

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Motor Bakar**

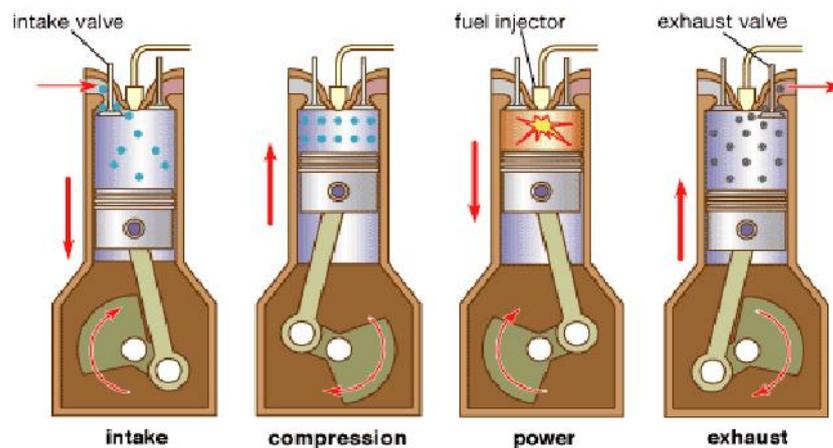
Motor bakar adalah mesin atau pesawat yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik, yaitu dengan cara merubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas, dan menggunakan energi tersebut untuk melakukan kerja mekanik. Energi termal diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada mesin itu sendiri. Menurut bahan bakarnya, motor bakar dibedakan menjadi dua (Wardono, 2004):

#### **1. Motor bensin**

Motor bensin atau mesin Otto dari Nikolaus Otto adalah sebuah tipe mesin pembakaran dalam yang menggunakan nyala busi untuk proses pembakaran, dirancang untuk menggunakan bahan bakar bensin atau yang sejenis. Motor bensin berbeda dengan motor diesel dalam metode pencampuran bahan bakar dengan udara, dan motor bensin selalu menggunakan penyalaan busi untuk proses pembakaran. Pada motor diesel, hanya udara yang dikompresikan dalam ruang bakar dan dengan

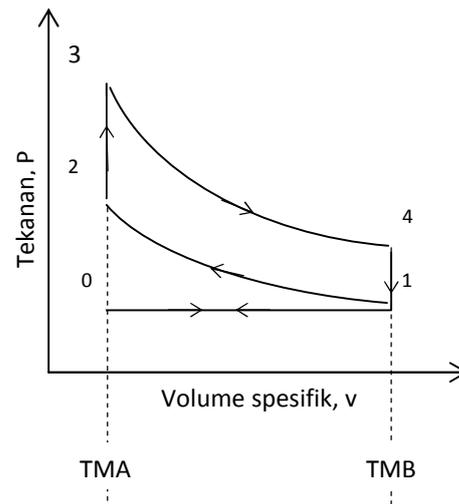
sendirinya udara tersebut terpanaskan, bahan bakar disuntikan ke dalam ruang bakar di akhir langkah kompresi untuk bercampur dengan udara yang sangat panas, pada saat kombinasi antara jumlah udara, jumlah bahan bakar, dan temperatur dalam kondisi tepat maka campuran udara dan bakar tersebut akan terbakar dengan sendirinya. Pada motor bensin, pada umumnya udara dan bahan bakar dicampur sebelum masuk ke ruang bakar, sebagian kecil mesin bensin modern mengaplikasikan injeksi bahan bakar langsung ke silinder ruang bakar termasuk motor bensin 2 tak untuk mendapatkan emisi gas buang yang ramah lingkungan. Pencampuran udara dan bahan bakar dilakukan oleh karburator atau sistem injeksi, keduanya mengalami perkembangan dari sistem manual sampai dengan penambahan sensor-sensor elektronik. Sistem injeksi bahan bakar di motor otto terjadi di luar silinder, untuk mencampur udara dengan bahan bakar seproporsional mungkin. ([http://id.wikipedia.org/wiki/Mesin\\_bensin](http://id.wikipedia.org/wiki/Mesin_bensin)).

Siklus motor bensin 4 langkah dapat dilihat pada gambar :



Gambar 1. Siklus motor bakar bensin 4-langkah.

Untuk lebih jelasnya proses-proses yang terjadi pada motor bakar bensin 4-langkah dapat dijelaskan melalui siklus ideal dari siklus udara volume konstan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram  $P-v$  dari siklus ideal motor bakar bensin 4-langkah.

Keterangan mengenai proses-proses pada siklus udara volume konstan dapat dijelaskan sebagai berikut (Wardono, 2004):

➤ Proses  $0 \rightarrow 1$  : Langkah hisap (*Intake*)

Pada langkah hisap campuran udara-bahan bakar dari karburator terhisap masuk ke dalam silinder dengan bergerak piston ke bawah, dari TMA menuju TMB. Katup hisap pada posisi terbuka, sedang katup buang pada posisi tertutup. Di akhir langkah hisap, katup hisap tertutup secara otomatis. Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik konstan. Proses dianggap berlangsung pada tekanan konstan.

➤ Proses 1 → 2 : Langkah kompresi (*Compression*)

Pada langkah kompresi katup hisap dan katup buang dalam keadaan tertutup. Selanjutnya piston bergerak ke atas, dari TMB menuju TMA. Akibatnya campuran udara-bahan bakar terkompresi. Proses kompresi ini menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur dan tekanan campuran tersebut, karena volumenya semakin kecil. Campuran udara-bahan bakar terkompresi ini menjadi campuran yang sangat mudah terbakar. Proses kompresi ini dianggap berlangsung secara isentropik.

➤ Proses 2 → 3 : Langkah pembakaran volume konstan

Pada saat piston hampir mencapai TMA, loncatan nyala api listrik diantara kedua elektroda busi diberikan ke campuran udara-bahan bakar terkompresi sehingga sesaat kemudian campuran udara-bahan bakar ini terbakar. Akibatnya terjadi kenaikan temperatur dan tekanan yang drastis. Kedua katup pada posisi tertutup. Proses ini dianggap sebagai proses pemasukan panas (kalor) pada volume konstan.

