

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang emisi gas buang dan unjuk kerja motor diesel empat langkah telah banyak dilakukan salah satunya oleh **Masran (2005)** telah melakukan penelitian tentang pemasangan filter *activated carbon* pada *muffler* yang berjudul “Pengaruh Variasi Diameter *Filter Activated carbon* Pada *Muffler* Terhadap Emisi Gas Buang Dan Unjuk Kerja Motor Bensin Empat Langkah”. Ternyata dengan pemasangan *filter activated carbon* pada *muffler* memberikan pengaruh terhadap konsentrasi emisi gas buang dan unjuk kerja motor bensin empat langkah. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa pemasangan filter *activated carbon* pada *muffler* mampu mengurangi konsentrasi gas CO dan HC yang terkandung dalam emisi gas buang.

Penelitian tentang *aktive carbon* juga pernah dilakukan oleh **Roman (2010)** yang berjudul “Analisis Gas Buang Kendaraan Bermotor Dengan Media Adsorpsi Karbon Aktif Jenis GAC Dan PAC”. Pada penelitian tersebut dilakukan perbandingan daya adsorpsi dari karbon aktif jenis butiran dan jenis serbuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif jenis serbuk memiliki daya adsorpsi yang lebih tinggi daripada karbon aktif jenis butiran, dimana karbon aktif jenis serbuk mampu menyerap kandungan gas CO sebesar 48,671% ; gas CO₂ sebesar 40,36% ; gas HC sebesar 82,55%, sedangkan untuk karbon aktif jenis butiran mampu menyerap kandungan gas CO sebesar 31,642% ; gas CO₂ sebesar 33,693% ; gas HC sebesar 58,086%.

Penelitian tentang terhadap emisi gas buang juga pernah dilakukan oleh **Kris Tri Basuki (2007)** yang berjudul “Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ Pada Emisi Gas Buang Dengan Menggunakan Media Penyisipan TiO₂ Lokal Pada Karbon Aktif “. Ternyata dengan penggunaan media karbon aktif dengan penyisipan TiO₂ memberikan pengaruh terhadap konsentrasi emisi gas buang. Dari penelitian tersebut efisiensi konsentrasi penurunan konsentrasi gas CO dan NO₂ terbaik terjadi pada konsentrasi TiO₂ sebanyak 15%, yaitu sebesar 86,020% dan 94,338 %.

Penelitian lain tentang emisi gas buang juga pernah dilakukan oleh **Dicky Maryanto (2009)** yang berjudul “ Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) Dengan Penambahan Arang Aktif Pada Kendaraan Bermotor Di Yogyakarta”. Ternyata ada penurunan kadar emisi gas buang karbon monoksida (CO) dengan penambahan sebanyak 150 gr, yaitu sebesar 45,68%.

2.2 Motor Bakar Torak

Motor bakar torak termasuk salah satu jenis penggerak mula yang mengubah energi kimia bahan bakar kedalam bentuk energi panas atau potensial gas hasil pembakaran untuk melakukan kerja mekanik. Proses ini berlangsung dalam ruangan yang dibatasi dinding silinder, kepala silinder, dan puncak torak, sehingga motor bakar ini termasuk dalam mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*). Gas yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut berfungsi sebagai fluida kerja yang digunakan untuk menggerakkan torak yang oleh batang penghubung dihubungkan dengan poros engkol. Gerak translasi dari torak mengakibatkan terjadinya gerak rotasi atau putaran pada poros engkol dan begitu juga sebaliknya gerak rotasi dari poros engkol mengakibatkan gerak translasi pada torak.

Berdasarkan jenis penyalannya motor bakar di bagi 2 macam, yaitu motor bensin (*Otto*) dan motor diesel. Pada motor diesel, penyalan bahan bakar diperoleh dengan bantuan udara yang terkompresi pada langkah kompresi yang menyebabkan naiknya tekanan yang diikuti kenaikan temperatur sehingga sewaktu bahan bakar diinjeksikan kedalam ruang bakar, akan terbakar dengan sendirinya karena temperatur nyala dari bahan bakar telah tercapai, sehingga motor diesel disebut juga CIE (*Compression Ignition Engine*). Berdasarkan jumlah langkahnya tiap siklus, dibedakan menjadi motor bakar dua langkah dan motor bakar empat langkah. Motor bakar empat langkah adalah motor bakar yang dalam satu kali siklus kerjanya memerlukan empat kali langkah torak. Satu kali langkah torak adalah gerak torak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) atau sebaliknya.

