **CO tinggi:** AFR terlalu kaya ($\lambda < 1.00$). Secara umum CO menunjukkan angka efisiensi dari pembakaran di ruang bakar. Tingginya CO karena kurangnya oksigen untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna.
2. **Normal CO:** AFR dekat atau tepat pada titik ideal (AFR 14,7 atau $\lambda = 1.00$) maka emisi CO tidak akan lebih dari 1% untuk sistem injeksi dan 2.5% untuk sistem karburator.
3. **CO rendah:** sebenarnya tidak ada batasan dimana CO dikatakan terlalu rendah. Konsentrasi CO terkadang masih terlihat normal walaupun campuran yang amat kurus.
4. **HC tinggi:** menunjukkan adanya kelebihan bensin yang tidak terbakar karena kegagalan sistem pengapian atau pembakaran yang tidak sempurna. Konsentrasi HC diukur dalam satuan ppm (*part per million*). Penyebab umumnya adalah sistem pengapian tidak sempurna, ada kebocoran di *intake manifold* atau AFR.
5. **Konsentrasi Oksigen:** menunjukkan jumlah udara yang masuk ke ruang bakar berbanding dengan jumlah bensin. Angka ideal berkisar 1% hingga 2%.
6. **Konsentrasi Oksigen tinggi:** AFR terlalu kurus.
7. **Konsentrasi Oksigen rendah:** AFR terlalu kaya.

8. **Konsentrasi CO₂ tinggi:**AFR berada dekat atau tepat pada kondisi ideal.
9. **Konsentrasi CO₂ rendah:**AFR terlalu kurus atau terlalu kaya dan kebocoran pada *exhaust system*.
10. **Konsentrasi senyawa NO_x:** termasuk nitrit oksida(NO) dan nitrat oksida (NO₂), terbentuk bila temperatur ruang bakar mencapai lebih dari 2500°F(1350°C) dan bila mesin mendapat beban berat.
11. **Konsentrasi NO_x tinggi:** AFR terlalu kurus
12. **Konsentrasi NO_x rendah:** umumnya NO_x adalah 0 ppm saat mesin *idle*.

2.2.7 Standar Emisi Gas Buang

Pada umumnya kendaraan dapat dibagi 3 kategori, yaitu:

1. *System Carburator*
2. *System electronic Fuel Injection*
3. *System Catalyst*

Berikut ini adalah emisi gas buang standard EURO (Tedjo, 2013):

1. Emisi CO (*Carbon Monoxide*)

Mesin Carb	: 1,5-3,5%
EFI	: 0,5-1,5%
Cat	: 0,0-0,2%
2. Emisi HC (*Hydro carbon*)

Mesin Carb	: 200-400% rpm
------------	----------------

EFI : 50-200% rpm

Cat : 0-50% rpm

3. Emisi CO₂ (*Carbondioxide*)

Mesin Carb : 12-15%

EFI : 12-16%

Cat : 12-17%

4. Emisi O₂ (*Oxygen*)

Mesin Carb : 0,5-2%

EFI : 0,5-2%

Cat : 0%

Standart Indonesia (Tedjo, 2013):

Mesin Carb : Max CO 3,5%

Max HC 800% ppm

EFI : Max CO 2,5%

Max HC 500% ppm