

BAB II

LANDASAN TEORI

Motor bakar adalah sebuah mesin kalor dimana gas panas diperoleh dari proses pembakaran didalam mesin itu sendiri dan langsung dipakai untuk melakukan kerja mekanis, Oleh karena itu motor diesel biasanya disebut juga "motor penyalaan - kompresi" (*Compression-Ignition Engine*) oleh karena cara penyalaan bahan bakarnya dilakukan dengan menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara yang telah bertekanan dan bertemperatur tinggi sehingga bahan bakar tersebut secara spontan terbakar sendiri yang kemudian menghasilkan daya ledakan dan menimbulkan gaya gerak mendorong torak/ piston untuk melakukan awal proses kompresi.

Pemakaian bahan bakar dari motor diesel kira - kira 25% lebih rendah dari pada motor bensin dan harga bahan bakarnya pun lebih murah (Ref. 5 Hal.5). Hal itu salah satu penyebab motor diesel lebih hemat dan pengoperasiannya relatif murah. Akan tetapi karena perbandingan kompresi yang tinggi maka tekanan kerja motor diesel besar menyebabkan motor diesel harus dibuat lebih kuat, besar dan berat dalam segi materialnya memungkinkan harga motor diesel lebih tinggi dibandingkan dengan motor bensin. Disamping itu, motor diesel mengeluarkan suara getaran yang lebih besar, warna dan bau gas buang kurang menyenangkan. Namun dilihat dari segi ekonomisnya serta sedikit polusi bahaya udara yang ditimbulkan motor diesel, meskipun begitu dilihat dari segi perawatannya motor diesel masih lebih disukai karena lebih ekonomis.

II.2. PROSES PEMBAKARAN

Proses pembakaran dimulai dengan masuknya bahan bakar ke dalam ruang pembakaran . bahan bakar masuk melalui lubang Nozzle yang berfungsi untuk memancarkan bahan bakar dalam kecepatan dan tekanan yang tinggi. Pada waktu proses injeksi bahan bakar ke dalam silinder ada proses atomisasi, perubahan bentuk bahan bakar dari cairan menjadi atom yang lebih kecil dan halus, yang disebut droplet. *Droplet* yang terjadi memiliki ukuran dan kecepatan yang berbeda. Pada saat inilah terjadi proses evaporasi, dimana ada *droplet* yang menguap, bergabung dengan gas yang ada di dalam silinder dan ada yang menyatu menjadi molekul.

Panas yang ada di ruang bakar menyebabkan adanya kenaikan tekanan yang hampir mendekati titik nyala bahan bakar. Pada saat piston bergerak ke arah titik mati atas (TMA), maka kenaikan tekanan dan temperatur menyebabkan bahan bakar terbakar dan tenaga dihasilkan. Proses pemancaran bahan bakar ke dalam ruang bakar dapat dibagi dalam tiga bagian :

1. Formasi untuk memancarkan bahan bakar.
2. Proses atomisasi dan evaporasi.
3. Proses pembakaran.

II.1.1. Formasi Pemancaran Bahan Bakar

Bahan bakar yang berasal dari tangki bahan bakar akan mengalir ke dalam injector. Bahan bakar akan dipompa dan dikeluarkan ke ruang bakar melalui Nozzle. Formasi pemancaran tergantung dari bentuk dan banyaknya lubang yang ada di Nozzle. Pada Diesel yang *indirect-injection*, karena ada *prechamber* biasanya menggunakan tipe *single hole*. Sedangkan yang *direct-injection* menggunakan tipe *multiple hole*. Beda dari bentuk dan

jumlah lubang pada Nozzle menyebabkan bentuk dan kecepatan *droplet* yang dihasilkan berbeda. Hal ini akan berdampak pada proses pembakaran yang terjadi.

II.1.2. Proses Atomisasi dan Vaporisasi

Proses atomisasi terjadi pada saat bahan bakar dipancarkan oleh lubang Nozzel. *Droplet* yang terbentuk didaerah sekitar *hole* akan memiliki kecepatan lebih besar karena adanya gaya aerodinamis. *Droplet* yang lebih kecil akan bergetar dan membelah menjadi beberapa bagian yang lebih kecil. Pada kondisi yang normal kadang – kadang terjadi perubahan kecepatan, ada jeda jangka waktu yang diikuti oleh pergerakan *droplet* kecil dari bagian sisi disampingnya. Bentuk dari *droplet* yang terjadi adalah elips pada bagian muka dan agak datar dibagian belakang. Tingkat proses atomisasi yang dibutuhkan tergantung pada waktu yang tersedia untuk melakukan proses tersebut. Dalam mesin Diesel waktu yang tersedia sangat pendek dan *droplet* yang dibutuhkan sangat kecil, pada kondisi ini proses pencampuran udara akan berperan sangat penting disamping *injector* harus menyediakan baik tekanan awal dan penyebaran *droplet*.