2.3 Motor Diesel

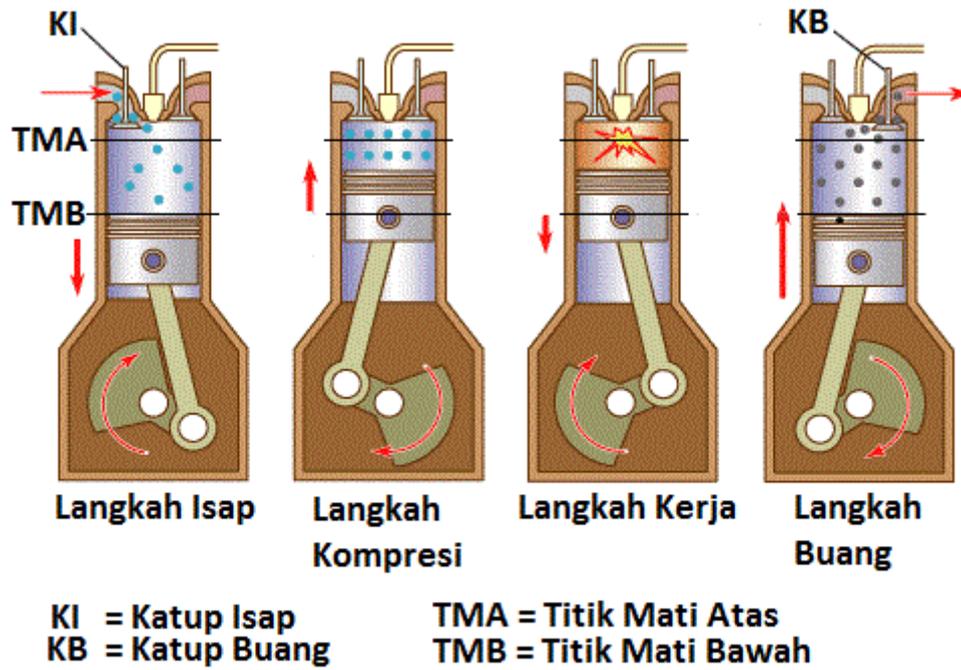
Penemu Motor Diesel adalah orang Jerman bernama Rudolph Diesel sekitar tahun 1890'an. Motor Diesel dilengkapi dengan pompa injeksi dan nosel untuk menginjeksikan bahan bakar langsung ke dalam ruang bakar. Berbeda dengan motor bensin dimana sewaktu langkah hisap campuran udara dan bahan bakar masuk melalui saluran intake menuju silinder motor, motor diesel hanya memasukan udara saja pada waktu langkah hisap. Kemudian, bahan bakar akan diinjeksikan kedalam silinder pada saat torak 5° - 12° sebelum mencapai TMA pada langkah kompresi. Bahan bakar yang telah memasuki silinder tersebut akan segera bercampur oleh udara yang telah di kompresi oleh torak, dan akan segera timbul pembakaran yang dikarenakan titik nyala dari bahan bakar telah tercapai karena temperatur tinggi pada ruang bakar yang disebabkan oleh udara yang telah dimampatkan oleh torak. Sehingga, timbulah gas pembakaran sebagai fluida kerja yang digunakan untuk melakukan kerja.

2.3.1 Siklus Ideal Motor Diesel Empat Langkah

Proses termodinamika dan kimia yang terjadi di dalam motor bakar torak sangat kompleks untuk dianalisis menurut teori. Untuk memudahkan analisis perlu membayangkan bahwa proses tersebut sebagai suatu keadaan yang ideal, akan tetapi dengan sendirinya akan semakin jauh menyimpang dari keadaan yang sebenarnya. Pada mesin yang ideal proses pembakaran yang dapat menghasilkan gas bertekanan dan bertemperatur tinggi tersebut dimisalkan sebagai proses pemasukan panas kedalam fluida kerja di dalam silinder.

Pada motor Diesel empat langkah torak bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB), dimana setiap kali bergerak dari TMA ke TMB ataupun dari TMB ke TMA dihitung satu kali langkah. Oleh karena itu pada motor bakar empat langkah pada setiap siklusnya terdiri dari empat kali gerakan torak atau dua kali putaran poros engkol.

Untuk memperjelas prinsip kerja motor Diesel empat langkah tersebut, dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Skema Langkah Kerja Motor Bakar Empat Langkah
 Sumber: Gavee, 2010

Proses pembakaran didalam mesin Diesel terjadi secara periodik sebagai berikut:

a. Langkah isap (*Suction Stroke*)

Torak bergerak dari posisi TMA (Titik Mati Atas) ke TMB (Titik Mati Bawah), dengan KI (Katup Isap) terbuka dan KB (Katup Buang) tertutup. Karena gerakan torak tersebut maka udara akan terisap masuk ke dalam ruang bakar.

b. Langkah kompresi (*Compression Stroke*)

Torak bergerak dari posisi TMB ke TMA, dengan KI dan KB tertutup, sehingga terjadi proses kompresi yang mengakibatkan tekanan dan temperatur di dalam silinder naik.

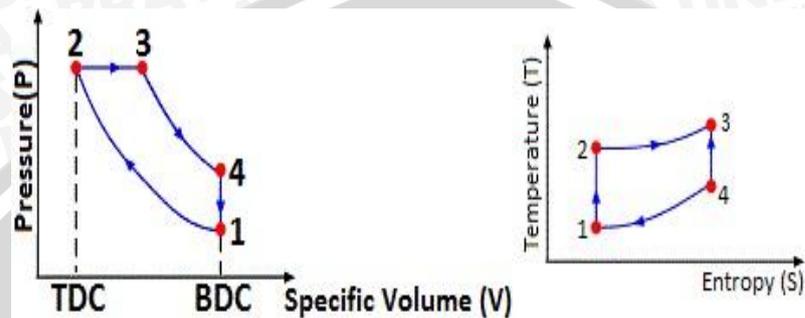
c. Langkah ekspansi (*Expansion Stroke*)

Sesaat sebelum posisi torak mencapai TMA pada langkah kompresi, bahan bakar diinjeksikan sehingga terjadi proses pembakaran. Akibatnya tekanan dan temperatur di ruang bakar naik lebih tinggi, sehingga torak mampu melakukan langkah kerja atau langkah ekspansi. Langkah kerja dimulai dari posisi torak pada TMA dan berakhir pada posisi TMB saat KB mulai terbuka pada awal langkah buang. Langkah ekspansi pada proses ini sering disebut dengan *power stroke* atau langkah kerja.

d. Langkah buang

Torak bergerak dari TMB ke TMA. KI tertutup dan KB terbuka, sehingga gas sisa pembakaran terbuang ke atmosfer

Siklus Motor Diesel empat langkah dapat ditunjukkan dalam diagram ($P - v$) dan diagram ($T - s$) pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Gambar Diagram Hubungan ($p - v$) dan ($T - s$) ideal Motor Diesel.
Sumber: Kurt Gramoll, 2010

Langkah kerja siklus Dual motor diesel teoritis terdiri dari:

1. Langkah kompresi adiabatik reversibel (1 – 2).
2. Langkah pemberian panas pada tekanan konstan (2 – 3).
3. Langkah ekspansi adiabatik reversibel (3 – 4).
5. Langkah pembuangan panas (4 – 1).