➤ Proses 3 → 4 : Langkah kerja/ekspansi (*Expansion*)

Kedua katup masih pada posisi tertutup. Gas pembakaran yang terjadi selanjutnya mampu mendorong piston untuk bergerak kembali dari TMA menuju TMB. Dengan Bergeraknya piston menuju TMB, maka volume gas pembakaran di dalam silinder

semakin bertambah, akibatnya temperatur dan tekanannya turun. Proses ekspansi ini dianggap berlangsung secara isentropik.

➤ Proses 4→1 : Langkah buang volume konstan (*Exhaust*)

Saat piston telah mencapai TMB, katup buang telah terbuka secara otomatis sedangkan katup hisap masih pada posisi tertutup. Langkah ini dianggap sebagai langkah pelepasan kalor gas pembakaran yang terjadi pada volume konstan.

➤ Proses 1→0 : Langkah buang tekanan konstan

Selanjutnya piston bergerak kembali dari TMB menuju TMA. Gas pembakaran didesak keluar melalui katup buang (saluran buang) dikarenakan bergerak piston menuju TMA. Langkah ini dianggap sebagai langkah pembuangan gas pembakaran pada tekanan konstan.

## 2. Motor Diesel

Motor bakar diesel biasa disebut juga dengan mesin diesel (atau mesin pemicu kompresi) adalah motor bakar pembakaran dalam yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan penyalaan dan membakar bahan bakar yang telah diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Mesin diesel memiliki efisiensi termal terbaik dibandingkan dengan mesin pembakaran dalam maupun pembakaran luar lainnya, karena memiliki

rasio kompresi yang sangat tinggi. Mesin diesel kecepatan-rendah (seperti pada mesin kapal) dapat memiliki efisiensi termal lebih dari 50%. Mesin diesel membakar lebih sedikit bahan bakar daripada mesin bensin untuk menghasilkan kerja yang sama karena suhu pembakaran dan rasio kompresi yang lebih tinggi. Mesin bensin umumnya hanya memiliki tingkat efisiensi 30%, sedangkan mesin diesel bisa mencapai 45%. ([http://id.wikipedia.org/wiki/Motor\\_bakar\\_diesel](http://id.wikipedia.org/wiki/Motor_bakar_diesel)).

Perbedaan utama bila dibandingkan dengan motor bensin terletak pada bagaimana memulai pembakaran dalam ruang silinder. Motor bensin mengawali pembakaran dengan disuplainya listrik tegangan tinggi, sehingga menimbulkan percikan bunga api di antara celah busi untuk memulai pembakaran gas. Sedangkan motor diesel memanfaatkan udara yang di kompresi untuk memulai pembakaran bahan bakar solar. Dengan perbandingan kompresinya sangat tinggi, yaitu sampai berkisar 20:1, akibatnya tekanan naik secara mendadak (berlangsung dalam beberapa milidetik) suhunya dapat mencapai 300 – 500 derajat celcius. Dengan suhu setinggi itu sehingga bahan bakar solar dapat menyala. Menjelang akhir langkah kompresi, solar disemprotkan ke udara yang sangat panas itu. Akibatnya, bahan bakar langsung terbakar. Karena pembakaran terjadi akibat tekanan kompresi yang sangat tinggi tadi, maka motor diesel disebut juga mesin penyalaan kompresi (*compression igniton engine*). Sedangkan motor bensin dikenal dengan mesin penyalaan bunga api (*spark ignition engine*). Dalam motor bensin bahan bakar dan udara

dicampur di luar silinder yaitu dalam karburator dan saluran masuk (*intake manifold*). Sebaliknya motor diesel tidak ada campuran pendahuluan udara dan bahan bakar di luar silinder, hanya udara yang diterima ke dalam silinder melalui saluran masuk.

Motor bakar bensin dan motor bakar diesel memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, yaitu :

- Kelebihan dari motor bakar bensin :
  - Sisa pembakaran lebih sedikit.
  - Getaran mesin tidak bising dan lebih nyaman daripada motor diesel.
  - Suaranya lebih halus dan diawal starter lebih mudah.
- Kekurangan dari motor bakar bensin :
  - Bahan bakar lebih boros.
  - Perawatan mesin lebih kompleks.
  - Motor bakar bensin kurang bertenaga dibandingkan motor bakar diesel.
  - Motor bensin tidak tahan bekerja terus menerus dalam waktu yang lama.
- Kelebihan dari motor bakar Diesel :
  - Bahan bakar lebih irit dari pada motor bensin.
  - Lebih bertenaga dari pada motor bensin.
- Kekurangan dari motor bakar diesel :
  - Gerataran lebih besar.

- Memerlukan perawatan yang lebih, karna kontruksi mesin yang rumit.
- Karna kompresi yang tinggi maka dibutuhkan tenaga starter dengan baterai yang lebih besar. (Wijaya, 2013).

## **B. Bahan Bakar**

Bahan bakar adalah segala bahan yang dapat dibakar untuk menimbulkan tenaga atau panas (Boentarto, 2002 dalam Darmawan). Bahan bakar termasuk juga segala substansi yang melepaskan panas ketika di oksidasi, dan secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Hampir semua jenis bahan bakar yang beredar di pasaran berasal dari minyak bumi beserta turunannya yang kemudian diolah menjadi berbagai macam dan jenis bahan bakar. Bahan itu sendiri sangat diperlukan dalam proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar. Bahan bakar yang digunakan motor bakar harus memenuhi kriteria sifat fisik dan sifat kimia, antara lain :

- Nilai bakar bahan bakar itu sendiri
- Densitas energi yang tinggi
- Tidak beracun
- Stabilitas panas
- Rendah polusi
- Mudah dipakai dan disimpan

Sedangkan sifat alamiah dari bahan bakar itu sendiri (Wijaya, 2013) :

- Volatility (Penguapan) adalah kemampuan menguap dari bahan bakar pada temperatur tertentu dalam proses destilasi.
- Titik nyala adalah temperatur tertentu di mana bahan bakar dapat terbakar dengan sendirinya tanpa bantuan percikan api.
- Gravitasi spesifik, merupakan perbandingan berat jenis bahan bakar terhadap acuan tertentu (terhadap berat jenis udara ataupun air).
- Nilai bakar, merupakan jumlah energi yang terkandung dalam bahan bakar.