II.1.3. Proses Pembakaran di Ruang Bakar

Pada mesin Diesel pembakaran terjadi pada tekanan yang konstan. Proses pembakaran dimulai dengan masuknya bahan bakar dalam ruang kecil yang bernama *precamber*, yang ada pada *indirect engine*, atau langsung masuk dalam ruang bakar yang ada pada *direct engine*. Pada sistem IDI (*indirect-injection engine*), penggunaan *precamber* memberikan manfaat yaitu semakin minimalnya *noise* dan proses pembakaran yang cepat. Bahan bakar yang telah bercampur dengan udara akan mengalami proses

pengabutan dan selanjutnya tekanan akan meningkat diikuti oleh peningkatan temperatur udara yang ada didalam ruang bakar. Pada tekanan yang konstan bahan bakar akan mencapai titik nyala sehingga akan terbakar dengan cepat. Disini proses kerja dihasilkan, dan tenaga dari proses pembakaran bahan bakar ini akan menekan piston sehingga bergerak kearah titik mati bawah.

Disamping proses itu *exhaust valve* untuk proses pengambilan dan pembuangan udara sisa pembakaran akan terbuka, dan udara bersih akan menggantikan udara sisa pembakaran. Pada dasarnya proses pembakaran diikuti oleh dua desain filosofi yaitu *High swirl* dan *Low swirl*. Pada *High swirl engine* memiliki kedalaman seperti cawan (cekung) pada bagian piston, jumlah lubang yang sangat kecil pada injector (biasanya 4 buah), cukup tekanan injeksi 13-340 atm. Pada *Low swirl engine* biasanya memiliki bentuk kecekungan yang tidak terlalu dalam, jumlah yang besar pada bagian injector (biasanya 8 buah), tekanan yang sangat besar 500-1400 atm. Biasanya mesin dengan dimensi kecil menggunakan jenis *High swirl*. Tujuan utama digunakan injector untuk mendistribusikan dan mencampur bahan bakar dengan udara yang ada dilingkungan sekitarnya. Pada gambar 2.1 menunjukkan tingkatan panas yang dikeluarkan selama proses pembakaran berlangsung. Dimulai dari titik b yaitu *start of ignition*, yang didalamnya ada *ignition delay*, berupa jeda pembakaran. Pembakaran yang berlangsung menyebabkan peningkatan panas karena adanya atom bahan bakar yang telah bercampur dengan udara (*premixed combustion phase*) dimampatkan mencapai titik tertinggi panas, yang akhirnya akan terbakar dan menghasilkan tenaga. Proses selanjutnya yang terjadi adalah pada akhir proses pembakaran ada pembakaran lagi

yang disebabkan adanya molekul campuran atom bahan bakar dan udara yang tidak sempat terbakar.

Untuk tekanan injeksi yang tetap, jumlah bahan bakar yang diinjeksikan berubah dengan berubahnya lama waktu injeksi. Lama waktu untuk injeksi yang dibutuhkan dengan tekanan yang tetap dapat ditingkatkan dengan mengurangi jumlah dan ukuran *hole* yang ada pada ujung *injector*. Kualitas pembakaran biasanya ditentukan dengan faktor seperti kualitas *droplet* yang didistribusikan, besarnya tekanan, dan sudut penyemprotan bahan bakar. Jika kualitas pembakaran menurun maka akan berakibat meningkatnya emisi yang terkandung dalam gas buang. Dalam Diesel putaran tinggi yang berdimensi kecil, bahan bakar menumbuk bagian permukaan dari cekungan pada piston karena adanya lubang yang kecil. Bentuk *swirl* bisa digunakan untuk memperpendek penetrasi dan meningkatkan pencampuran bahan bakar dengan udara yang tersedia, tetapi konsentrasinya berkurang nilai efisien volumetrik dan meningkatnya perpindahan panas yang terjadi. *Droplet* akan mencapai permukaan piston pada daerah yang basah. Biasanya *droplet* yang tidak terbakar bergabung dengan *droplet* yang lain.