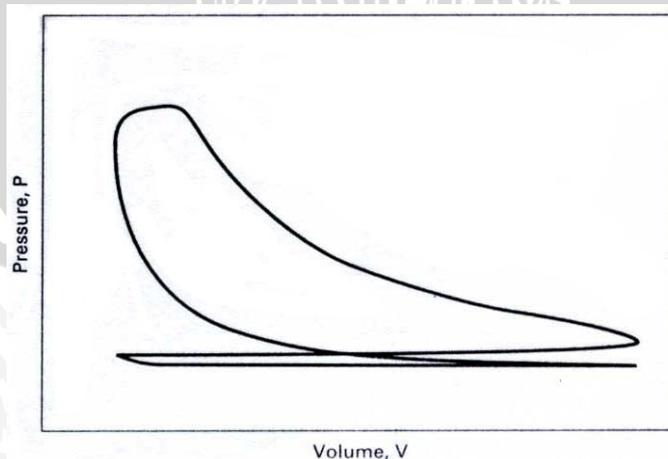
2.3.2 Siklus Aktual Motor Diesel Empat Langkah

Proses langkah kerja motor Diesel empat langkah dalam kenyataannya tidak dapat bekerja dalam kondisi ideal. Menurut Arismunandar, W (2002:29), penyimpangan dari siklus ideal itu terjadi karena dalam keadaan sebenarnya terjadi kerugian yang antara lain disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Kebocoran fluida kerja karena penyekatan oleh cincin torak dan katup tidak sempurna.
2. Katup tidak dibuka dan ditutup tepat di TMA dan TMB karena pertimbangan dinamika mekanisme katup dan kelembaman fluida kerja.
3. Fluida kerja bukanlah udara yang dapat dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan selama proses siklus berlangsung.

4. Pada motor bakar torak yang sebenarnya, pada waktu torak berada di TMA tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara. Kenaikan tekanan dan temperatur fluida kerja disebabkan oleh proses pembakaran bahan bakar dan udara di dalam silinder.
5. Proses pembakaran memerlukan waktu, tidak berlangsung sekaligus. Akibatnya proses pembakaran berlangsung pada volume ruang bakar yang berubah-ubah karena gerakan torak. Dengan demikian proses pembakaran harus sudah dimulai beberapa saat sebelum torak mencapai TMA dan berakhir beberapa saat setelah torak meninggalkan TMA menuju TMB. Jadi proses pembakaran tidak dapat berlangsung pada volume konstan atau pada tekanan konstan.
6. Terdapat kerugian kalor yang disebabkan oleh perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, terutama pada langkah kompresi, ekspansi dan pada waktu gas buang meninggalkan silinder.
7. Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari dalam silinder ke atmosfer.
8. Terjadi kerugian energi karena gesekan antara fluida kerja dengan dinding salurannya.

Dalam siklus udara standar, langkah buang dan langkah isap tidak diperlukan karena fluida kerja udara tetap berada di dalam silinder. Apabila tekanan gas dan volume silinder secara bersamaan pada setiap posisi torak dapat diukur maka dapat digambarkan siklus aktual motor Diesel (gambar 2.3).



Gambar 2.3 Siklus Aktual Motor Diesel Empat Langkah
Sumber: Pulkrabek (2004:48).

Berdasarkan semua hal tersebut maka bentuk diagram (P – V) dari siklus yang sebenarnya tidak sama dengan bentuk diagram siklus ideal. Pada siklus yang sebenarnya tidak pernah terjadi suatu proses dengan volume konstan atau tekanan konstan. Karena semua penyimpangan diatas menimbulkan kerugian energi, maka sebaiknya diusahakan agar siklus yang sebenarnya dapat mendekati siklus yang ideal.

2.4 Unjuk Kerja Motor Diesel

Pengujian dari suatu motor bakar adalah untuk mengetahui unjuk kerja dari motor bakar itu sendiri. Parameter – parameter yang akan dibahas untuk mengetahui unjuk kerja mesin dalam penelitian motor diesel empat langkah ini meliputi:

- Hubungan antara putaran mesin (n) dengan torsi (T).
- Hubungan antara putaran mesin (n) dengan daya efektif (Ne).
- Hubungan antara putaran mesin (n) dengan konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE).
- Hubungan antara putaran mesin (n) dengan efisiensi efektif (η_e).

2.4.1 Torsi (T)

Torsi merupakan momen putar yang dihasilkan oleh poros mesin. Besarnya torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *dynamometer*, yang akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros, sehingga harga torsi dapat dicari dari hubungan antara perkalian besarnya beban pengereman dengan panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros. Besarnya torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = F \times L \quad (\text{Bueche; 1988: 16}) (2-1)$$

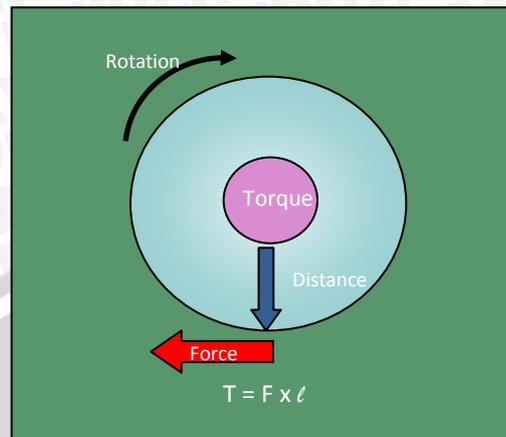
dengan :

T = torsi yang dihasilkan (kg.m)

F = besarnya beban pengereman (kg)

L = panjang lengan dinamometer (m)

Ada juga alat yang langsung menunjukkan hasil besarnya torsi yang dihasilkan oleh poros dengan satuan (kg.m) atau (lb.ft).



