

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Bakar

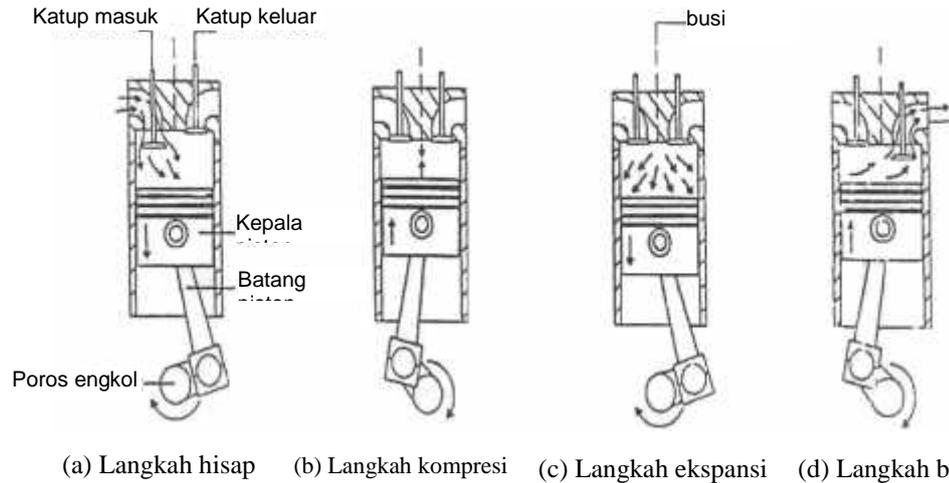
Motor bakar adalah salah satu bagian dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi termal hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis. Motor bakar pada umumnya dibedakan menjadi dua (Wardono, 2004) :

1. Motor bensin

Yang menjadi ciri utama dari motor bensin adalah proses pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam ruang silinder pada volume tetap. Proses pembakaran pada volume tetap ini disebabkan pada waktu terjadi kompresi, dimana campuran bahan bakar dan udara mengalami proses kompresi di dalam silinder, dengan adanya tekanan ini bahan bakar dan udara dalam keadaan siap terbakar dan busi meloncatkan bunga listrik sehingga terjadi pembakaran dalam waktu yang singkat sehingga campuran tersebut terbakar habis seketika dan menimbulkan kenaikan suhu dalam ruang bakar.

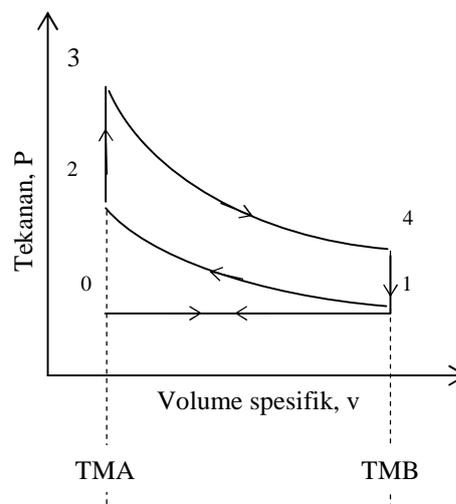
a. Pengertian Motor Bensin

Motor bakar bensin 4-langkah adalah salah satu jenis mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang beroperasi menggunakan udara bercampur dengan bensin dan untuk menyelesaikan satu siklusnya diperlukan empat langkah piston, seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Siklus motor bakar bensin 4-langkah (Heywood, 1988)

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 (Wardono, 2004).

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

a. Proses 0→1 : Langkah hisap (*Intake*)

Pada langkah hisap campuran udara-bahan bakar dari karburator terhisap masuk ke dalam silinder dengan Bergeraknya 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.

b. 1) 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.

2) 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.

c. 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.

d. 1) 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.

2) 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 Bergeraknya piston menuju TMA. Langkah ini dianggap sebagai langkah pembuangan gas pembakaran pada tekanan konstan.