Ada tegangan waktu dari proses injeksi bahan bakar sampai proses pembakaran. Jeda waktu ini disebut *ignition delay*. Parameter yang sangat berpengaruh pada *ignition delay* adalah temperatur dan tekanan udara pada saat proses pembakaran berlangsung dan karakteristik kimia dari bahan bakar. Pada proses *ignition delay*, waktu delainya harus cepat karena pada saat itu penumpukan bahan bakar yang telah dikabutkan akan bercampur dengan udara. Bila pembakaran terjadi, bahan bakar ini akan terbakar dengan cepat yang menyebabkan kerusakan pada piston dan ring piston utama.

Banyaknya campuran bahan bakar yang terbakar dengan cepat yang diikuti oleh proses pembakaran tergantung pada sifat yang dimiliki oleh bahan bakar, parameter injeksi, bentuk aliran didalam silinder, temperatur dan tekanan yang ada didalam silinder, dan *ignition delay*. Pada proses pembakaran cepat, rate dari pembakaran dikontrol oleh rata - rata bahan bakar yang bercampur pada kondisi mesin hangat. Besarnya gas buang tergantung salah satunya dari kualitas bahan bakar yang digunakan disamping faktor pembakaran.

Dari proses pembakaran yang telah diuraikan, maka proses pembakaran dimulai dengan adanya udara dan bahan bakar, yang kemudian masuk ke dalam ruang bakar (*combustion chamber*). Pada daerah ini ada proses pencampuran bahan bakar yang telah dikabutkan dengan atom O_2 yang terdapat di dalam udara. Proses selanjutnya adalah pembakaran, dimana dari proses pembakaran ini didapat tenaga disamping produk pembakaran yang lain berupa gas sisa produk pembakaran.

II.3. Kandungan Gas Buang Hasil Pembakaran mesin Diesel

II.3.1 Nitrogen (NO_x) dan Oksigen

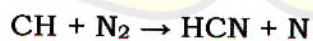
Komponen gas buang N_2 yang berasal dari pembakaran biasanya tidak dipengaruhi oleh proses pembakaran yang terjadi. Sedangkan peningkatan temperatur yang terjadi pada gas buang, khususnya pada bagian yang substansial pada aliran gas buang dapat mewakili besarnya panas yang terbuang dari sistem. Kelebihan O_2 dan penyatuan nitrogen yang berlebihan dari yang dibutuhkan dalam proses pembakaran, dalam batasan keseimbangan kimia, merupakan bentuk yang penting untuk memastikan baik dalam syarat pembersihan maupun

pencampuran yang menyeluruh dari udara dan bahan bakar dalam ruang bakar.

Jumlah kebutuhan yang riil bahan bakar dari tiap proses pembakaran tidak hanya bergantung pada mudahnya proses pembakaran dengan proses pencampuran yang terjadi, tetapi juga besarnya beban. Batasan yang lain juga dipengaruhi oleh bentuk dari ruang bakar (*combustion chamber*), dan lokasi dari katup dan injector bahan bakar. Selama proses pembakaran ada deretan reaksi yang terjadi yang menyebabkan tingkat kandungan NO_x terus membesar.

Hanya kandungan NO yang terpengaruh oleh proses pembakaran mesin pembakaran dalam (*internal combustion*) dibawah kondisi diperkirakan stkiometri, ketika NO₂ dalam jumlah yang dibutuhkan pada proses pembakaran. NO terbentuk dari gas panas yang terjadi selama proses pembakaran yang merupakan salah satu bentuk gas buang. Pembentukannya sangat lambat, tergantung dari keseluruhan proses pembakaran, dan rata - rata peningkatan temperatur gas yang dihasilkan.

Adanya atom oksigen yang terdapat dibelakang proses penyalaan api dalam proses terbakarnya gas menandakan proses pemisahan ikatan dari molekul nitrogen dan selanjutnya menjadi atom bebas N. Energi aktivasi yang terjadi pada proses reaksi ini akan tinggi, dengan bentuk tipikal perbandingan batasan langkah dalam pembentukan NO dibawah kondisi operasi maksimal mesin. Hasil yang semakin kecil terjadi dari pembentukan NO dari nyala api yang terjadi pada reaksi antara radikal CH dan N₂.