Gambar 2.4 Torsi
Sumber : herlinawati, 2010

2.4.2 Daya Efektif (N_e)

Daya efektif merupakan daya yang dihasilkan oleh poros engkol untuk menggerakkan beban. Daya efektif ini dibangkitkan oleh daya indikasi, yaitu suatu daya yang dihasilkan oleh torak, dimana sebagian dari daya ini digunakan untuk mengatasi gesekan mekanis, misalnya gesekan antara torak dan dinding silinder, gesekan antara poros dan bantalan, untuk menggerakkan peralatan bantu (pompa oli pelumas), dan lainnya. Daya efektif didapatkan dengan mengalikan torsi (T) dengan kecepatan anguler poros (ω). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$N_e = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,2} \quad (\text{Arismunandar; 2002: 32}) \quad (2-2)$$

dengan:

N_e = daya efektif (PS)

T = torsi (kg.m)

ω = kecepatan anguler poros (rad.detik^{-1})

n = putaran poros (rpm)

2.4.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif selama 1 jam. *Specific Fuel Consumption Effective* (SFCe) dengan persamaan sebagai berikut:

$$SFCe = \frac{Fc}{Ne} \quad (\text{Petrovsky; 1979: 63}) \quad (2-3)$$

dengan:

$SFCe$ = *Specific Fuel Consumption Effective* (kg.PS⁻¹.jam⁻¹)

Fc = konsumsi bahan bakar (kg.jam⁻¹)

Ne = daya efektif (PS)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif dapat dijadikan ukuran ekonomis dan tidaknya pemakaian bahan bakar. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang rendah menunjukkan efisiensi termal efektif yang tinggi karena efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif.

2.4.4 Efisiensi Termal Efektif (η_{te})

Efisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara kalor yang dirubah menjadi daya efektif dengan kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Efisiensi termal efektif merupakan suatu ukuran untuk mengetahui ekonomis atau tidaknya dalam pemakaian bahan bakar. Seberapa efisien bahan bakar yang dapat dikonversi menjadi daya efektif poros. Nilai dari efisiensi termal efektif juga berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik. Jadi jika konsumsi bahan bakar spesifik efektif semakin turun, maka efisiensi termal efektif akan meningkat. Biasanya efisiensi termal efektif dihitung dengan rumus :

$$\eta_{te} = \frac{Qe}{Qb} = \frac{632 \cdot Ne}{Fc \cdot LHV_{bb}} \times 100 = \frac{632}{SFCe \cdot LHV_{bb}} \times 100 \quad (\text{Petrovsky; 1979: 62}) \quad (2-4)$$

dengan:

η_{te} = efisiensi termal efektif (%)

Qe = jumlah kalor yang dirubah menjadi daya efektif (kkal.kg⁻¹)

Qb = jumlah kalor dari pembakaran bahan bakar dan udara (kkal.kg⁻¹)

Fc = konsumsi bahan bakar (kg.jam⁻¹)

$SFCe$ = *Specific Fuel Consumption Effective* (kg.PS⁻¹.jam⁻¹)

LHV_{bb} = nilai kalor rendah bahan bakar (kkal.kg⁻¹)

2.4.5 Analisis Emisi Gas Buang

Emisi kendaraan bermotor mengandung berbagai senyawa kimia. Komposisi dari kandungan senyawa kimianya tergantung dari kondisi mengemudi, jenis mesin, alat pengendali emisi bahan bakar, suhu operasi dan faktor lain yang semuanya ini membuat pola emisi menjadi rumit. Jenis bahan bakar pencemar yang dikeluarkan oleh mesin dengan bahan bakar bensin maupun bahan bakar solar sebenarnya sama saja, hanya berbeda proporsinya karena perbedaan cara operasi mesin. Secara visual selalu terlihat asap dari knalpot kendaraan bermotor dengan bahan bakar solar, yang umumnya tidak terlihat pada kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin. Walaupun gas buang kendaraan bermotor terutama terdiri dari senyawa yang tidak berbahaya seperti nitrogen, karbon dioksida dan uap air, tetapi didalamnya terkandung juga senyawa lain dengan jumlah yang cukup besar yang dapat membuat gas buang membahayakan kesehatan maupun lingkungan. Bahan pencemar yang terutama terdapat didalam gas buang kendaraan bermotor adalah karbon monoksida (CO), berbagai senyawa hidrokarbon, berbagai oksida nitrogen (NO_x) dan sulfur (SO_x), dan partikulat debu termasuk timbel (PB). Bahan bakar tertentu seperti hidrokarbon dan timbel organik, dilepaskan ke udara karena adanya penguapan dari sistem bahan bakar. Lalu lintas kendaraan bermotor, juga dapat meningkatkan kadar partikular debu yang berasal dari permukaan jalan, komponen ban dan rem. Setelah berada di udara, beberapa senyawa yang terkandung dalam gas buang kendaraan bermotor dapat berubah karena terjadinya suatu reaksi, misalnya dengan sinar matahari dan uap air, atau juga antara senyawa-senyawa tersebut satu sama lain. Proses reaksi tersebut ada yang berlangsung cepat dan terjadi saat itu juga di lingkungan jalan raya, dan adapula yang berlangsung dengan lambat. Reaksi kimia di atmosfer kadangkala berlangsung dalam suatu rantai reaksi yang panjang dan rumit, dan menghasilkan produk akhir yang dapat lebih aktif atau lebih lemah dibandingkan senyawa aslinya. Sebagai contoh, adanya reaksi di udara yang mengubah nitrogen monoksida (NO) yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor menjadi nitrogen dioksida (NO₂) yang lebih reaktif, dan reaksi kimia antara berbagai oksidanitrogen dengan senyawa hidrokarbon

yang menghasilkan ozon dan oksida lain, yang dapat menyebabkan asap awan fotokimi (photochemical smog).