Bahan bakar yang digunakan dalam motor bakar dapat dibedakan menurut wujudnya menjadi 3 kelompok, yaitu gas, cair, dan padat. Bahan bakar gas pada saat ini biasanya berasal dari gas alam, sedangkan bahan bakar cair berasal dari hasil penyulingan minyak bumi. Bahan bakar padat biasanya berupa batu bara. Adapun kriteria utama yang harus dipenuhi bahan bakar yang akan digunakan dalam motor bakar adalah sebagai berikut :

- Proses pembakaran bahan bakar dalam silinder harus secepat mungkin dan panas yang dihasilkan harus tinggi.
- Bahan bakar yang digunakan harus tidak meninggalkan endapan atau deposit setelah proses pembakaran, karena akan menyebabkan kerusakan pada dinding silinder.
- Gas sisa pembakaran harus tidak berbahaya pada saat dilepaskan ke atmosfer. (Wijaya, 2013).

### C. Premium

Premium (*gasoline*) adalah bahan bakar cair yang berasal dari minyak bumi (*crude oil*), minyak bumi di dapat dari dalam tanah dengan jalan pengeboran di ladang-ladang minyak, dan memompanya sampai ke atas permukaan bumi, untuk selanjutnya diolah melalui proses penyulingan dan destilasi sehingga komposisinya bisa dipergunakan sebagai bahan bakar motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Sifat-sifat fisik yang dimiliki oleh bahan bakar premium, yaitu (Darmawan,2007) :

1. Mudah menguap (*volatile matter*), Sifat seperti ini memudahkan bensin untuk dikabutkan sehingga dapat terbentuk campuran bahan bakar dan udara dengan baik pada saluran venturi karburator.
2. Dapat menghasilkan jumlah kalor yang besar (NKBB antara 9500 k.kal/kg-10.500 k.kal/kg).
3. Berat jenis rendah, yaitu 0,6 - 0,78 (diukur dalam *viscositas*).
4. Dapat melarutkan oli dan karet.
5. Titik nyala rendah ( $-10^{\circ}\text{C}$  sampai  $-15^{\circ}\text{C}$ ).
6. Meninggalkan sedikit karbon sisa pembakaran.
7. Mempunyai angka oktan 88.

Pada bahan bakar kita mengenal angka oktan. Bilangan oktan suatu bahan bakar di ukur dengan mesin CFR (Coordinating Fuel Research), yaitu sebuah mesin penguji yang perbandingan kompresinya dapat di ubah-ubah. Di dalam pengukuran itu ditetapkan kondisi standar operasinya (putaran, temperatur,

tekanan, kelembaban udara masuk, dan sebagainya). Untuk motor bensin ditetapkan heptana normal dan isooktana sebagai bahan bakar pembanding. Heptana normal ( $C_7H_{16}$ ) adalah bahan bakar yang mudah berdetonasi di dalam motor bakar oleh karena itu dinyatakan sebagai bahan bakar dengan bilangan oktan nol. Iso-oktana (2,2,4-trimethylpentane) adalah bahan bakar hidrokarbon yang tidak mudah berdetonasi dan dinyatakan dengan bilangan oktan 100.

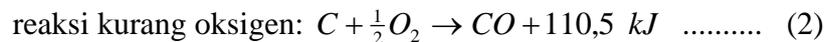
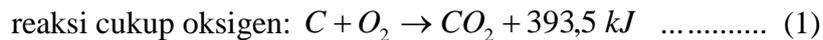
Bensin yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi, terkadang kurang memuaskan secara mutu untuk penggunaan pada motor bakar. Biasanya sebelum digunakan, bensin ditambah dengan suatu aditif yang dapat memperbaiki kualitas dari bensin itu sendiri. Aditif tersebut antara lain adalah TEL (Tetra Ethyl Lead /  $C_2H_5)_4Pb$ ) atau TML (Tetra Methyl Lead /  $CH_3)_4Pb$ ). Aditif ini berfungsi sebagai zat anti knocking karena dengan penambahan zat ini pada bahan bakar bensin dapat meningkatkan angka oktan sehingga ketika dikompresikan dalam ruang ruang bakar tidak menimbulkan knocking atau detonasi. Angka oktan bensin semula berkisar antara 75 sampai 85, sedangkan setelah penambahan zat aditif ini angka oktan bensin dapat meningkat menjadi 90 sampai 95. TEL mempunyai sifat larut dalam bensin dan mendidih pada temperatur  $200^\circ C$ , serta mempunyai berat sekitar 1,7 kg/liter. Kandungan utama dari TEL adalah timbal dimana timbal merupakan partikel berat yang sangat berbahaya bagi umat manusia. Bahan bakar bensin adalah senyawa hidrokarbon yang kandungan oktana atau isooktananya tinggi. Senyawa oktana adalah senyawa hidrokarbon yang digunakan sebagai

patokan untuk menentukan kualitas bahan bakar bensin yang di kenal dengan istilah angka oktana. Dalam pengertian ini bahan bakar bensin dibandingkan dengan campuran isooktana atau 2,3,4 trimetilpentana dengan heptana. Isooktana dianggap sebagai bahan bakar paling baik karena hanya pada kompresi tinggi saja isooktana memberikan bunyi ketukan (detonasi) pada mesin. Sebaliknya, heptana dianggap sebagai bahan bakar paling buruk. Angka oktana 100, artinya bahan bakar bensin tersebut setara dengan isooktana murni. Angka oktana 80, artinya bensin tersebut merupakan campuran 80% isooktana dan 20% heptana. (Wijaya, 2013).

#### **D. Proses dan Reaksi Pembakaran**

Pembakaran adalah reaksi kimia antara komponen-komponen bahan bakar (Karbon dan hidrogen) dengan komponen udara (Oksigen) yang berlangsung sangat cepat, yang membutuhkan panas awal untuk menghasilkan panas yang jauh lebih besar sehingga menaikkan suhu dan tekanan gas pembakaran. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar. Dalam proses pembakaran fenomena-fenomena yang terjadi antara lain interaksi proses-proses kimia dan fisika, pelepasan panas yang berasal dari energi ikatan-ikatan kimia, proses perpindahan panas, proses perpindahan massa, dan gerakan fluida. Proses

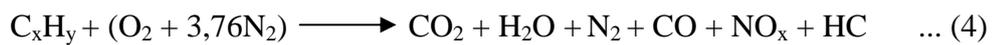
pembakaran akan menghasilkan panas sehingga akan disebut sebagai proses oksidasi eksotermis. Selama proses pembakaran, butiran minyak bahan bakar menjadi elemen komponennya, yaitu hidrogen dan karbon, akan bergabung dengan oksigen untuk membentuk air, dan karbon bergabung dengan oksigen menjadi karbon dioksida. Kalau tidak cukup tersedia oksigen, maka sebagian dari karbon, akan bergabung dengan oksigen menjadi karbon monoksida. Akibat terbentuknya karbon monoksida, maka jumlah panas yang dihasilkan hanya 30 persen dari panas yang ditimbulkan oleh pembentukan karbon monoksida sebagaimana ditunjukkan oleh reaksi kimia berikut (Wardono, 2004).