Reaksi diatas juga disebut sebagai reaksi *prompt mechanism* yang memiliki tingkat energi aktivasi yang lebih kecil dari *thermal mechanism*, dan ini terjadi khususnya dalam bentuk nyala api,

dimana adanya radikal CH yang ada pada puncak konsentrasi. Selama proses reaksi pembakaran terjadi, pembentukan NO terjadi pada daerah pembakaran 1200°C, atau berlangsung dengan cepat pada 1500°C. Besarnya temperatur ini juga berakibat pada penambahan jumlah kandungan NO dibawah kondisi dimana dalam tahap pencampuran bahan bakar yang dipengaruhi oleh faktor bahan bakar. Faktor lain yang mendorong proses oksidasi adalah daerah dimana rasio komposisi kaya bahan bakar, dan keseluruhan waktu gas dalam pembakaran yang meledak pada temperatur dan tekanan tinggi.

Adanya reaksi yang berurutan, menyebabkan setelah proses pembakaran di *chamber*, 5-10% NO terbentuk, lebih lanjut dioksidasi menjadi nitrogen dioksida (NO₂) dalam keadaan banyak oksigen (O₂) didalam temperatur dari aliran gas buang. Bentuk dari oksida nitrogen atau nitrogen oksida (NO_x) digunakan pada group, berupa NO maupun komponen NO₂ dari aliran gas buang. Meskipun oksida yang lain seperti *nitrous Oxide* (N₂O) yang juga terdapat dalam gas buang, namun karena konsentrasinya sangat kecil jika dibandingkan dengan konsentrasi NO dan NO₂, maka dapat diabaikan.

NO_x sebagai salah satu emisi gas buang merupakan salah satu fungsi penting yang menunjukkan kondisi pada saat pembakaran. Besarnya NO_x patut untuk dipertimbangkan dalam penggunaan bermacam - macam jenis motor maupun kondisi besar beban yang digunakan, apalagi ada banyak variasi bahan bakar dan berbagai faktor seperti kandungan nitrogen dan performansi proses pembakaran. Penambahan jumlah kelembapan udara yang masuk mengakibatkan penurunan temperatur tertinggi dalam proses pembakaran dan karena itulah terjadi penurunan pembentukan NO dalam proses pembakaran.

Peningkatan temperatur pada saat start dari proses kompresi menyebabkan meningkatnya kemampuan proses kompresi, oleh karena itulah terjadi peningkatan temperatur pembakaran.

Ada beberapa catatan yang dapat diambil dari proses terbentuknya emisi gas buang berupa NO maupun NOx, yang antara lain :

1. Mesin yang dioperasikan dalam putaran rendah biasanya menghasilkan konsentrasi dari NO dan NOx dalam jumlah yang besar, tergantung pada besarnya waktu reaksi yang tersedia.
2. Pengurangan jumlah NOx pada umumnya terjadi pada waktu proses pembakaran terjadi secara cepat dan *ignition delay* (ID) yang terjadi pendek.
3. Perbandingan kompresi yang ideal dapat memendekkan waktu *ignition delay*, dimana dapat mengurangi pecahnya gas bahan bakar yang terbakar dalam bagian daerah pencampuran dan mempermudah waktu injeksi bahan bakar untuk mengontrol NOx yang dihasilkan.
4. Produksi NOx juga dapat dikurangi dengan meningkatkan intensitas injeksi bahan bakar. Hal ini akan mengurangi waktu proses difusi untuk mengontrol pembakaran dengan mempercepat proses pencampuran.

Ada cara efektif untuk mengurangi emisi NOx dan NO yaitu dengan membalikkan kandungan gas buang dalam lubang inlet, yang lazim dikenal dengan *Exhaust Gas Recirculation* (EGR).

II.3.2. Efek Kondisi Operasi Pada Pembentukan NO

Setelah kita melihat proses pembentukan NO, kita ketahui bahwa penyebab utama terbentuknya NO dan NOx adalah perubahan temperatur gas bahan bakar yang terbakar dan titik

puncak temperatur. Oleh karena itu berbagai kondisi pengoperasian mesin termasuk temperatur akan mempengaruhi besarnya NO dan NOx yang terbentuk. Pada kondisi temperatur yang konstan konsentrasi oksigen adalah variabel kedua yang menyebabkan terbentuknya emisi NO dan NOx.

