# II TINJAUAN PUSTAKA

## A. Motor Bakar

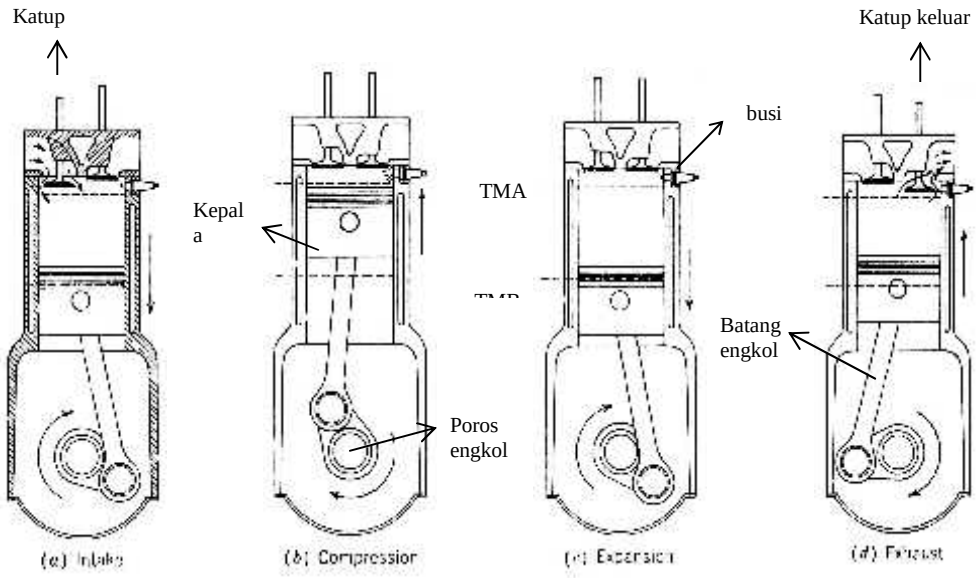
Motor bakar adalah alat yang berfungsi untuk mengkonversikan energi termal dari pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis, dimana proses pembakaran berlangsung di dalam silinder mesin itu sendiri sehingga gas pembakaran bahan bakar yang terjadi langsung digunakan sebagai fluida kerja untuk melakukan kerja mekanis (Wardono, 2004). Motor bakar pada umumnya dibedakan menjadi dua yaitu motor diesel dan motor bensin. Salah satu contoh dari motor bensin adalah sepeda motor.

Sepeda motor pertama kali dirancang dengan menggunakan mesin uap sebagai penggerak oleh Ernest Michaux seorang Perancis pada tahun 1868. Namun proyek rancangan ini tidak berhasil. Pada tahun 1885 Edward Butler mencoba membuat kendaraan lain yakni yang mempergunakan tiga roda dan menggunakan mesin pembakaran dalam sebagai penggerak motor tersebut. Pada tahun yang sama Gottlieb Daimler memperkenalkan ciptaannya berupa sepeda bermesin, dan dengan begitu dialah sebenarnya pencipta sepeda motor yang berhasil. Karena jenis kendaraan ini belum dikenal masyarakat banyak. Pada tahun 1892 Henry Hilderband dari Munich, Jerman Barat memperkenalkan sepeda motor model baru yang disusul lagi oleh Werner Brothe RS pada tahun 1897. Pada tahun 1885, Daimler memasangkan mesin empat langkah berukuran kecil pada sebuah sepeda kayu. Mesin diletakkan di

tengah (antara roda depan dan belakang) dan dihubungkan dengan rantai ke roda belakang. Sepeda kayu bermesin itu diberi nama Reitwagen (*riding car*) dan merupakan sepeda motor pertama di dunia.

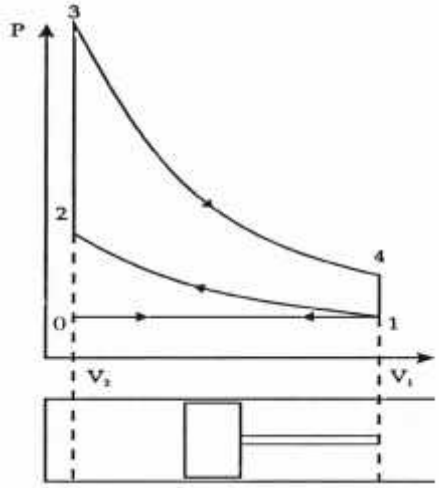
## B. Motor Bensin 4-Langkah

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, dalam Afrizal 2011).