Sempurna atau tidaknya suatu proses pembakaran ditentukan oleh nilai rasio udara/bahan bakar. Nilai rasio ini disebut juga rasio stokiometri, yang menyatakan kebutuhan udara minimum untuk pembakaran sempurna suatu bahan bakar. Udara kering yang digunakan untuk proses pembakaran merupakan suatu campuran gas yang mempunyai komposisi volume 20,95% oksigen, 78,09% nitrogen, 0,93% argon, dan sejumlah kecil gas karbon dioksida, neon, helium, metana, dan gas yang lain. Untuk setiap molekul oksigen (berat molekul 32) diudara terdapat  $\frac{1-0,21}{0,21} = 3,76$  molekul nitrogen atmosferik (N<sub>2</sub>), dengan berat molekul 28.16 kg/mol. Reaksi pembakaran ideal dapat dilihat di bawah ini :



Dari reaksi di atas dapat dilihat bahwa  $N_2$  tidak ikut dalam reaksi pembakaran. Reaksi pembakaran di atas adalah reaksi pembakaran ideal. Sedangkan reaksi pembakaran sebenarnya atau aktual seperti di bawah ini (Heywood, dalam Denfi 2012) :



Jika pembakaran berlangsung dalam kondisi kekurangan oksigen, maka sifat campuran udara-bahan bakarnya dikatakan gemuk (kelebihan bahan bakar), demikian pula sebaliknya jika pembakarannya dalam kondisi kelebihan oksigen maka sifat campurannya dikatakan kurus. Campuran yang terlalu gemuk maupun terlalu kurus merupakan suatu kondisi yang menyebabkan proses pembakaran tidak sempurna, sehingga terdapat karbon monoksida (CO) serta hidrokarbon (HC) yang tak terbakar pada gas buangnya. Karbonmonoksida dihasilkan jika karbon yang terdapat dalam bensin ( $C_8H_{18}$ ) tidak terbakar dengan sempurna karena kekurangan oksigen, sehingga campuran udara-bahan bakar lebih gemuk dari campuran stokiometri. Pada rasio udara bahan bakar gemuk tidak cukup oksigen untuk bereaksi dengan semua hidrogen dan karbon, maka emisi CO maupun HC meningkat. Emisi HC juga meningkat pada campuran sangat kurus karena pembakaran yang lemah atau kegagalan pembakaran. Emisi HC yang terdapat dalam gas buang berbentuk bensin yang tidak terbakar dan hidrokarbon yang hanya sebagian bereaksi dengan oksigen, jika campuran udara-bahan bakar didekat dinding silinder antara torak dan silinder tidak terbakar sempurna. Hal ini terjadi jika motor baru dihidupkan pada putaran idle (Kristanto, 2001).

Zat-zat pencemar udara dari hasil pembakaran dalam gas buang antara lain:

### **1. Karbon Monoksida (CO)**

Asap kendaraan merupakan sumber utama bagi karbon monoksida di berbagai perkotaan. Data mengungkapkan bahwa 60% pencemaran udara di Jakarta disebabkan karena benda bergerak atau transportasi umum yang berbahan bakar solar terutama berasal dari Metromini. Formasi CO merupakan fungsi dari rasio kebutuhan udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin diesel. Karbon monoksida yang meningkat di berbagai perkotaan dapat mengakibatkan turunnya berat janin dan meningkatkan jumlah kematian bayi serta kerusakan otak. Karena itu strategi penurunan kadar karbon monoksida akan tergantung pada pengendalian emisi seperti penggunaan bahan katalis yang mengubah bahan karbon monoksida menjadi karbon dioksida dan penggunaan bahan bakar terbarukan yang rendah polusi bagi kendaraan bermotor. Emisi karbon monoksida (CO) dari motor pembakaran dalam dikendalikan terutama oleh rasio udara/bahan bakar. CO maksimum dihasilkan ketika motor beroperasi dengan campuran gemuk seperti ketika motor mulai dihidupkan pada kondisi dingin atau ketika melakukan akselerasi. (Kristanto, 2001).

### **2. Hidro Karbon (HC)**

Bensin adalah senyawa hidro karbon, jadi setiap HC yang didapat di gas buang kendaraan menunjukkan adanya bensin yang tidak terbakar dan terbuang bersama sisa pembakaran. Apabila suatu senyawa hidrokarbon

terbakar sempurna (bereaksi dengan oksigen) maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). (Efendri 2013). Hidrokarbon (HC) merupakan gas yang tidak begitu merugikan manusia, akan tetapi merupakan penyebab terjadinya kabut campuran asap (smog). Pancaran hidrokarbon yang terdapat pada gas buang berbentuk gasoline yang tidak terbakar. Hidrokarbon terdapat pada proses penguapan bahan bakar pada tangki, karburator, serta kebocoran gas yang melalui celah antara silinder dan torak yang masuk ke dalam poros engkol yang biasa disebut *blow by gases* (gas lalu). (Kusuma, 2002). Pembentukan emisi hidrokarbon (HC) dipengaruhi komponen asli bahan bakarnya, geometri ruang bakar dan parameter operasi motor. Jika emisi HC memasuki atmosfer, beberapa diantaranya bersifat karsinogen (*carcinogenic*) sebagai penyebab penyakit kanker.