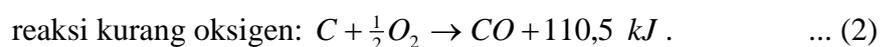
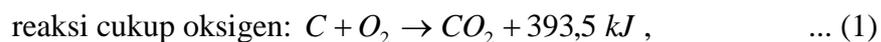
2. Motor Diesel

Motor diesel memiliki ciri utama yaitu pembakaran bahan bakar di dalam silinder berlangsung pada tekanan konstan, dimana gas yang dihisap pada

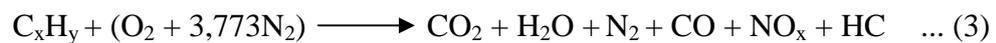
langkah hisap yang merupakan udara murni tersebut berada di dalam silinder pada waktu piston berada di titik mati atas . Bahan bakar yang masuk kedalam silinder oleh *injector* terbakar bersama dengan udara oleh suhu kompresi yang tinggi.

B. Proses 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. Elemen mampu bakar atau *Combustible* yang utama adalah hidrogen dan oksigen. Sementara itu, Nitrogen adalah gas lembam dan tidak berpartisipasi dalam proses pembakaran. 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).



Keadaan yang penting untuk pembakaran yang efisien adalah gerakan yang cukup antara bahan bakar dan udara, artinya distribusi bahan bakar dan bercampurnya dengan udara harus bergantung pada gerakan udara yang disebut pusaran. Energi panas yang dilepaskan sebagai hasil proses pembakaran digunakan untuk menghasilkan daya motor bakar tersebut. Reaksi pembakaran dapat dilihat di bawah ini :



Secara lebih detail dapat dijelaskan bahwa proses pembakaran adalah proses oksidasi (penggabungan) antara molekul-molekul oksigen ('O') dengan molekul-molekul (partikel-partikel) bahan bakar yaitu karbon ('C') dan hidrogen ('H') untuk membentuk karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O) pada kondisi pembakaran sempurna. Disini proses pembentukan CO₂ dan H₂O hanya bisa terjadi apabila panas kompresi atau panas dari pemantik telah mampu memisah/memutuskan ikatan antar partikel oksigen (O-O) menjadi partikel 'O' dan 'O', dan juga mampu memutuskan ikatan antar partikel bahan bakar (C-H dan/atau C-C) menjadi partikel 'C' dan 'H' yang berdiri sendiri. Baru selanjutnya partikel 'O' dapat beroksidasi dengan partikel 'C' dan 'H' untuk membentuk CO₂ dan H₂O. Jadi dapat disimpulkan bahwa proses oksidasi atau proses pembakaran antara udara dan bahan bakar tidak pernah akan terjadi apabila ikatan antar partikel oksigen dan ikatan antar partikel bahan bakar tidak diputus terlebih dahulu (Wardono, 2004).

Zat-zat pencemar udara dari hasil pembakaran dalam gas buang yaitu senyawa HC, CO, dan CO₂.

1. Karbon monoksida (CO)

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa karbon monoksida (CO) sebagai gas yang cukup banyak terdapat di udara, dimana gas ini terbentuk akibat adanya suatu pembakaran yang tidak sempurna. Gas karbon monoksida mempunyai ciri yang tidak berbau, tidak terasa, serta tidak berwarna. Kendaraan bermotor memberi andil yang besar dalam peningkatan kadar CO yang membahayakan. Di dalam semua polutan udara maka CO adalah pencemar yang paling utama. Percampuran yang baik antara udara dan bahan bakar terutama yang terjadi pada mesin-mesin yang menggunakan Turbocharger merupakan salah satu strategi untuk meminimalkan emisi CO. Semakin kecil kadar CO semakin sempurna proses pembakarannya dan bensin semakin irit, ini menunjukkan bagaimana bahan bakar dan udara tercampur dan terbakar. Semakin tinggi kadar CO semakin boros bensinnya, ini menunjukkan kurangnya udara dalam campuran.

Kendaraan bermotor 4 tak untuk tahun pembuatan 2010 ke bawah, standar kandungan CO harus dibawah 5,5 %. Sementara untuk motor 4-tak tahun pembuatan di atas 2010 harus memenuhi syarat kadar emisi gas buangnya CO dibawah 4,5 % (KLH, 2006).