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. 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.

c. 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.

d. 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.

e. 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.

f. 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.

## C. Sistem Pengapian

Sistem pengapian pada kendaraan menghasilkan tegangan tinggi yang diperlukan untuk membakar gas bahan bakar yang dimasukkan ke dalam ruang bakar (silinder) pada motor bensin. Sistem pengapian harus mampu menghasilkan percikan bunga api pada busi pada waktu yang tepat, yaitu beberapa derajat sebelum piston mencapai titik mati atas pada saat langkah kompresi, percikan bunga api ini akan membakar gas bahan bakar dan *engine* menghasilkan tenaga.

Dalam beberapa tahun terakhir ini, sistem pengapian berkembang dengan pesat. Dahulu kita hanya mengenal sistem pengapian dengan menggunakan kontak point (platina) sistem ini dengan istilah “pengapian konvensional”. Akhir–akhir ini banyak kendaraan menggunakan sistem pengapian elektronik.

### 1. Komponen Dasar Sistem Pengapian

Sistem pengapian mempunyai kemampuan untuk menaikan tegangan rendah (tegangan baterai 12 volt) menjadi tegangan yang sangat tinggi (20–30 kv), dan mendistribusikannya ke busi. Komponen yang dibutuhkan untuk mencapai hal tersebut antara lain:

- Baterai sebagai sebagai sumber awal sistem.
- Kunci kontak, sebagai alat bantu bagi pengemudi/operator untuk menghidupkan atau mematikan engine.
- Coil pengapian untuk meningkatkan tegangan baterai hingga mencapai 20-30 kV.
- Busi sebagai komponen yang dapat mengubah energi listrik menjadi percikan bunga api.
- Kontak poin, atau kelengkapan elektronik, berfungsi untuk mengendalikan saat coil bekerja.
- Pengawatan, baik primer maupun sekunder, untuk menghubungkan satu komponen ke komponen lain.

**2. Cara Kerja Sistem Pengapian**

Pada saat kunci kontak ON, arus listrik mengalir menuju sistem pengapian. Bila kontak poin menutup, arus juga akan menuju ke coil, inti coil menghasilkan energi magnet. Pada saat piston akan mencapai titik mati atas (TMA), pada saat langkah kompresi, kontak poin akan membuka, aliran arus terputus. Kondisi ini, coil kembali mengubah energi magnit menjadi energi listrik tegangan tinggi. Tegangan tinggi ini dialirkan ke busi dan busi mengubah energi listrik menjadi percikan bunga api yang akan membakar gas bahan bakar dan menghasilkan tenaga. Sedangkan bila kunci kontak diputus (OFF), arus listrik berhenti mengalir pada sistim, coil tidak bekerja dan tidak terjadi pengapian dan pembakaran, ini akan mematikan mesin.

## D. Sistem Karburator

Karburator merupakan bagian dari sistem bahan bakar (*fuel sistem*) pada kendaraan yang berfungsi untuk mencampurkan bahan bakar dengan udara yang dikendalikan oleh pergerakan *throttle* dan kemudian dimasukkan ke ruang bakar. Mesin membutuhkan karburator karena bahan bakar yang dikirim ke dalam silinder mesin harus berada dalam kondisi mudah terbakar. Ini penting agar tenaga yang dihasilkan mesin bisa optimal. Bensin sedikit sulit terbakar bila tidak diubah menjadi bentuk gas. Selain itu bensin tidak dapat terbakar sendiri, harus dicampur dengan udara dalam perbandingan yang tepat (Daryanto,2003).

Secara sederhana prinsip dasar kerja karburator adalah ketika piston bergerak turun, saat itu udara akan tertarik masuk. Udara ini mengalir masuk ke karburator dan menyebabkan terjadinya penurunan kevakuman. Perbedaan tekanan kevakuman ini menarik bahan bakar masuk melalui lubang khusus. Jumlah udara maksimum yang masuk ke karburator, terjadi saat mesin berputar pada kecepatan tinggi dengan posisi katup *throttle* terbuka secara penuh (Daryanto dalam pradana 2009).