### 3. Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ )

Konsentrasi  $\text{CO}_2$  menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar. Semakin tinggi maka semakin baik. Saat AFR berada di angka ideal, emisi  $\text{CO}_2$  berkisar antara 12% sampai 15%. Apabila AFR terlalu kurus atau terlalu kaya, maka emisi  $\text{CO}_2$  akan turun secara drastis. Apabila  $\text{CO}_2$  berada dibawah 12%, maka dilihat emisi lainnya yang menunjukkan apakah AFR terlalu kaya atau terlalu kurus. Perlu diingat bahwa sumber dari  $\text{CO}_2$  ini hanya ruang bakar. Apabila  $\text{CO}_2$  terlalu rendah tapi CO dan HC normal, menunjukkan adanya kebocoran *exhaust pipe*. Semakin tinggi kadar  $\text{CO}_2$  semakin sempurna pembakarannya dan semakin

bagus akselerasinya. Semakin rendah kadar  $\text{CO}_2$  ini menandakan kerak di blok mesin sudah pekat dan harus di *overhaul engine*. (Efendri, 2013).

#### 4. Oksida Nitrogen ( $\text{NO}_x$ )

Senyawa  $\text{NO}_x$  adalah ikatan kimia antara unsur x nitrogen dan oksigen. Dalam kondisi normal atmosphere, nitrogen adalah gas inert yang amat stabil yang tidak akan berikatan dengan unsur lain. Tetapi dalam kondisi suhu tinggi dan tekanan tinggi dalam ruang bakar, nitrogen akan memecah ikatannya dan berikatan dengan oksigen. Gas  $\text{NO}_x$  dapat menyebabkan sesak napas pada penderita asma, sering menimbulkan sukar tidur, batuk-batuk dan dapat juga mengakibatkan kabut atau asap.  $\text{NO}_x$  adalah gas yang tidak berwarna tidak berbau, tidak memiliki rasa. Gas ini dapat juga merusak jaringan paru-paru dan jika bersama  $\text{H}_2\text{O}$  akan membentuk *nitric acid* ( $\text{HNO}_3$ ) yang pada gilirannya dapat menimbulkan hujan asam yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Gas  $\text{NO}_x$  terbentuk akibat temperature yang tinggi dari suatu pembakaran. (Kusuma, 2002).

#### E. Saringan Udara

Filter udara berfungsi sebagai penyaring dan pembuang debu dari udara yang masuk dan mengalirkan udara yang bersih ke mesin. Filter udara sangat diperlukan terlebih lagi dalam kondisi yang udaranya banyak mengandung debu dan pasir, misalnya di tempat pekerjaan batu dan pertambangan atau di jalan raya yang padat lalu lintas. Udara perlu disaring agar bebas dari debu,

kotoran, atau uap air yang berlebihan. Dengan bercampurnya udara dengan bahan bakar, maka kedua zat ini berubah menjadi gas dan seterusnya menuju ke ruangan silinder. Fungsi utama adalah sebagai penyaring udara kotor, akan tetapi di balik fungsi ini sangat berperan penting terhadap umur dan keawetan dari mesin, serta juga sebagai salah satu faktor penambah tenaga. Selain berfungsi sebagai penyaring, filter udara ini juga berfungsi menghilangkan suara desis udara yang masuk dengan cara mengurangi kecepatannya.

Dimensi dan bentuk dari filter udara ini juga beraneka ragam disesuaikan dengan fungsi dan kebutuhan dari kendaraan. Berbeda kendaraan standar berbeda pula dengan kendaraan racing dimana konsumsi bahan bakar juga lebih banyak untuk kendaraan racing sehingga komposisi pencampuran udara juga mengharapkan suplai udara lebih banyak dan cepat. Jenis khusus untuk racing biasanya di produksi oleh perusahaan *Automobile* yang secara struktur filter udara lebih ringan dan mempunyai daya hisap penghambat tidak begitu erat tetapi tetap menghasilkan udara masuk yang bersih. (Ekatnadi, 2010 dalam Kumbara).



Gambar 3. Saringan udara

## F. Parameter Prestasi Motor Bensin 4-Langkah

Prestasi mesin bisa diketahui dengan membaca dan menganalisis parameter yang ditulis dalam sebuah laporan atau media lain, yang berfungsi untuk mengetahui daya, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, tekanan efektif rata-rata, dan efisiensi dari mesin tersebut. Parameter itulah yang menjadi pedoman praktis prestasi sebuah mesin.

Secara umum daya berbanding lurus dengan luas piston sedang torsi berbanding lurus dengan volume langkah. Parameter tersebut relatif penting digunakan pada mesin yang berkemampuan kerja dengan variasi kecepatan operasi dan tingkat pembebanan. Daya maksimum didefinisikan sebagai kemampuan maksimum yang bisa dihasilkan oleh suatu mesin. Adapun torsi poros pada kecepatan tertentu mengindikasikan kemampuan untuk memperoleh aliran udara dan juga bahan bakar yang tinggi kedalam mesin pada kecepatan tersebut. Sementara suatu mesin dioperasikan pada waktu yang cukup lama, maka konsumsi bahan bakar serta efisiensi mesinnya menjadi suatu hal yang dirasa sangat penting. (Wijaya, 2013).

Prestasi mesin juga biasanya dinyatakan dengan efisiensi thermal,  $\eta_{th}$ . Karena pada motor bakar 4 langkah selalu berhubungan dengan pemanfaatan energi panas / kalor, maka efisiensi yang dikaji adalah efisiensi thermal. Efisiensi thermal adalah perbandingan energi (kerja / daya) yang berguna dengan energi yang diberikan. Prestasi mesin dapat juga dinyatakan dengan

daya output dan pemakaian bahan bakar spesifik engkol yang dihasilkan mesin. Daya *output* engkol menunjukkan daya *output* yang berguna untuk menggerakkan sesuatu atau beban. Sedangkan pemakaian bahan bakar spesifik engkol menunjukkan seberapa efisien suatu mesin menggunakan bahan bakar yang di suplai untuk menghasilkan kerja. Prestasi mesin sangat erat hubungannya dengan parameter operasi, besar kecilnya harga parameter operasi akan menentukan tinggi rendahnya prestasi mesin yang dihasilkan (Wardono, 2004).

Untuk mengukur prestasi kendaraan bermotor bensin 4-langkah dalam aplikasinya diperlukan parameter sebagai berikut (Niwatana, 2010) :

1. Konsumsi bahan bakar, semakin sedikit konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor bensin 4-langkah, maka semakin tinggi prestasinya.
2. Akselerasi, semakin tinggi tingkat akselerasi kendaraan bermotor bensin 4-langkah maka prestasinya semakin meningkat.
3. Waktu tempuh, semakin singkat waktu tempuh yang diperlukan pada kendaraan bermotor bensin 4-langkah untuk mencapai jarak tertentu, maka semakin tinggi prestasinya.
4. Putaran mesin, putaran mesin pada kondisi *idle* dapat menggambarkan normal atau tidaknya kondisi mesin. Perbedaan putaran mesin juga menggambarkan besarnya torsi yang dihasilkan.
5. Emisi gas buang, motor dalam kondisi statis bisa dilihat emisi gas buangnya pada rpm rendah dan tinggi.