Temperatur tertinggi yang ada pada pembakaran yang terjadi diruang bakar merupakan fungsi dari waktu dimana pembakaran terjadi. Penundaan waktu proses *spark ignition* menyebabkan penurunan temperatur pembakaran (dan peningkatan temperatur gas buang), yang utama adalah penurunan kandungan NO dan NOx, dan penurunan kandungan HC, pada aliran gas bahan bakar. Efeknya adalah peningkatan perubahan temperatur pada kondisi range kecil dimana produksi NO meningkat.

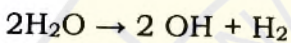
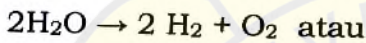
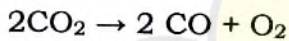
Efek peningkatan beban (*load*) pada pembentukan emisi NO dan NOx pada dasarnya menyebabkan penurunan komposisi NO dan NOx pada bagian residual gas, ketemperatur yang lebih tinggi dan merata dalam waktu katup overlap. Oleh karena itulah peningkatan beban menyebabkan penurunan emisi NO dan NOx.

II.3.3. Carbon Monoksida (CO)

Pada proses konversi bahan bakar secara umum dapat dilihat sebagai konversi dari bahan bakar menjadi bagian bentuk hidrokarbon yang lebih kecil, diikuti dengan adanya proses oksidasi menjadi aldehid atau keton dan akhirnya CO yang dioksidasi menjadi CO₂. Emisi gas buang CO berasal dari proses pengoksidasian yang tidak sempurna dan juga kurang tersedianya oksigen yang terdapat pada kondisi gas campuran kaya bahan bakar. Perubahan dari CO dan CO₂, biasanya terjadi dengan reaksi : $CO + OH \rightarrow CO_2 + H$

II.3.4. Carbon Dioksida (CO₂) dan Uap Air

Adanya gas Carbon Dioksida (CO₂) dan uap air yang keluar dari katup exhaust merupakan produk yang ideal dari suatu proses pembersihan pembakaran setelah terjadi, yang menggunakan bahan bakar berkomponen hidrokarbon sebagai proses pembebasan energi. Energi yang keluar berupa panas ini menyebabkan lepasnya atom H₂ dan sebagian proses pembakaran menghasilkan CO dan HO yang kemudian akan mengikat atom bebas O₂ dalam rangka penyeimbangan semua produk pembakaran yang terjadi bersamaan dengan stage awal proses pembakaran. Biasanya proses terjadi seperti :

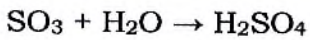
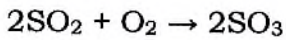
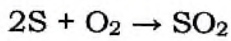


Semua proses tersebut berlangsung secara endothermis (menyerap energi). Sebagai akibatnya mereka bereaksi merendahkan temperatur tertinggi dan kadar awal panas yang dikeluarkan. Pada kasus reaksi yang berlawanan (temperatur dibawah 200^o) sebagai bentuk kemajuan langkah ekspansi. Energi bentukan yang terlambat dalam suatu siklus menyebabkan menurunnya efisiensi yang diukur selama peningkatan *crank angel* pada saat itu.

II.3.5. Oksida Sulfur (SO_x, SO₂, SO₃)

Ada banyak macam oksida sulfur yang keluar dari proses pembakaran, seperti Sox, SO₂, SO₃. Kandungan emisi tersebut sebagai akibat langsung kandungan sulfur yang terdapat pada bahan bakar. Sebagian kecil hasil oksidasi, berupa SO₂ sebanyak 3-5% dioksidasi lanjut menjadi SO₃. Jumlah kandungan oksida ini bergantung pada proses pembakaran yaitu temperature dan

tekanan, kelebihan udara, dan kandungan sulfur yang terdapat dalam bahan bakar. Proses ini terjadi karena adanya logam dan vanadium oksida yang berfungsi sebagai katalis. Dalam gas buang, perputaran gas dalam (*reversible exothermic*), reaksi terjadi antara SO₃ dengan uap air yang terjadi yang kemudian menjadi *sulfuric acid* (H₂SO₄), dapat dilihat pada reaksi dibawah ini :



Kandungan asam H₂SO₄ ini sangat berbahaya dan dapat mengakibatkan kerusakan permanent pada dinding maupun permukaan piston. Pada suhu diatas 400°C kandungan asam H₂SO₄ akan sangat kompleks dan tidak dapat dipisahkan, tetapi bila temperatur menurun maka akan terbentuk uap asam H₂SO₄. pada saat mesin melakukan pendinginan, uap asam H₂SO₄ akan menempel pada setiap permukaan ruang bakar yang dapat mengakibatkan adanya korosi.