## E. 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 yang utama adalah karbon dan oksigen. Oksigen yang diperlukan untuk pembakaran diperoleh dari udara, yang merupakan campuran dari oksigen dan nitrogen. Udara campuran gas ini, mempunyai komposisi seperti berikut ini (dalam persen volume)

| | | |
|---|---|---|
| Nitrogen | ($N_2$) | 78,03 % |
| Oksigen | ($O_2$) | 20,90 % |
| Argon | (Ar) | 0,94 % |
| Karbon dioksida | ($CO_2$) | 0,03 % |

Gas-gas lainnya seperti hidrogen, helium, neon, kripton, xenon : 0,1 %. ( Krist, Thomas. 1993).

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. Jika 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 (Maleev V.L., terjemahan Priambodo B. 1995).

reaksi cukup oksigen: $C + O_2 \rightarrow CO_2$,

reaksi kurang oksigen: $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$.

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 ideal dapat dilihat di bawah ini :

$$C_8H_{18} + 12{,}5(O_2 + 3{,}773N_2) \longrightarrow 8\ CO_2 + 9\ H_2O + 12{,}5\ (3{,}773\ N_2)$$

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 dapat berupa seperti dibawah ini (Heywood dalam Naratama 2011) :

$$C_xH_y + (O_2 + 3{,}773N_2) \longrightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + CO + NO_x + HC$$

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 ($CO_2$) dan uap air ($H_2O$) pada kondisi pembakaran sempurna. Disini proses pembentukan $CO_2$ dan $H_2O$ 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 $CO_2$ dan $H_2O$. 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).

## F. Gas Buang

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. Jika 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.

Efek dari gas buang ini juga dapat menimbulkan efek rumah kaca yang tidak kita harapkan. Pada motor bakar konvensional emisi gas buang yang dihasilkan berupa HC, CO, $CO_2$, $O_2$, $NO_x$ dan partikulat lain. Berbagai penelitian dilakukan untuk menurunkan kandungan emisi gas buang motor bakar konvensional itu sendiri. Emisi gas buang dihasilkan dari proses tidak sempurnanya pembakaran di ruang bakar, dimana hanya sebagian bahan bakar bereaksi dengan oksigen terutama di dekat dinding silinder antara torak dan silinder, hal ini pada umumnya disebabkan karena lemahnya api dan rendahnya temperatur pembakaran. Jika suhu pembakaran rendah dan perambatan nyala api lemah serta luasan dinding ruang bakarnya yang bersuhu rendah agak besar, kondisi ini akan dijumpai pada saat motor baru dihidupkan atau pada putaran langsam (*idle*), secara alamiah motor akan

banyak menghasilkan emisi gas buang yang dapat menyebabkan dampak negatif bagi kesehatan. Beberapa parameter yang dapat ditimbulkan dari gas buang kendaraan bermotor adalah sebagai berikut:

1. Karbon monoksida (CO)

   Di dalam semua polutan udara maka CO adalah pencemar yang paling utama. Gas karbon monoksida mempunyai ciri yang tidak berbau, tidak terasa, serta tidak berwarna dimana gas ini terbentuk akibat adanya suatu pembakaran yang tidak sempurna. Kendaraan bermotor memberi andil yang besar dalam peningkatan kadar CO yang membahayakan. Semakin kecil kadar CO semakin sempurna proses pembakarannya dan bensin semakin irit, ini menunjukan bagaimana bahan bakar dan udara tercampur dan terbakar. Semakin tinggi kadar CO semakin boros bensinnya, ini menunjukan kurangnya udara dalam campuran.

   Kendaraan bermotor 4-langkah untuk tahun pembuatan 2010 ke bawah, standar kandungan CO harus di bawah 5,5%. Sementara untuk motor 4-langkah 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 apabila suatu senyawa hidrokarbon terbakar sempurna (bereaksi dengan oksigen) maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida ($CO_2$) dan air ($H_2O$). Sedangkan HC yang didapat di gas buang kendaraan menunjukkan adanya

bensin yang tidak terbakar dan terbuang bersama sisa pembakaran. Hidrokarbon (HC) merupakan gas yang tidak begitu merugikan manusia, akan tetapi merupakan penyebab terjadinya kabut campuran asap (*smog*). 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 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 (Havendri, 2006).

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

3. Karbon
4. dioksida ($CO_2$)

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 harus melihat emisi lainnya yang

menunjukkan apakah AFR terlalu kaya atau terlalu kurus. Apabila $CO_2$ terlalu rendah tapi CO dan HC normal, menunjukkan adanya kebocoran *exhaust pipe.* Semakin tinggi kadar $CO_2$ semakin sempurna pembakarannya dan semakin bagus akselerasinya. Semakin rendah kadar $CO_2$ ini menandakan kerak di blok mesin sudah pekat harus *overhoul engine* (Havendri, 2006).