### G. *Fly Ash*

*Fly ash* adalah bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus *amorf* dan abu tersebut merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral (*mineral matter*) karena proses pembakaran. Dari proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (*boiler*) akan terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Komposisi abu batubara yang dihasilkan terdiri dari 10-20 % abu dasar, sedang sisanya sekitar 80-90 % berupa abu terbang (Munir, 2008). Abu batubara sebagai limbah tidak seperti gas hasil pembakaran, karena merupakan bahan padat yang tidak mudah larut dan tidak mudah menguap sehingga akan lebih merepotkan dalam penanganannya.

Apabila jumlahnya banyak dan tidak ditangani dengan baik, maka abu batubara tersebut dapat mengotori lingkungan terutama yang disebabkan oleh abu yang beterbangan di udara dan dapat terhisap oleh manusia dan hewan juga dapat mempengaruhi kondisi air dan tanah di sekitarnya sehingga dapat mematikan tanaman. Akibat buruk terutama ditimbulkan oleh unsur-unsur Pb, Cr dan Cd yang biasanya terkonsentrasi pada fraksi butiran yang sangat halus (0,5–10  $\mu\text{m}$ ). Pencemaran udara dari butiran *fly ash* tersebut dapat menyebabkan saluran udara besar yang masuk ke paru-paru (*bronkus*) mengalami penyempitan, terjadi pembentukan jaringan parut, pembengkakan lapisan, serta penyumbatan parsial oleh lendir. (Wardani, 2008).

### 1. Sifat Kimia dan Sifat Fisik *Fly Ash*

Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina, ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kalsium ( $\text{CaO}$ ) dan sisanya adalah magnesium, potasium, sodium, titanium dan belerang dalam jumlah yang sedikit. Rumus empiris abu terbang batubara ialah:



Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batubara, kemurnian batubara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi, metoda penyimpanan dan penimbunan. Secara fisik, *fly ash* dari PLTU merupakan partikel sangat halus, material serbuk, komposisi terbesar silika, dan bentuknya hampir bulat, berwarna putih kecoklatan dengan densitas curah 800 kg/m<sup>3</sup>. Ukuran *fly ash* dari PLTU paling kecil adalah 11–25  $\mu\text{m}$  dan yang kasar bervariasi antara 40–150  $\mu\text{m}$ . Karakteristik *bottom ash* biasanya berwarna hitam abu-abu, mempunyai struktur permukaan porous, dengan bentuk tak beraturan (Soeswanto, 2011).

Secara kimia abu terbang merupakan material oksida anorganik mengandung silika dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Bersifat aktif yaitu dapat bereaksi dengan komponen lain dalam komposisinya untuk membentuk material baru (*mulite*) yang tahan suhu tinggi. Kandungan karbon dalam abu terbang diukur dengan menggunakan *Loss Of Ignition Method* (LOI), yaitu suatu

keadaan hilangnya potensi nyala dari abu terbang batubara. Adapun komposisi kimia dan klasifikasinya seperti dapat dilihat pada Tabel.

Tabel 1. Komposisi dan Klasifikasi Fly Ash (Wardani, 2008).

Komponen	Bituminus	Subbitumins	Lignit
SiO <sub>2</sub>	20 - 60	40 - 60	15 - 45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5 - 35	20 - 30	20 - 25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 - 40	4 - 10	4 - 15
CaO	1 - 12	5 - 30	15 - 40
MgO	0 - 5	1 - 6	3 - 10
SO <sub>3</sub>	0 - 4	0 - 2	0 - 10
Na <sub>2</sub> O	0 - 4	0 - 2	0 - 6
K <sub>2</sub> O	0 - 3	0 - 4	0 - 4
LOI	0 - 15	0 - 3	0 - 5

Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m<sup>3</sup> dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 m<sup>2</sup>/kg, sedangkan ukuran partikel rata-rata abu terbang batubara jenis sub-bituminous 0,01mm – 0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m<sup>2</sup>/g, massa jenis (*specific gravity*) 2,2 – 2,4 dan bentuk partikel *mostly spherical*, yaitu sebagian besar berbentuk seperti bola, sehingga menghasilkan kinerja (*workability*) yang lebih baik (Antoni, 2007 dalam Efendri).

## 2. Sumber Fly Ash

Abu batubara berasal dari penggunaan batubara sebagai bahan bakar di boiler baik yang digunakan untuk PLTU maupun untuk industri. Sebagian besar batubara digunakan sebagai sumber energi atau bahan

bakar untuk boiler dalam memproduksi *steam*. *Steam* yang dihasilkan digunakan sebagai media pemanas untuk industri seperti industri tekstil dan sebagai media penggerak turbin untuk menghasilkan listrik seperti yang terjadi di PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). PLTU merupakan sektor yang paling banyak menggunakan batubara. Proses pembakaran batubara dilaksanakan di tungku pembakar atau *furnace*. Jenis tungku pembakaran yang banyak digunakan adalah *stoker coal furnace (chain grate boiler)*, *pulverized coal furnace*, dan *fluidized-bed furnace*.