2.5 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia oksidasi yang sangat cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar disertai dengan timbulnya cahaya (*flame*) dan menghasilkan kalor pada temperatur tinggi (Turns, 1996:12). Elemen utama bahan bakar adalah karbon, hidrogen, dan sulfur. Pembakaran dikatakan sempurna jika semua kandungan karbon (C) dalam bahan bakar terbakar habis membentuk karbondioksida (CO₂), semua hidrogen (H) terbakar membentuk uap air (H₂O), dan semua sulfur (S) terbakar membentuk sulfurdioksida (SO₂). Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, berarti pembakaran tidak sempurna.

Persamaan reaksi pembakaran secara umum :



Ditinjau secara aerodinamika ada dua jenis pembakaran, yaitu:

1. Pembakaran *premixed*

Pembakaran *premixed* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara (oksigen) dicampur terlebih dahulu secara mekanik (misalnya dengan karburator), kemudian baru dibakar. Contohnya adalah pembakaran pada motor bensin.

2. Pembakaran difusi

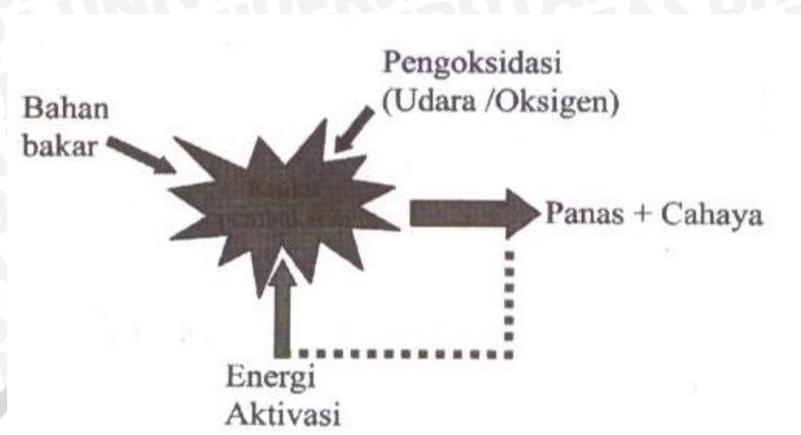
Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara pengoksidasi tidak dicampur secara mekanik, melainkan bercampur secara alami melalui proses difusi, kemudian baru dibakar. Contohnya adalah pembakaran pada motor diesel, pembakaran lilin.

2.5.1 Proses Pembakaran

Proses pembakaran bisa berlangsung jika ada :

1. Bahan bakar
2. pengoksidasi (oksigen)
3. Panas atau energi aktivasi

Berikut ini adalah ilustrasi dari suatu proses pembakaran lihat gambar 2.5.



Gambar 2.5 Ilustrasi Proses Pembakaran
Sumber : Wardana, 2008 : 3

Panas atau energi di sini diperlukan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar disebut energi aktivasi. Proses pembakaran yang ideal adalah pembakaran yang dapat menghasilkan produk pembakaran secara sempurna. Kondisi ini disebut dengan kondisi stoikiometri. Pembakaran dikatakan sempurna bila campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat, hingga tidak diperoleh sisa. Bila oksigen terlalu banyak, dikatakan campuran *lean* (kurus). Pembakaran ini menghasilkan api oksidasi.

Sebaliknya, bila bahan bakarnya terlalu banyak (atau tidak cukup oksigen), dikatakan campuran *rich* (kaya). Pembakaran ini menghasilkan api reduksi. Api reduksi ditandai oleh lidah api panjang, kadang-kadang sampai terlihat berasap. Keadaan ini juga disebut pembakaran tidak sempurna.

Pada proses pembakaran selalu diusahakan untuk terjadinya pembakaran yang sempurna, karena itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu :

1. Penguapan yang efisien dari bahan bakar.
2. Digunakan cukup udara.
3. Harus terjadi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara.
4. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi.

Kalau salah satu syarat ini tidak dipenuhi maka tidak akan terjadi pembakaran sempurna. (Soetiari Tj, 1990:35)

2.6 Saluran Gas Buang

Saluran gas buang adalah saluran yang berfungsi sebagai tempat keluarnya emisi gas buang atau gas sisa hasil pembakaran dari dalam silinder yang bertemperatur dan bertekanan tinggi ke udara bebas (atmosfer). Saluran gas buang yang tidak memiliki kebocoran, tahan akan getaran dan memiliki ukuran yang cukup, dengan tekukan yang halus diharapkan dapat mencegah terjadinya tekanan balik (*back pressure*) yang berlebih, sehingga semua gas sisa hasil pembakaran bisa keluar dari silinder pada saat langkah buang.