## G. Prosedur Pengujian Emisi Gas Buang

Agar mendapatkan hasil pengujian yang akurat maka prosedur pengujian juga harus dilakukan dengan sesuai prosedur yang telah ditetapkan sesuai standar ISO. Berdasarkan SNI emisi gas buang, cara pengujian kendaraan bermotor pada kondisi *idle*, yang sudah berdasakan acuan normatif dari ISO 3930/OIML R99, *instrument for measuring vechicle exhaust emissions*, edisi 2000 maka prosedur yang benar dalam pengujian emisi gas buang adalah sebagai berikut:

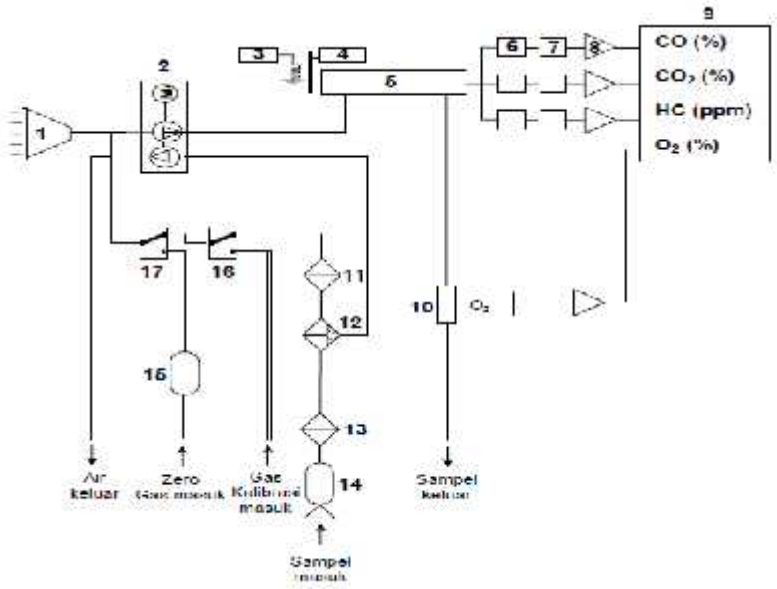
1. Persiapan kendaraan uji:
   - Kondisi kendaraan yang akan di uji harus pada kondisi datar.
   - Pipa gasbuang (knalpot) tidak bocor.
   - Temperatur mesin normal ($60^0$C sampai $70^0$C atau sesuai dengan rekomendasi manufaktur) dan sistem aksesoris (lampu) dalam kondisi mati.
   - Kondisi temperatur tempat kerja pada $20^0$C sampai $35^0$C.
2. Persiapan peralatan

Persiapan *gas analyzer* dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Pastikan bahwa alat sudah dalam kondisi terkallibrasi.
- Hidupkan sesuai prosedur pengujian (sesuai dengan rekomendasi manufaktur alat uji).

3. Pengukuran dan pencatatan

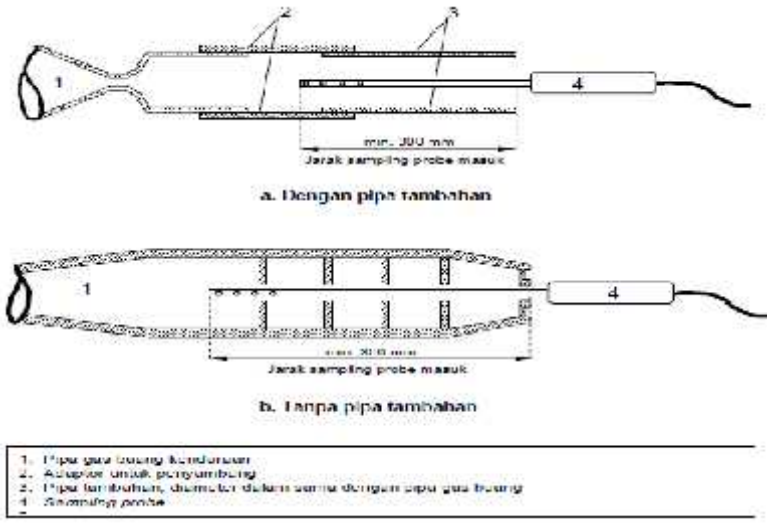
- Persiapkan kendaraan sesuai dengan langkah di atas.
- Siapkan alat uji sesuai langkah di atas.
- Naikkan (akselerasi) putaran mesin hingga 1900 rpm sampai dengan 2100 rpm kemudian tahan selama 60 detik dan selanjutnya kembalikan pada kondisi *idle*.
- Selanjutnya lakukan pengukuran pada kondisi *idle* pada putaran mesin 800 rpm sampai dengan 1400 rpm atau sesuai dengan kondisi manufaktur.
- Masukan *probe* alat uji ke pipa gas buang (knalpot) sedalam 30 cm, bila kurang 30 cm maka pasang pipa tambahan.
- Tunggu 20 detik dan lakukan pengambilan data konsentrasi gas CO dalam satuan (%) dan HC dalam satuan ppm yang terukur dalam alat uji.