2. Hidrokarbon (HC)

Bensin adalah senyawa hidrokarbon, 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 (CO_2) dan air (H_2O). 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). Semakin kecil kadar HC pembakaran itu akan semakin sempurna, ini menunjukkan sedikitnya bahan bakar yang terbuang. Semakin tinggi kadar HC semakin banyak sisa bahan bakar (gas yang tidak terbakar setelah gagal pengapian) yang terbuang pada proses pembakaran, dan banyak bahan bakar yang terbuang percuma.

Kendaraan bermotor 4 tak untuk tahun pembuatan 2010 ke bawah standar kandungan hidrocarbon (HC) maksimal 2.400 ppm. Sementara untuk motor 4-tak tahun pembuatan di atas 2010 harus memenuhi syarat kadar emisi gas buangnya hydrocarbon (HC) maksimal 2.000 ppm (KLH, 2006).

3. Karbondioksida (CO_2)

Konsentrasi CO_2 menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar. Semakin tinggi maka semakin baik. Saat AFR berada di angka ideal, emisi CO_2 berkisar antara 12% sampai 15%. Apabila AFR terlalu kurus atau terlalu kaya, maka emisi CO_2 akan turun secara drastis. Apabila CO_2 berada dibawah 12%, maka dilihat emisi lainnya yang menunjukkan apakah

AFR terlalu kaya atau terlalu kurus. Perlu diingat bahwa sumber dari CO₂ ini hanya ruang baka. Apabila CO₂ terlalu rendah tapi CO dan HC normal, menunjukkan adanya kebocoran *exhaust pipe*. Semakin tinggi kadar CO₂ semakin sempurna pembakarannya dan semakin bagus akselerasinya. Semakin rendah kadar CO₂ ini menandakan kerak diblok mesin sudah pekat dan harus di *overhoul engine*.

Kendaraan bermotor 4 tak untuk tahun pembuatan 2010 ke bawah, standar kandungan CO₂ harus dibawah 5,5 %. Sementara untuk motor 4-tak tahun pembuatan di atas 2010 harus memenuhi syarat kadar emisi gas buangnya CO₂ dibawah 4,5 % (KLH, 2006)

C Saringan Udara (*Air Filter*)



Gambar 3. Saringan udara

Air filter atau filter udara berfungsi untuk menyaring udara sebelum memasuki ruang bakar atau sebelum memasuki karburator (pada motor bensin). 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. Apabila udara yang masuk ruang bakar masih kotor maka akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna dan akibatnya suara mesin terdengar kasar, knalpot akan mengeluarkan asap tebal, dan tenaga kendaraan menjadi kurang maksimal. Selain itu, aliran udara yang memasuki ruang bakar akan mempengaruhi homogenitas pencampuran udara dan bahan bakar di dalam ruang bakar yang akan mempengaruhi kinerja pembakaran (Alfianto, 2006 dalam Hartono, 2008). Dengan demikian saringan udara (filter) hanya berguna untuk menangkap partikel-partikel kasar seperti debu dan kotoran. Akan tetapi gas-gas yang terkandung di dalam udara seperti nitrogen, oksigen, uap air, dan gas-gas lainnya yang berukuran nanometer ($10^{-9} m$) masih dapat lolos dari filter tersebut.

D. Parameter Prestasi Motor Bensin 4-Langkah

Prestasi mesin biasanya dinyatakan dengan efisiensi thermal, η_{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 disuplai 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.

E. *Fly ash*

Fly ash (abu terbang) adalah sisa pembakaran batubara. *Fly ash* merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan oleh industri yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar untuk proses produksinya. *Fly ash* memiliki

sifat sebagai pozzolan, yaitu suatu bahan yang mengandung silika atau alumina silika yang tidak mempunyai sifat perekat (sementasi) pada dirinya sendiri tetapi dengan butirannya yang sangat halus bisa bereaksi secara kimia dengan kapur dan air membentuk bahan perekat pada temperatur normal. *Fly ash* dapat digunakan sebagai bahan campuran untuk stabilisasi tanah ekspansif karena memiliki sifat sebagai pozzolan. *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 (dafi017.blogspot.com).

a. Karakteristik *Fly ash* (Abu Terbang)

Fly ash (abu terbang) adalah bagian dari abu bakar yang berupa bubuk halus dan ringan yang diambil dari campuran gas tungku pembakaran yang menggunakan bahan batubara. Abu terbang diambil secara mekanik dengan sistem pengendapan elektrostatik. (Hidayat,1986)

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 kompositnya untuk membentuk material baru (mulite) yang tahan suhu tinggi. (www.tekmira.esdm.go.id.)