II.3.6. Hidrokarbon

Gas buang yang mengalir mengandung emisi hidrokarbon. Emisi ini berasal dari material yang tidak ikut terbakar dalam proses pembakaran yang telah berlangsung dan juga berasal dari penekanan yang berlebihan bahan bakar kepada dinding selama waktu *ignition delay*. Ada sebagian jumlah bahan bakar pada proses pembakaran dalam Diesel yang tidak teroksidasi secara sempurna, bagian ini akan merubah menjadi methane yang berbentuk molekul yang besar yang kehadirannya tergantung pada temperatur. Gas yang terbentuk disebut dengan emisi gas hidro karbon (HC), yang ada biasanya pada suhu 190°C.

Pada temperatur rendah, gas HC akan terkondensasi menjadi cairan atau bentuk padat.

Ada 5 sumber utama emisi gas hidrokarbon (HC) yang keluar dari proses pembakaran yang berlangsung di Diesel antara lain :

1. Pencampuran yang berlebih antara bahan bakar dan udara melampaui batas ideal pada proses pembakaran.
2. Dalam proses pencampuran, rasio bahan bakar dan udara terlalu kaya untuk melakukan proses pembakaran.
3. Penekanan yang berlebih dari semburan bahan bakar dalam dinding pembakaran.
4. Berhentinya proses reaksi pembakaran selama ekspansi dan pencampuran bahan bakar.
5. Bocornya bahan bakar dari injektor dan lubang Nozzle.

II.4. Partikel Dalam Gas Buang

II.4.1 Partikulate Matter (PM)

Unsur padat yang keluar bersama dengan berbagai macam gas buang disebut sebagai PM (*Particulate Matter*). Pengertian *particulate matter* adalah semua material yang dikumpulkan pada suatu filter khusus setelah proses pendinginan gas buang yang keluar, difilter, pada udara temperatur yang ada dilingkungan sekitar 50°C. Definisi ini menyangkut semua partikel yang mewakili penggabungan yang lengkap dari komponen organik dan anorganik, seperti : jelaga (dengan rasio perbandingan C/H terbesar sebagai elemen hidrokarbon), asap bahan bakar (bersama dengan air dan sulfat), atau sebagian hidrokarbon yang tidak terbakar. Penambahan unsur partikel (PM), didapatkan dengan oksidasi sulfur menjadi SO₂ atau SO₃. Partikel ini

menyumbang sekitar 20% dari jumlah total PM yang ada, sumber PM yang lainnya adalah minyak pelumas. Minyak ini biasanya ikut masuk kedalam ruang pembakaran dan ada sebagian yang tidak terbakar. Semua bentuk material yang merupakan derivatif dari bahan bakar dan minyak pelumas kemudian dikenal dengan nama *soluble organic fraction* (SOF). Proporsi dari PM yang terbentuk utamanya tergantung pada kerja dan keberhasilan dari ring piston untuk membersihkan kelebihan minyak pelumas. Komposisi kandungan material PM yang keluar dari Diesel antara lain :

Karbon, 30 %

Sulfat dan air, 19 %

Bahan bakar tak terbakar, 7 %

Minyak pelumas yang terbakar, 36 %

Material tidak diketahui, 8 %

PM terbentuk mengikuti pergerakan atom yang berurutan, bentuk permukaan, dan bentuk penyebaran gas bahan bakar dalam ruang bakar (*combustion Chamber*). SOF terjadi sebagai bentuk adsorpsi dan kondensasi selama melewati Exhaust System.

Tahapan terakhir proses pembentukan partikel meliputi dua kejadian yang saling berkaitan dan terjadi sebagai pendinginan aliran gas buang yang keluar dari ruang bakar (*combustion Chamber*). proses adsorpsi berkaitan dengan molekul hidrokarbon yang ada pada bagian aliran gas buang yang akan melekat pada permukaan partikel *soot* dan proses kondensasi yang terjadi sebagai salah satu efek pendinginan. Hidrokarbon bahan bakar yang terpengaruh dalam proses tersebut kemungkinan merupakan turunan dari bahan bakar, minyak pelumas, komponen sisa pembakaran. Ada tumpang tindih antara PM dan komponen HC pada saat keluar dari ruang bakar sebagai material transfer dari phase gas ke bentuk partikel yang kemudian membentuk