1. Sensor aliran
2. Pompa diaghprahma
3. Transmitter infra merah
4. Motor sinkronisasi
5. Measuring Cell
6. Optical filter
7. Penerima infra merah (receiver)
8. Amplifier
9. Display
10. Sensor $O_2$
11. Filter
12. Condensate Separating Filter
13. Filter luar transparent
14. Sampel probe
15. Filter karbon aktif
16. katup solenoid
17. Katup solenoid

**Gambar 3.** Rangkaian peralatan uji emisi gas buang. (SNI 09-7118.2-2005)

Untuk cara pemasangan alat pembaca gas pembakaran ke pipa gas buang (knalpot) adalah sebagai berikut:




**Gambar 4.** Pemasukan *sampling probe* ke dalam pipa gas buang (SNI 09-7118.2-2005)

## H. Parameter Prestasi Motor Bensin 4-Langkah

Prestasi mesin biasanya dinyatakan dengan efisiensi thermal, ¦ 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 menunjukan daya *output* yang berguna untuk menggerakan 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 :

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.

## I. *Brown gas*

*Brown gas* adalah campuran gas hidrogen-hidrogen-oksigen (HHO) yang diperoleh dari peroses penguraian atau elektrolisis air ($H_2O$). Dimana gas tersebut dapat digunakan untuk menggerakkan mesin kendaraan. Pada tahun 1980 sampai 1998, Stanley Meyer seorang Amerika yang berasal dari kota Ohio juga telah mengembangkan bahan bakar gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air yang digunakan untuk menggerakkan mesin kendaraan.

*Brown gas* merupakan campuran dari hidrogen yang eksplosif dan oksigen yang sangat dibutuhkan dalam setiap proses pembakaran. Jadi sebetulnya terdapat dua proses untuk memanfaatkan air sebagai bahan bakar. Proses pertama yaitu penguraian air menjadi *brown gas*. Kemudian yang kedua adalah pembakaran *brown gas* itu sendiri yang menghasilkan energi. Selain dari energi, hasil pembakaran *brown gas* juga menghasilkan uap air dan tidak memproduksi gas-gas polutan berbasis karbon (Meyer dalam Pradana, 2009).

Untuk menghasilkan *brown gas* dibutuhkan sebuah generator. Pembuat generator *brown gas* yang sesuai dengan teknik dasar penemunya (Yull Brown) dibutuhkan biaya yang besar dan keahlian khusus. Namun hal itu

dapat disiasati dengan adanya inovasi dan implementasi dalam hal penentuan rangkaian mekanisme pembuatan generator *brown gas* sederhana dengan bahan-bahan lokal yang mudah diperoleh. Generator *brown gas* sederhana tersebut disebut elektroliser. Keuntungan dari penggunaan elektroliser adalah tidak perlu adanya perubahan pada komponen mesin dan biaya perakitan alatnya sangat murah dan mudah didapat.

## J. Elektrolisis Air

Proses elektrolisis air adalah menguraikan $H_2O$ menjadi $H_2$ dan $O_2$ dengan bantuan elektroda yang diberi tegangan listrik. *Electrolyzers* membuat hidrogen dengan melewatkan arus listrik melalui air yang mengandung elektrolit. Medan elektromagnetik perubahan struktur atom hidrogen ($H_2$) dan oksigen ($0_2$) ditemukan dalam air dari diatomik ke monoatomik. Selain itu, ikatan neutron memegang H dan O rilis bersama. Seperti H dan O terpisah, H ditarik ke positif dan O untuk sumbu negatif *electrolyzer*, proses ini disebut disosiasi. Karena proses berlanjut, peningkatan volume, dan H dan gelembung gas $O_2$ yang menempel pada sirip dari elektroliser menjadi copot dan melayang ke atas. Sebagai monoatomik hidrogen dan gelembung gas oksigen memecah permukaan air mereka bergabung kembali dalam ruang udara di atas elektroliser sebagai *brown gas*.