Fly ash merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara. *Fly ash* dan *bottom ash* adalah terminology umum untuk abu terbang yang ringan dan

abu relatif berat yang timbul dari suatu proses pembakaran suatu bahan yang lazimnya menghasilkan abu. *Fly ash* dan *bottom ash* dalam konteks ini adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Rumus empiris abu terbang batubara ialah: $\text{Si}_{1.0}\text{Al}_{0.45}\text{Ca}_{0.51}\text{Na}_{0.047}\text{Fe}_{0.039}\text{Mg}_{0.020}\text{K}_{0.013}\text{Ti}_{0.011}$.

(<http://majarikanayakan.com>)

Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam furnace pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan anorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buang. Karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas gas buang, partikel-partikel *fly ash* umumnya berbentuk bulat. *Fly ash/ bottom ash* yang dihasilkan oleh *fluidized bed system* berukuran 100-200 mesh (1 mesh = 1 lubang/ inch²). Ukuran ini relative kecil dan ringan, sedangkan *bottom ash* berukuran 20-50 mesh. (dafi017.blogspot.com)

Fly ash merupakan salah satu jenis partikulat yang dapat diklasifikasikan dalam debu. Hal ini karena biasanya *Fly ash* dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi. Abu terbang (*fly ash*) sebagai limbah PLTU berbahan bakar batu bara dikategorikan oleh Bapedal sebagai limbah berbahaya (B3). Sehubungan dengan meningkatnya jumlah pembangunan PLTU berbahan bakar batubara di Indonesia, maka jumlah limbah abu terbang juga akan meningkat yaitu

jumlah limbah PLTU pada tahun 2000 sebanyak 1,66 juta ton, sedangkan pada tahun 2006 diperkirakan akan mencapai sekitar 2 juta ton. Khusus untuk limbah abu dari PLTU, sejak tahun 2000 hingga tahun 2006, diperkirakan ada akumulasi jumlah abu sebanyak 219.000 ton/tahun. Jika limbah abu ini tidak dimanfaatkan akan menjadi masalah pencemaran lingkungan, yang mana dampak dari pencemaran akibat abu terbang (*fly ash*) sangat berbahaya baik bagi lingkungan maupun kesehatan. (www.tekmira.esdm.go.id).

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi dalam kandungan mineral *fly ash* (*abu terbang*) dari batu bara adalah:

- Komposisi kimia batu bara
- Proses pembakaran batu bara
- Bahan tambahan yang digunakan termasuk bahan tambahan minyak untuk stabilisasi nyala api dan bahan tambahan untuk pengendalian korosi.

(dafi017.blogspot.com)

b. Proses Pembentukan *Fly ash* (Abu Terbang)

Sistem pembakaran batubara umumnya terbagi 2 yakni sistem unggun terfluidakan (*fluidized bed system*) dan unggun tetap (*fixed bed system* atau *grate system*). Disamping itu terdapat system ke-3 yakni *spouted bed system* atau yang dikenal dengan unggun pancar.

Fluidized bed system adalah sistem dimana udara ditiup dari bawah menggunakan *blower* sehingga benda padat di atasnya berkelakuan mirip

fluida. Teknik fluidisasi dalam pembakaran batubara adalah teknik yang paling efisien dalam menghasilkan energi. Pasir atau *corundum* yang berlaku sebagai medium pemanas dipanaskan terlebih dahulu. Pemanasan biasanya dilakukan dengan minyak bakar. Setelah temperatur pasir mencapai temperature bakar batubara (300°C) maka diumpankanlah batubara. Sistem ini menghasilkan abu terbang dan abu yang turun di bawah alat. Abu-abu tersebut disebut dengan *fly ash* dan *bottom ash*. Teknologi *fluidized bed* biasanya digunakan di PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah : (80-90%) berbanding (10-20%) (dafi017.blogspot.com).