Berdasarkan studi kelayakan pengelolaan limbah batubara secara terpadu di kabupaten Purwakarta, Subang, dan Karawang, provinsi Jawa Barat, sebanyak 88% industri menggunakan boiler tungku jenis *stoker coal furnace (chain grate boiler)*, 9% industri menggunakan *fluidized-bed furnace* dan sisanya 3% menggunakan *pulverized coal furnace* (BPLHD Jawa Barat, 2008). Boiler tungku jenis *fluidized-bed furnace* dan *pulverized coal furnace* biasanya digunakan di pembangkit *superheated steam* di PLTU sedangkan boiler tungku jenis *stoker coal furnace (chain grate boiler)* digunakan untuk penghasil *steam* sebagai media pemanas (Soeswanto, 2011). Sistem pembakaran batubara sebagai sumber penghasil *fly ash* umumnya menggunakan 3 jenis tungku atau *furnance*, yaitu :

a) *Stoker Coal Furnance*

Batubara yang digunakan boiler dengan tungku jenis *stoker coal furnace* akan diremuk menjadi butiran ukuran rata-rata 1-5 cm dan dibakar dalam suatu unggun bahan bakar (*fuel bed*) di atas suatu

kisi yang bergerak (seperti *travelling chain grate stoker*). Pembakaran dengan tungku jenis ini mencapai suhu sekitar 600°C. Kebanyakan abu produk pembakaran batubara tetap tinggal di atas kisi dan dibuang sebagai abu dasar (*bottom ash*) sekitar 80%, sedangkan butiran partikel abu batubara yang lebih kecil ikut terbawa aliran gas pembakaran (*flue gas*) dan dipisahkan dengan penangkap abu sebagai abu terbang (*fly ash*) sekitar 20%. Proses pembakaran biasanya menghasilkan abu batubara dengan kandungan *unburned carbon* atau yang sering disebut LOI (*loss on ignition*) tinggi dan ditandai dengan warna abu batubara yang kehitaman.

b) *Pulverized Coal Furnance*

Batubara yang digunakan boiler tungku jenis *pulverized coal furnace* berupa serbuk hasil penggilingan dengan ukuran butiran minimal 70% lolos saringan 150 *mesh* yang diumpankan dengan udara tekan (*pneumatically*). Suhu pembakaran di boiler dengan tungku jenis *pulverized* bisa mencapai 800°C. Pembakaran yang terjadi relatif sempurna dan menghasilkan sekitar 60-80% *fly ash* sedangkan sisanya adalah *bottom ash* yang jatuh ke dalam *hopper* di dasar tungku. *Fly ash* diperoleh dari pemisahan abu di gas buang melalui *cyclon*, *bag filter*, atau *electrostatic precipitator (EP)*.

c) *Fluidized Bed Furnance*

*Fluidized bed furnace* menggunakan batubara halus yang tersuspensi dalam unggun terfluidakan (*fluidized bed*) sebagai

akibat adanya semburan udara pembakaran yang dialirkan ke atas menghasilkan suatu pencampuran turbulen udara pembakaran dengan partikel batubara. Ciri khas dari tipe tungku ini adalah batubara dicampur dengan bahan tidak reaktif (*inert material*) seperti pasir, silika, alumina dan suatu penyerap seperti batu kapur untuk pengendalian emisi SO<sub>2</sub>. Suhu operasi sistem tungku ini berkisar 800-900 °C. (Soeswanto, 2011).

### 3. Pemanfaatan *Fly Ash*

Abu terbang batubara umumnya dibuang di *ash lagoon* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukan abu terbang batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini abu terbang batubara banyak digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam, diantaranya :

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan.
2. Penimbun lahan bekas pertambangan.
3. *Recovery* magnetik, *cenosphere* dan karbon.
4. Bahan baku keramik, gelas.
5. Bahan baku batubata, dan refraktori.
6. Bahan penggosok (*polisher*).

7. Filler aspal, plastik, dan kertas.
8. Pengganti dan bahan baku semen.
9. Aditif dalam pengolahan limbah (*waste stabilization*).
10. Konversi menjadi zeolit dan adsorben.

Abu batubara PLTU dengan boiler tungku *jenis pulverized* khususnya *fly ash* bisa dijual dengan harga sekitar Rp 60.000/ton abu. Sementara itu, abu batubara dari industri yang menggunakan boiler tungku *jenis chain grate* sebagian digunakan sebagai bahan baku bahan bangunan seperti batako (untuk keperluan internal). Sebagian lain diserahkan ke pihak ketiga dengan mengeluarkan biaya Rp 50.000-200.000 /ton (tergantung lokasi pabrik), dan sisanya diduga masih dibuang di beberapa lokasi yang berbahaya bagi lingkungan. (Soeswanto, 2011).

## H. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa kesetimbangan kimia. Oleh Karena itu, berkurangnya kadar zat yang teradsorpsi (adsorbat) oleh material pengadsorpsi (adsorben) terjadi secara kesetimbangan, sehingga secara teoritis tidak dapat terjadi penyerapan sempurna adsorbat oleh adsorben. Bahan yang diserap disebut adsorbat atau solute, sedangkan bahan penyerapnya disebut adsorben. Material material yang dapat digunakan sebagai adsorben diantaranya adalah asam humat, tanah diatomae, bentonit, biomasa mikroorganisme air serta adsorben-adsorben yang umum dipakai

seperti karbon aktif, alumina, silika gel dan zeolit. Adsorpsi yang terjadi pada permukaan zat padat disebabkan oleh adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat. Energi potensial permukaan dari molekul turun dengan mendekatnya molekul ke permukaan. Molekul teradsorpsi dapat dianggap membentuk fasa dua dimensi dan biasanya terkonsentrasi pada permukaan atau antar muka (Alberty dan Daniels, 1983). Menurut Atkins (1997) adsorpsi dibagi menjadi dua, yaitu :

### **1. Adsorpsi Fisika**

Adsorpsi fisika terjadi karena adanya interaksi *van der waals* antara adsorbat dan substrat dengan jarak jauh, lemah, dan energi yang dilepaskan jika partikel teradsorpsi secara fisik mempunyai orde besaran yang sama dengan entalpi kondensasi. Entalpi yang kecil ini tidak cukup untuk menghasilkan pemutusan ikatan, sehingga molekul yang terfisisorpsi tetap mempertahankan identitasnya walaupun molekul itu dapat terdistorsi dengan adanya permukaan. Adsorpsi fisika bersifat reversibel, umumnya terjadi pada temperatur rendah dan dengan bertambahnya temperatur jumlah adsorpsi berkurang dengan mencolok. Penerapannya antara lain pada penentuan luas permukaan, analisis kromatografi, pemurnian gas dan pertukaran ion. Panas adsorpsi yang menyertai adsorpsi fisika yaitu kurang dari 20,92 kJ/mol (Adamson, 1990).

### **2. Adsorpsi Kimia**

Dalam adsorpsi kimia, proses adsorpsi terjadi dengan adanya pembentukan ikatan kimia (kovalen) dengan sifat yang spesifik karena tergantung pada

jenis adsorben dan adsorbatnya. Adsorpsi kimia bersifat *ireversibel*, berlangsung pada temperatur tinggi dan tergantung pada energi aktivasi. Karena terjadi pemutusan ikatan, maka panas adsorpsinya mempunyai kisaran yang sama seperti reaksi kimia, yaitu di atas 20,92 kJ/mol. Penerapannya antara lain pada proses korosi dan katalisis heterogen (Adamson, 1990).