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis antara lain adalah:

1. Energi penguraian air

   Secara konvensional diperlukan energi sebesar 237,13 kJ untuk menghasilkan 1 mol hidrogen ($H_2$) atau 2 g $H_2$ =22,4 liter $H_2$, sehingga

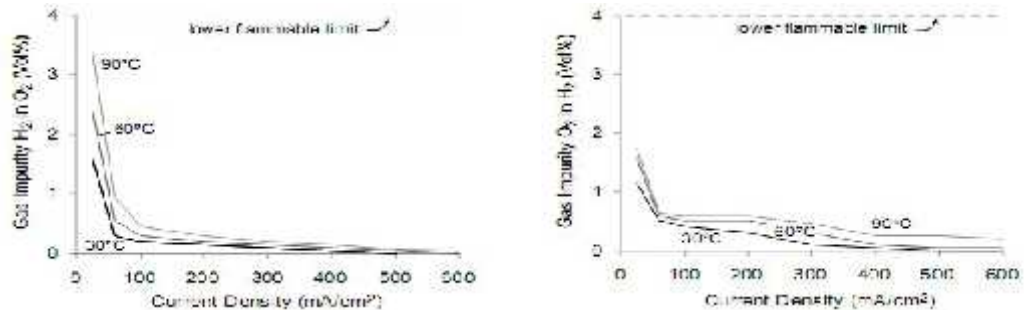
untuk membuat 1kg $H_2$ diperlukan 32,935 kWh (Archer Energi Sistem, Inc). 1 kg $H_2$ setara dengan energi 1 galon *gasoline.*

2. Penggunaan katalisator

   Katalisator misalnya KOH, $H_2SO_4$ dan lain-lain berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kesetabilan molekul air menjadi menjadi ion H dan OH yang lebih mudah dielektrolisis. Dengan kata lain energi untuk menguraikan air menjadi lebih rendah.

3. Penggunaan energi panas

   Pada pengoperasian elektrolisis dengan suhu 830$^oC$, mampu memproduksi 177 liter hidrogen setiap jam dibandingkan dengan secara konvensional yang hanya 22,4 liter per jam, dengan energi listrik yang sama (Green Car Congress). Dengan densitas arus yang rendah dan temperatur yang tinggi akan diperoleh persentase gas lebih besar seperti ditunjukkan pada grafik berikut.




**Gambar 5**. Grafik persentase gas elektrolisis pada beberapa tingkatan suhu. (wahyudi, 2010)

4. Frekuensi resonansi

   Material yang dioperasikan pada frekuensi yang sama dengan frekuensi natural material tersebut akan lebih cepat rusak karena beresonansi. Demikian juga yang dialami air jika diberikan frekuensi tertentu (pada percobaan Stanley Meyer frekuensi yang dipakai adalah 43430 Hz dan 143762 Hz) mampu menguraikan air dengan energi listrik yang lebih rendah.

5. Tegangan dan arus elektrolisis

   Besar tegangan dan arus listrik berbanding lurus dengan banyak gas yang dihasilkan, karena terkait dengan kesetimbangan energi dalam proses elektrolisis. Dengan efisiensi 100 % diperlukan 3 KWh setiap meter kubik hidrogen pada temperatur $20^{o}$C. Efisiensi 100 % diperoleh jika tegangan antar elektroda sebesar 1,23 Volt, sedangkan tegangan selebihnya adalah terbuang sebagai panas. Pada umumnya elektroda yang dipakai seperti *platinum* dan *stainless* steel mempunyai resistansi sehingga tegangan yang harus diberikan lebih dari 1,48 Volt. Intensitas arus pada elektroda adalah sebesar 0,4 A/$cm^2$, jika intensitas dinaikkan akan memberi peluang korosi pada elektroda.