Fixed bed system atau *Grate system* adalah teknik pembakaran dimana batubara berada di atas *conveyor* yang berjalan atau *grate*. Sistem ini kurang efisien karena batubara yang terbakar kurang sempurna atau dengan perkataan lain masih ada karbon yang tersisa. Abu yang terbentuk terutama *bottom ash* masih memiliki kandungan kalori sekitar 3000 kkal/kg. Di China, *bottom ash* digunakan sebagai bahan bakar untuk kerajinan besi (pandai besi). Teknologi *Fixed bed system* banyak digunakan pada industri tekstil sebagai pembangkit uap (*steam generator*). Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah : (15-25%) berbanding (75-25%) (Koesnadi, 2008).

c. Sifat-sifat *Fly ash*

Abu terbang mempunyai sifat-sifat yang sangat menguntungkan didalam menunjang pemanfaatannya yaitu (<http://dafi017.blogspot.com>) :

1.Sifat Fisik

Abu terbang merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dalam kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain :

- a) Warna : abu-abu keputihan
- b) Ukuran butir : sangat halus yaitu sekitar 100-200 mesh

2. Sifat Kimia

Pada intinya *fly ash* mengandung unsur kimia, antara lain: silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), Titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2 dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon (CO). (<http://dafi017.blogspot.com>)



Gambar 4 : *fly ash*

Tabel 2. Komposisi kimia pada limbah PLTU

Senyawa	Abu dasar (%)	Abu terbang (%)
Al ₂ O ₃	24,0	30,8
CaO	2,7	4,0
Fe ₂ O ₃	5,5	4,6
K ₂ O	0,17	0,18
MgO	1,3	1,9
Na ₂ O	1,0	1,3
P ₂ O ₅	-	-
SO ₃	0,18	0,23
SiO ₂	63,4	54,0
TiO ₂	-	-
Fe + Si + Al	92,9	89,4
CaO bebas	<0,06	<0,06
Kandungan Silika	-	53,4
LOI	0,68	<0,5
D50	-	15,5 (µm)
D90	-	67,9 (µm)

Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sub/bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminous. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous. Kandungan karbon dalam abu terbang diukur dengan menggunakan *Loss Of Ignition Method* (LOI), yaitu suatu keadaan

hilangnya potensi nyala dari abu terbang batubara. 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/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 m²/kg, sedangkan ukuran partikel rata-rata abu terbang batubara jenis sub-bituminous 0,01mm – 0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m²/g, massa jenis (*specific gravity*) 2,2 – 2,4 dan bentuk partikel *mostly spherical*, yaitu sebagian besar berbentuk seperti bola, sehingga menghasilkan kecelakaan (*workability*) yang lebih baik (Antoni, 2007 dalam Mheea. Nck).

Fly ash adalah produk sampingan dari pembakaran bubuk batubara di pembangkit listrik dan dikenal sebagai pozzolanik material. Salah satu masalah utama dari semua pembakaran batubara dalam pembangkit listrik adalah abu terbang yang tidak terpakai dan abu dasar karena mereka memiliki efek pada lingkungan seperti polusi udara dan air tanah akibat dari masalah kualitas logam dari abu terbang terutama yang tidak terpakai yang memiliki ukuran partikel yang sangat kecil. *Fly ash* memiliki pori-pori yang besar dari beberapa partikel dimana dapat menyerap air dan menghasilkan konsumsi air yang banyak pada beton (Cheerarot, 2008).

d. Pemanfaatan *Fly ash* (Abu Terbang)

Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini umumnya abu terbang batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam:

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

Konversi abu terbang batubara menjadi zeolit dan adsorben merupakan contoh pemanfaatan efektif dari abu terbang batubara. Keuntungan adsorben berbahan baku abu terbang batubara adalah biayanya murah. Selain itu, adsorben ini dapat digunakan baik untuk pengolahan limbah gas maupun limbah cair. Adsorben ini dapat digunakan dalam penyisihan logam berat dan senyawa organik pada pengolahan limbah. Abu terbang batubara dapat

dipakai secara langsung sebagai adsorben atau dapat juga melalui perlakuan kimia dan fisik tertentu sebelum menjadi adsorben. Zeolit yang disintesis dari abu terbang batubara dapat digunakan untuk keperluan pertanian. Zeolit banyak dikonsumsi dalam pemurnian air, pengolahan tanah, dll. Zeolit dibuat dengan cara mengkonversi aluminosilikat yang terdapat pada abu terbang batubara menjadi kristal zeolit melalui reaksi hidrotermal (<http://dafi017.blogspot.com>)