Kecepatan adsorpsi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

a) Konsentrasi

Proses adsorpsi sangat sesuai untuk memisahkan bahan dengan konsentrasi yang rendah dari campuran yang mengandung bahan lain dengan konsentrasi tinggi.

b) Luas permukaan

Proses adsorpsi tergantung pada banyaknya tumbukan yang terjadi antara partikel-partikel adsorbat dan adsorben. Tumbukan efektif antara partikel itu akan meningkat dengan meningkatnya luas permukaan.

c) Suhu

Adsorpsi akan lebih cepat berlangsung pada suhu tinggi, namun demikian pengaruh suhu adsorpsi zat cair tidak sebesar pada adsorpsi gas.

d) Ukuran partikel

Semakin kecil ukuran partikel yang diadsorpsi maka proses adsorpsinya akan berlangsung lebih cepat.

e) pH

pH mempunyai pengaruh dalam proses adsorpsi. pH optimum dari suatu proses adsorpsi ditetapkan melalui uji laboratorium.

f) Waktu kontak

Waktu untuk mencapai keadaan setimbang pada proses serapan ion logam oleh adsorben berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam.

## I. Natrium Hidroksida

Natrium hidroksida (NaOH) juga dikenal sebagai soda kaustik atau sodium hidroksida adalah sejenis basa logam kaustik. NaOH terbentuk dari oksida basa Natrium Oksida dilarutkan dalam air. NaOH membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. NaOH digunakan di berbagai macam bidang industri, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, sabun, dan deterjen. NaOH adalah basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium kimia. NaOH murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pelet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50%. (Wikipedia, 2014).

NaOH bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbondioksida dari udara bebas. NaOH sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan. NaOH juga larut dalam etanol dan metanol walaupun kelarutan NaOH dalam kedua cairan ini lebih kecil daripada kelarutan KOH.

NaOH tidak larut dalam dietil eter dan pelarut non polar lainnya. Larutan NaOH akan meninggalkan noda kuning pada kain dan kertas. Untuk lebih jelasnya sifat fisika dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Sifat Fisika Natrium Hidroksida (Merck, 2004).

Bentuk	Padat
Warna	Putih
Sifat	Higroskopis
Massa Molar	39,997 g/mol
Kepadatan	2,1 g/cm <sup>3</sup>
Titik Lebur	318 <sup>0</sup> C, 591 <sup>0</sup> K
Titik Didih	1390 <sup>0</sup> C, 1663 <sup>0</sup> K
Kelarutan dalam air	111 g/100ml

## J. Tepung Tapioka

Tapioka adalah pati dengan bahan baku singkong dan merupakan salah satu bahan untuk keperluan industri makanan, farmasi, tekstil, perekat, penelitian, dan sebagainya. Tapioka memiliki sifat-sifat fisik yang serupa dengan pati sagu, sehingga penggunaan keduanya dapat dipertukarkan. Tapioka sering digunakan untuk membuat makanan dan bahan perekat. Menurut Wikipedia Indonesia, pati tersusun dari dua macam karbohidrat, *amilosa* dan *amilopektin*, dalam komposisi yang berbeda-beda. *Amilosa* memberikan sifat keras sedangkan *amilopektin* menyebabkan sifat lengket.

Tepung tapioka umumnya digunakan sebagai bahan perekat karena banyak terdapat dipasaran dan harganya relatif murah. Pemilihan perekat berdasarkan pada, perekat harus memiliki daya rekat yang baik, perekat harus mudah didapat dalam jumlah banyak dan harganya murah, dan perekat tidak boleh

beracun dan berbahaya. Menurut hasil penelitian (Saleh, 2013) menunjukkan bahwa dalam pembentukan briket arang dengan tepung tapioka sebagai bahan perekat akan sedikit menurunkan nilai kalornya bila dibandingkan dengan nilai kalor kayu dalam bentuk aslinya dan penggunaannya menimbulkan asap yang relatif sedikit dibandingkan dengan bahan lainnya. Perekat tepung tapioka dalam bentuk cair sebagai bahan perekat menghasilkan *fiberboard* bernilai rendah dalam hal kerapatan, keteguhan tekan, kadar abu, dan zat mudah menguap, tapi akan lebih tinggi dalam hal kadar air, karbon terikat dan nilai kalornya apabila dibandingkan dengan yang menggunakan perekat molase (Saleh, 2013).

Perekat tepung tapioka umum digunakan sebagai bahan perekat pada pelet *fly ash* karena banyak terdapat di pasaran, harganya relatif murah, dan cara membuatnya mudah yaitu cukup mencampurkan tepung tapioka dengan air *aquades*, lalu didihkan. Selama pemanasan tepung diaduk terus agar tidak menggumpal. Warna tepung yang putih akan berubah menjadi transparan setelah beberapa menit dipanaskan dan terasa lengket di tangan. Kemudian pindahkan campuran tapioka dan *aquades* yang telah berbentuk lem tersebut ke wadah yang telah berisi *fly ash*. Campuran tersebut diaduk hingga merata sampai terjadi sebuah campuran adonan yang kalis. Kemudian campuran tersebut diratakan dengan menggunakan ampia hingga mendapatkan permukaan campuran yang sama rata. Setelah merata bisa dilakukan pencetakan pelet *fly ash* dengan ukuran yang diinginkan.

Partikel-partikel zat dalam bahan baku pada proses pembuatan pelet *fly ash* membutuhkan zat pengikat sehingga dihasilkan pelet yang kompak. Penggunaan tepung tapioka sebagai bahan perekat pada penelitian ini akan menghasilkan pelet *fly ash* yang nilainya rendah dalam hal kerapatan, keteguhan tekan, kadar abu dan zat mudah menguap, tetapi akan lebih tinggi dalam hal kadar air, kadar karbon dan nilai kalor. Penggunaan perekat tepung tapioka memiliki keuntungan antara lain menghasilkan kekuatan rekat kering yang tinggi. Namun perekat ini memiliki kelemahan, antara lain ketahanan terhadap air rendah, mudah diserang jamur, bakteri dan binatang pemakan pati (Lubis, 2011).