6. Fluida elektrolisis

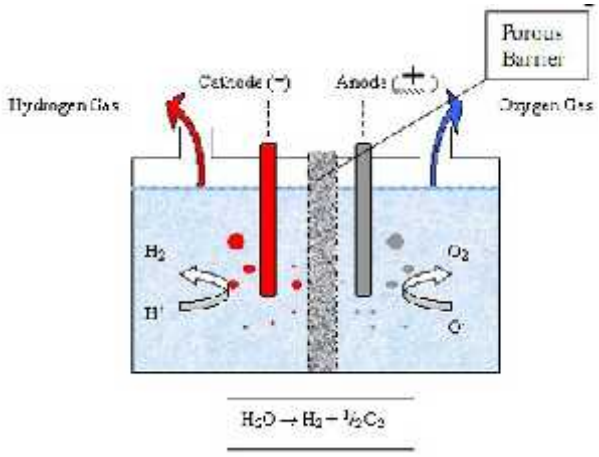
   Dalam produksi gas hidrogen, elektolisis methanol lebih hemat listrik dari pada elektrolisis metana (gas alam) sedangkan elektrolisis metana lebih hemat listrik dari pada elektrolisis air. Alkalin sering dipakai sebagai elektrolit yaitu larutan potasium hidroksida (KOH) dengan komposisi 20-

30% yang memberikan koduktifitas optimal dan tidak menimbulkan korosi pada elektroda stainless steel. Temperatur dan tekanan operasional dari elektrolosis tersebut adalah 70-100$^{o}$C dan 1,3 bar. Reaksi kimia pada proses elektroliser alkalin ditunjukkan sebagai berikut.

Pada elektroda katoda : $4\,H_2O + 4e^- \rightarrow 2\,H_2 + 4OH^-$

Pada elektroda anoda : $4\,OH^- \rightarrow O_2 + 4e^- + 2\,H_2O$

Reaksi keseluruhan : $2\,H_2O \rightarrow 2\,H_2 + O_2$




**Gambar 6.** Proses elektrolisa air (wahyudi, 2010)

## 1. Komponen Elektrolisis

Komponen penting yang menunjang proses elektrolisis untuk mmenghasilkan gas HHO adalah tabung elektroliser, elektroda (katoda dan anoda), larutan elektrolit, dan water trap (*vaporiser*).

### a. Tabung Elektroliser

Tabung elektroliser merupakan tempat penampungan larutan elektrolit, sekaligus tempat berlangsungnya proses elektrolisis untuk menghasilkan gas HHO. Di dalam tabung ini terdapat dudukan

elektroda yang akan diberi arus listrik dari accu (baterai). Tabung elektroliser yang digunakan terbuat dari bahan kaca atau plastik tahan panas. Sebab, proses elektrolisis yang menghasilkan gas HHO yang akan memproduksi sejumlah panas.

**b. Elektroda**

Gas HHO yang dihasilkan dari proses elektrolisis terjadi akibat adanya arus listrik yang melewati elektroda dan akan menguraikan unsur-unsur air. Elektroda terdiri dari dua kutub yaitu anoda (+) dan katoda (-) yang dimasukkan kedalam larutan elektrolit. Jika elektroda tersebut diberi arus listrik akan muncul gelembung-gelembung kecil berwarna putih (gas HHO). Elektroda yang digunakan pada proses elektrolisa terbuat dari kawat *stainless steel* yang tahan karat.

**c. Elektrolit**

Elektrolit digunakan untuk menghasilkan gas HHO pada proses elektrolisis. Elektrolit terdiri dari air murni atau air destilasi dan katalisator. Katalisator akan larut dalam air murni dan menyatu membentuk larutan elektrolit. Katalis yang digunakan pada proses elektrolisis adalah sodium bikarbonat atau kalium hidroksida (KOH) atau soda kue.

**d. Water Trap (*vaporiser*)**

*Vaporiser* atau water trap yang digunakan untuk menghemat bahan bakar dengan air bertujuan untuk meningkatkan kinerja elektroliser. Alat ini berfungsi sebagai penangkap air agar tidak masuk kedalam ruang bakar. Selain itu alat ini berfungsi sebagai tangki penampung gas HHO sebelum masuk (terisap) ke dalam ruang bakar dan menambahkan uap air (*water vapor*) kedalam ruang bakar. Bahan bakar yang telah bercampur dengan udara dibakar di dalam ruang bakar bersama-sama dengan gas HHO.