F. Tepung Tapioka

Tepung adalah partikel padat yang berbentuk butiran halus atau sangat halus (tergantung pemakaiannya). Biasanya digunakan untuk keperluan penelitian, rumah tangga, dan bahan baku industri. Tepung bisa berasal dari bahan nabati misalnya tepung terigu dari gandum, tapioka dari singkong, maizena dari jagung atau hewani misalnya tepung tulang dan tepung ikan. (<http://id.wikipedia.org/wiki/Tepung>)

Salah satu jenis tanaman pangan yang sudah lama dikenal dan banyak dibudidayakan oleh petani di Indonesia adalah ubi kayu (*Manihot Esculenta Crantz*). Potensi nilai ekonomis dan sosial ubi kayu merupakan bahan pangan yang berdaya guna, bahan baku berbagai industri, dan pakan ternak. (Setyadi, 1987 dalam Gunaryo 2010) dan mendefinisikan tepung tapioka sebagai hasil ekstraksi ubi kayu yang telah mengalami pencucian secara sempurna serta dilanjutkan dengan pengeringan dan penggilingan. Komponen utama tepung

tapioka adalah pati, merupakan senyawa yang tidak mempunyai rasa dan bau. (Malau, 2001)

Berbagai proses kimia yang dapat diterapkan pada modifikasi pati diantaranya oksidasi, hidrolisa, *cross-linking* atau *cross bonding* dan substitusi (Fleche, 1985). Maltodekstrin merupakan salah satu produk hasil hidrolisa pati dengan menggunakan asam maupun enzim, yang terdiri dari campuran glukosa, maltosa, oligosakarida, dan dekstrin (Deman, 1993). Lloyd dan Nelson, 1984 dan Kennedy et al, 1995 dalam ebookpangan menyatakan bahwa produk hasil hidrolisis enzimatik pati mempunyai karakteristik yaitu tidak higroskopis, meningkatkan viskositas produk, membentuk matrik hidrogel, mempunyai daya rekat, dan ada yang dapat larut dalam air seperti laktosa.(undip.ac.id)

Mc Ready (1970) dalam menyatakan bahwa mekanisme gelatinisasi terjadi pada suhu 60 – 85⁰ C yang mana pada temperatur inilah pati mengembang dan mengental dengan cepat dan pada saat itu tepung tapioka (pati) memiliki daya rekat yang cukup tinggi.

Pati merupakan butiran granula yang berwarna putih mengkilat, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa. Berbagai macam pati tidak sama sifatnya tergantung dari panjang rantai C-nya. Pati terdiri dari dua fraksi yang dapat dipisahkan dengan air panas. Fraksi yang larut dalam air disebut *amilopektin*. Granula pati tapioca berbentuk oval, berukuran 5-35 μ , kandungan *amilosa*, 17% dan *amilopektin* 83%, suhu gelatinasi berkisar antara 52-64 °C. Perekat tapioca memiliki sifat

tidak tahan terhadap kelembaban. Hal ini disebabkan karena tapioka memiliki sifat menyerap air dan udara (Bowyer and Haygreen, 2003).

G. Arang Sekam Padi

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis yang terdiri dari dua belahan yang disebut *lemma* dan *palea* yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar, juga adsorben.



Gambar 5. Sekam padi

Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30% dari bobot gabah. Penggunaan energi sekam bertujuan untuk menekan biaya pengeluaran untuk bahan bakar bagi rumah tangga petani. Penggunaan Bahan Bakar Minyak yang harganya terus meningkat akan berpengaruh terhadap biaya rumah tangga yang harus dikeluarkan setiap harinya.

Menurut Suharno (1979) sekam padi memiliki komposisi kimiawi protein kasar 3,03%, lemak 1,18%, serat kasar 35,68%, abu 17,71%, karbohidrat kasar 33,71%, menurut DTC-IPB sekam padi memiliki komposisi karbon (zat arang) 1,33%, dan silika 16,98%. Sedangkan menurut Ismail dan Waliuddin

(1996) kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50% selulosa, 30% lignin, dan 20% silika.