Komponen dari sistem pembuangan (gambar 2.6) terdiri dari :

1. Exhaust Manifold

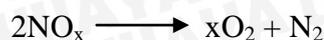
Setelah meninggalkan silinder saat katup buang terbuka, gas buang mengalir melalui *exhaust manifold*. *Exhaust manifold* adalah suatu pipa yang mengalirkan gas buang dari ruang silinder ke pipa pembuangan. *Exhaust manifold* biasanya terbuat dari bahan besi paduan, mempunyai lekukan yang halus untuk memperlancar aliran pembuangan.

2. Catalytic Converter

Catalytic converter adalah suatu sistem dalam saluran gas buang yang berguna untuk mengurangi emisi gas buang dari kendaraan bermotor. Di dalam *catalytic converter* terdapat material-material yang berfungsi sebagai katalis yang bertujuan untuk meningkatkan proses oksidasi gas CO dan HC pada emisi gas buang. Material yang sering digunakan pada *catalytic converter* adalah platinum, palladium, dan rhodium. Posisi *catalytic converter* pada saluran buang terletak antara *exhaust manifold* dan *muffler*.

Jenis *catalytic converter* ada 2 macam, yaitu jenis *two way converter* dan *three way converter*. *Catalytic converter* jenis *two way converter* mampu mereduksi gas CO dan HC, sedangkan *catalytic converter* jenis *three way converter* dapat mereduksi gas CO, HC dan NO_x. Reaksi yang terjadi pada *catalytic converter* adalah :

- a. Proses reduksi nitrogen oksida (NO_x) menjadi nitrogen (N₂) dan oksigen (O₂)



- b. Proses oksidasi karbon monoksida (CO) menjadi karbon dioksida (CO₂)



c. Proses oksidasi hidrokarbon (HC) menjadi karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O)

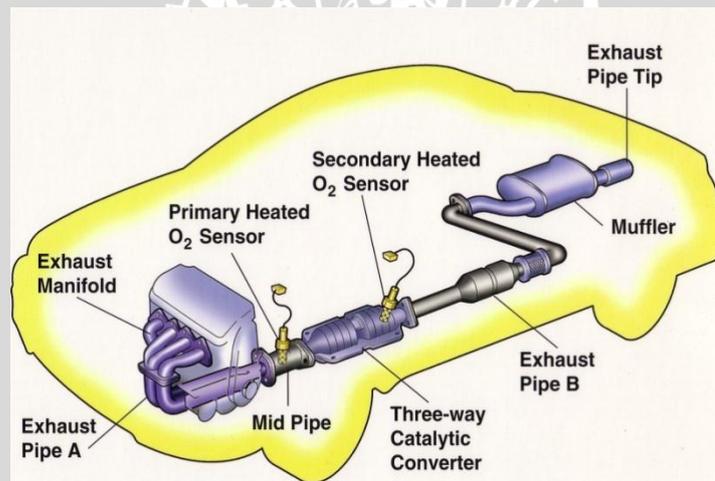


3. Muffler

Gas buang yang keluar dari silinder memiliki tekanan dan temperatur yang cukup tinggi, sehingga saat gas tersebut keluar dari saluran buang akan menimbulkan suara ledakan yang cukup keras. Untuk mengatasi masalah tersebut, pada saluran buang dilakukan pemasangan *muffler* agar saat gas buang melewati *muffler*, gas buang mengalami penurunan tekanan sehingga pada saat keluar dari saluran buang suara yang ditimbulkan lebih tenang. Posisi *muffler* terletak antara *catalytic converter* dan *tail pipe*.

4. Tail Pipe

Tail pipe adalah pipa logam panjang yang mengalirkan gas buang yang keluar dari *muffler* ke udara luar. (Masran, 2005)



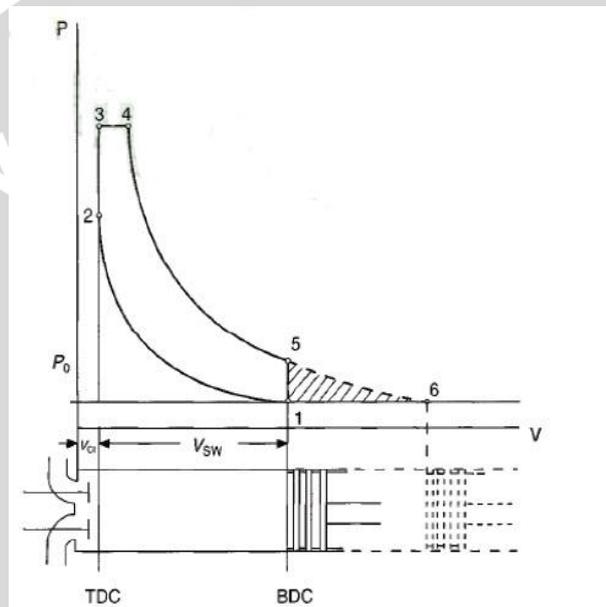
Gambar 2.6 Komponen Sistem Pembuangan
Sumber : Honda Bob, 2009

2.7 Aliran Proses Pembuangan

Setelah proses pembakaran dalam silinder selesai dan gas bertekanan tinggi ditransfer kerjanya ke *crankshaft*, gas tersebut kemudian dikeluarkan dari dalam silinder untuk proses penghisapan campuran bahan bakar dan udara pada siklus berikutnya. Proses pembuangan terjadi dalam dua tahap yaitu *exhaust blowdown* dan pada waktu langkah buang yang telah dijelaskan pada proses langkah kerja motor diesel sebelumnya.

2.7.1 Exhaust Blowdown

Proses *exhaust blowdown* (gambar 2.7) terjadi ketika katup buang mulai terbuka sampai dengan akhir langkah kerja, yaitu sekitar $60 - 40^\circ$ sebelum TMB. Pada proses ini tekanan silinder sekitar 4 atm sampai 5 atm dan temperatur masih diatas 1000°F . Tekanan pada saluran buang sekitar 1 atm dan ketika katup buang terbuka menghasilkan perbedaan tekanan sehingga menyebabkan gas sisa hasil pembakaran keluar dari dalam silinder melewati katup buang dan masuk ke dalam saluran buang.



Gambar 2.7 Proses *Exhaust Blowdown* Dalam Siklus Diesel
Sumber : Bernard Challen dan Rodica Baranescu, 1999

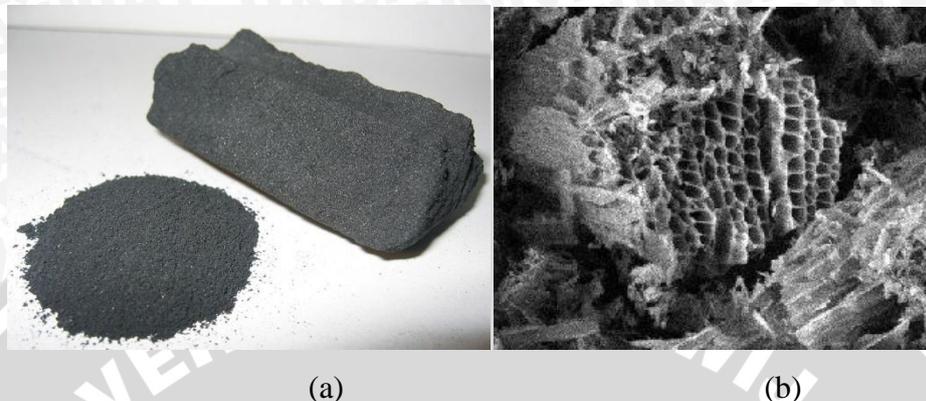
2.7.2 Aliran Saat Langkah Buang

Setelah melalui proses *exhaust blowdown*, terjadi proses langkah buang di dalam silinder, dimana torak bergerak dari TMB menuju ke TMA. Pada langkah buang kondisi katup buang silinder dalam keadaan terbuka. Gerakan torak dari TMB menuju ke TMA menyebabkan gas sisa yang masih terdapat dalam silinder terdorong keluar dari silinder melalui katup buang.

2.8 Activated Carbon

Activated carbon merupakan suatu bentuk arang yang telah melalui proses aktivasi dengan menggunakan gas CO_2 , uap air atau bahan-bahan kimia sehingga pori-porinya terbuka dan dapat digunakan sebagai adsorben. *Activated carbon*

biasanya digunakan sebagai molekul penyaring untuk proses pemurnian cairan dan gas, pemurnian dan penjernihan air, penghilangan bau, dekloronisasi, menghilangkan zat racun, penyaring, menghilangkan garam-garam dan dapat juga di gunakan sebagai katalis.



Gambar 2.8 *Activated Carbon* (a) , Struktur Mikroskopik *Activated Carbon* (b)
Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/Activated_carbon

Activated carbon (gambar 2.8) berbentuk amorf terdiri dari pelat-pelat datar, disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya. Pelat-pelat tersebut bertumpuk-tumpuk satu sama lain membentuk kristal-kristal dengan sisa hidrokarbon, ter dan senyawa organik lain yang tertinggal pada permukaannya.

Bahan baku *activated carbon* dapat berasal dari bahan nabati atau turunannya dan bahan hewani. Di antaranya adalah tempurung kelapa, serbuk gergaji, ampas tebu, dan bahan-bahan lain yang mengandung karbon. Mutu *activated carbon* yang dihasilkan dari tempurung kelapa mempunyai daya serap tinggi, karena arang ini berpori-pori dengan diameter yang kecil, sehingga mempunyai internal yang luas.

2.8.1 Proses Pembuatan *Activated Carbon*

Proses pembuatan *activated carbon* terdiri dari dua tahap yaitu karbonisasi dan aktivasi baik secara fisika maupun kimia.

2.8.1.1 Karbonisasi

Karbonisasi disebut juga dengan pengarangan, merupakan perlakuan awal pada bahan mentah. Bahan mentah dipanaskan untuk menghilangkan bahan-bahan

volatil yang terkandung dalam bahan mentah tersebut. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu berkisar antara 500-800°C. Dari proses ini dihasilkan karbon yang tidak aktif karena tidak memiliki luas permukaan spesifik seperti yang diperlukan dari suatu *activated carbon* dalam proses adsorpsi.

2.8.1.2 Aktivasi

Proses aktivasi adalah proses yang penting dalam memproduksi adsorben dengan porositas tinggi dan luas spesifik yang benar. Aktivasi dapat menghasilkan susunan atom-atom karbon dengan afinitas terhadap senyawa-senyawa organik.

Proses aktivasi dibagi menjadi dua jenis yaitu aktivasi secara kimia dan aktivasi secara fisika. Proses aktivasi secara kimia dilakukan dengan cara merendam arang hasil karbonisasi dalam larutan pengaktif seperti kalsium klorida (CaCl_2), magnesium klorida (MgCl_2), seng klorida (ZnCl_2), natrium hidroksida (NaOH), natrium karbonat (Na_2CO_3) dan natrium klorida (NaCl). Bahan-bahan pengaktif tersebut berfungsi untuk mendegradasi atau penghidrasi molekul organik selama proses karbonisasi, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses karbonisasi dan melindungi permukaan karbon sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi dapat dikurangi. Proses perendaman arang dilakukan selama kurang lebih 24 jam. Setelah proses perendaman selesai, arang kemudian dipanaskan pada suhu 600 - 900°C.