Dengan komposisi kimiawi di atas, sekam padi dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan diantaranya:

- sebagai bahan baku pada industri kimia, terutama kandungan zat kimia furfural yang dapat digunakan sebagai bahan baku dalam berbagai industri kimia
- sebagai bahan baku pada industri bahan bangunan, terutama kandungan silika (SiO_2) yang dapat digunakan untuk campuran pada pembuatan semen portland, bahan isolasi, *husk-board* dan campuran pada industri bata merah, (c) sebagai sumber energi panas pada berbagai keperluan manusia, kadar selulosa yang cukup tinggi dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil.

Menurut Houston (1972) sekam memiliki *bulk density* 0,100 g/ml, nilai kalori antara 3300 -3600 kkal/kg sekam dengan konduktivitas panas 0,271 BTU.

Arang dapat dibuat dari bahan baku seperti kayu, tempurung kelapa, serbuk gergaji, dan salah satunya adalah sekam padi. Sekam padi memiliki komposisi kimia diantaranya terdiri dari protein kasar 3,03%, lemak 1,18%, serat kasar 35,68%, abu 17,71%, karbohidrat kasar 33,71%, (Suharno, 1979), menurut DTC-IPB sekam padi memiliki komposisi karbon (C) 1,33%, Hidrogen (H) 1,54%, Oksigen (O) 33,64%, dan silika 16,98%. Sedangkan menurut Ismail dan Waliuddin (1996) kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50% selulosa, 30% lignin, dan 20% silika. Dari hasil pengarangan sekam

padi akan diperoleh komposisi kimiawi arang yang terdiri dari 41,6% karbon terikat (C terikat), kadar abu 52,2%, kandungan air 1,5%, dan zat mudah terbang 12,5%. (<http://www.scribd.com/doc/35448981/Teknologi-Arang-Aktif-untuk-Pengendali-Residu-Pestisida-di-Lingkungan-Pertanian>).

Dalam satu gram karbon (arang), pada umumnya memiliki luas permukaan seluas 500-1500 m^2 , sehingga sangat efektif dalam menangkap partikel-partikel yang sangat halus berukuran 0.01-0.0000001 mm. Karbon bersifat sangat aktif dan akan menyerap apa saja yang kontak dengan karbon tersebut. Hanya dengan satu gram dari arang, akan didapatkan suatu material yang memiliki luas permukaan kira-kira sebesar 500 m^2 (didapat dari pengukuran adsorpsi gas nitrogen). Biasanya pengaktifan hanya bertujuan untuk memperbesar luas permukaannya saja, namun beberapa usaha juga berkaitan dengan meningkatkan kemampuan adsorpsi arang itu sendiri. (http://id.wikipedia.org/wiki/Karbon_aktif).

Menurut Ketaran (1980) dalam Subroto (2007), Arang adalah bahan padat yang berpori-pori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung unsur karbon (C). Sebagian besar pori-porinya masih tertutup dengan hidrokarbon, dan senyawa organik lain yang komponennya terdiri dari *fixed carbon*, abu, air, nitrogen dan sulfur. Arang dengan komponen penyusun utamanya berupa karbon dapat digunakan sebagai bahan bakar, filter atau penyerap dengan diolah menjadi karbon aktif, pewarna dengan diolah menjadi karbon black dan berbagai kebutuhan industri kimia lainnya. Penggunaan arang yang lain sebagai reduktor sebagaimana halnya *coke* pada

industri logam, karena mengandung karbon bebas yang tinggi (>70%). Kegunaan lainnya dari arang diantaranya adalah sebagai bahan penjernih, arang kompos, dan baterai Lithium.

(<http://oshin-mungil.blogspot.com/2011/11/pemanfaatan-arang-sekam-padi-dan-tanah.html>)

Tabel 3. Komposisi kimia Arang sekam padi

No.	Komponen	Persen (%)
1.	SiO ₂	52
2.	Carbon	31
3.	Al ₂ O ₃	1,05
4.	Fe ₂ O ₃	1,05
5.	CaO	0,25
6.	MgO	0,23
7.	SO ₄	1,13
8.	Na ₂ O	0,78
9.	K ₂ O	1