Untuk proses aktivasi secara fisika dilakukan dengan cara mengalirkan gas aktivasi seperti uap air, gas karbon dioksida, oksigen, atau nitrogen pada arang hasil karbonisasi. Gas-gas tersebut berfungsi untuk mengembangkan struktur rongga yang ada pada arang sehingga memperluas permukaannya, menghilangkan konstituen yang mudah menguap dan membuang produksi tar atau hidrokarbon-hidrokarbon pengotor pada arang. Proses aktivasi secara fisika biasanya dilakukan pada *Fluidized bed reactor* dan berlangsung pada temperatur 700-900°C. (Masran, 2005).

2.8.2 Sifat Fisik Permukaan *Activated Carbon*

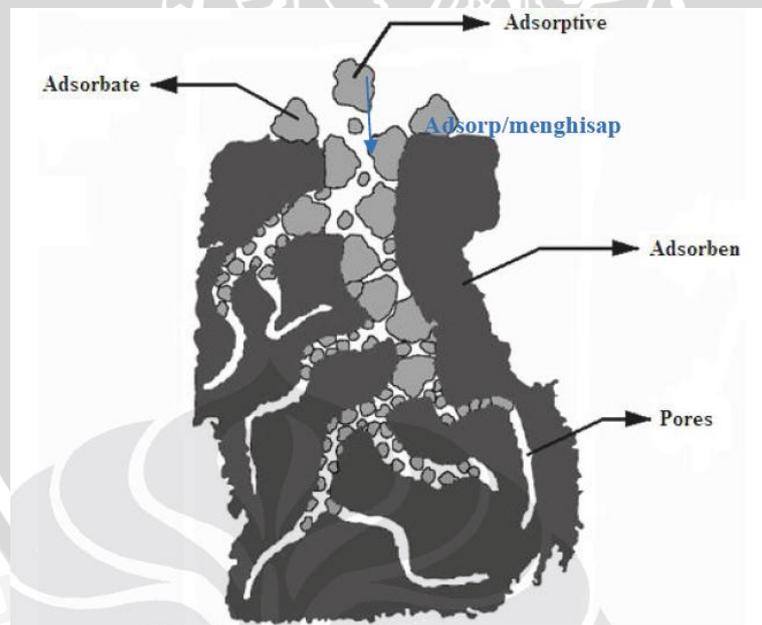
Luas permukaan merupakan sifat fisik permukaan *activated carbon* yang penting. Luas permukaan adsorpsi *activated carbon* tergantung pada ukuran

molekul dari adsorben dan diameter pori *activated carbon*. *Activated carbon* yang digunakan untuk mengadsorpsi zat yang berfasa cair pada umumnya memiliki daerah pori sekitar 3 nm atau lebih, sedangkan untuk *activated carbon* yang digunakan untuk mengadsorpsi zat berfasa gas memiliki diameter pori lebih kecil dari 3 nm.

2.8.3 Proses Adsorpsi *Activated carbon*

Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika fluida (cairan maupun gas) terikat kepada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu lapisan film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut. Proses adsorpsi berbeda dengan proses absorpsi, dimana pada proses absorpsi fluida yang terserap akan membentuk suatu larutan.

Berikut ini adalah ilustrasi terjadinya proses adsorpsi (gambar 2.9). Material berupa padatan berpori (pores) yang menghisap (*adsorp*) suatu fluida disebut *adsorbent*. Molekul fluida yang dihisap tetapi tidak terakumulasi/melekat ke permukaan disebut *adsorptive*, sedangkan fluida yang terakumulasi/melekat ke permukaan disebut *adsorbate*.



Gambar 2.9 Proses Adsorpsi
Sumber : Ambarita (2008:6)

Pada dasarnya adsorben dibagi menjadi tiga, yaitu adsorben yang mengadsorpsi secara fisik (*activated carbon*, silika gel, dan zeolit), adsorben yang mengadsorpsi secara kimia (*calcium chloride*, *metal hydrides*, dan *complex salts*)

serta adsorben yang mengadsorpsi secara fisik dan kimia. Adapun mekanisme adsorpsi pada *activated carbon* adalah sebagai berikut:

1. Molekul adsorbat berpindah menuju lapisan terluar dari adsorben.
2. *Activated carbon* dalam kesatuan kelompok mempunyai luas permukaan pori yang besar sehingga dapat melakukan penyerapan terhadap adsorbat.
3. Sebagian adsorbat ada yang teradsorpsi di permukaan luar, tetapi sebagian besar teradsorpsi di dalam pori-pori adsorben dengan cara difusi
4. Bila kapasitas adsorpsi masih besar, sebagian besar molekul adsorbat akan teradsorpsi dan terikat di permukaan. Tetapi bila permukaan pori sudah jenuh dengan adsorbat maka akan terjadi dua kemungkinan, yaitu :
 - Terbentuk lapisan adsorpsi kedua, ketiga dan seterusnya
 - Tidak terbentuk lapisan adsorpsi kedua, ketiga dan seterusnya sehingga adsorbat yang belum teradsorpsi akan berdifusi keluar dari pori (tidak terjadi proses adsorpsi)

2.9 Hipotesa

Dengan pemasangan *activated carbon catalytic converter* akan mempengaruhi unjuk kerja dan emisi gas buang motor diesel empat langkah. Dimana kerugian dari dalam silinder akibat keluarnya fluida kerja gas hasil pembakaran pada proses *blowdown* dapat dikurangi dengan terjadinya kenaikan tekanan gas buang pada *exhaust* membuat pembakaran lebih sempurna, sehingga unjuk kerja akan meningkat dan emisi yang dihasilkan akan menurun.