Keuntungan menggunakan *vaporiser* sebagai berikut:

1. Air tidak ikut terisap ke ruang bakar, sehingga mesin tidak tersendat pada saat akselerasi.
2. Tenaga mesin meningkat sekitar 10%.
3. Penghematan bahan bakar bertambah sekitar 5%.
4. Gas buang dari knalpot tidak berbau menyengat dan perih dimata, sehingga lebih ramah lingkungan (Hidayatullah, 2008).

**2. Cara Kerja Elektroliser**

Gas hidrogen hidrogen oksida (HHO) yang telah dihasilkan akan terisap oleh mesin. Gas tersebut terbentuk akibat adanya arus listrik yang berasal dari accu mobil 12 volt. Jika kedua kutub elektroda (katoda dan anoda) diberi arus listrik, elektroda tersebut akan saling berhubungan karena adanya larutan elektrolit sebagai penghantar listrik. Dengan adanya aliran listrik pada elektroda, menyebabkan timbulnya

gelembung-gelembung kecil bewarna putih. Inilah proses produksi gas hidrogen-hidrogen oksida (HHO) berlangsung.

Di dalam elektroliser, air ($H_2O$) dipecah menjadi gas HHO atau sering disebut sebagai *brown gas*. Elektroliser juga merupakan istilah lain untuk menyebut generator hidrogen. Elektroliser menghasilkan hidrogen dengan cara mengalirkan arus listrik pada media air yang mengandung larutan elektrolit. Medan magnet akan mengubah struktur atom hidrogen ($H_2$) dan oksigen ($O_2$) pada air dari bentuk diatomik menjadi monoatomik. Selain itu, ikatan neutron yang mengikat partikel H dan O akan terlepas, sehingga partikel H akan tertarik ke kutub positif dan partikel O akan tertarik ke kutub negatif elektroliser. Inilah yang disebut sebagai disosiasi. Sejalan dengan proses tersebut, volume dan gelembung gas H dan O yang melekat pada 'fin' elektroliser akan bertambah, terlepas mengambang, dan kemudian bergerak naik. Saat gelembung gas hidrogen dan oksigen monoatomik terlepas dari permukaan air, partikel gas tersebut akan berikatan kembali di ruang udara sebagai *brown gas* atau gas HHO.

Gas hidrogen dihasilkan oleh kutub katoda (-), sedangkan oksigen dihasilkan oleh kutub anoda (+). Gelembung-gelembung gas HHO akan bergerak ke permukaan larutan elektrolit dan melayang ke atas dan terhisap oleh putaran mesin. Selanjutnya, gas HHO bercampur dengan camnpuran bahan bakar dan udara dari karburator atau EFI. Setelah itu, gas HHO yang mempunyai nilai oktan lebih tinggi, secara otomatis

akan meningkatkan kalori bahan bakar (bensin atau solar). Bensin atau solar yang memiliki nilai oktan jauh di bawah gas HHO akan terbakar habis tanpa sisa (pembakaran sempurna). Semakin tinggi nilai oktan suatu bahan bakar, daya ledak yang dihasilkan akan lebih dahsyat. Efek ledakan tersebut membuat tenaga mesin akan meningkat dan konsumsi bahan bakar menjadi lebih irit (Sudirman, 2008).

Keuntungan menggunakan gas HHO sebagai berikut:

1. Mampu menghemat 15% -37% bahan bakar (berdasarkan literatur), namun berdasarkan percobaan gas HHO mampu menghemat lebih dari itu, bahkan sampai 80%.
2. Tenaga mesin meningkat, sebab nilai oktan gas hidrogen lebih tinggi yaitu sekitar 130, dibandingkan dengan premium (86), pertamax (90), dan pertamax plus (92).
3. Gas HHO tidak merusak mesin justru menjadikan mesin lebih awet, sebab pembakarannya lebih sempurna.
4. Temperatur mesin lebih stabil.
5. Minyak pelumas (oli), tidak mudah hitam.
6. Lebih ramah lingkungan, terbukti dari asap knalpot yang bersih dan tidak menimbulkan jelaga (Sudirman, 2008).

## K. Hidrogen

Hidrogen (bahasa Latin: *hydrogenium*, dari bahasa Yunani: *hydro*: air, *genes*: membentuk) adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna,

tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Dengan massa atom 1,00794 atom hidrogen adalah unsur teringan di dunia.

Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% $H_2$ di udara bebas. Entalpi pembakaran hidrogen adalah -286 kJ/mol. Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:

$2\ H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2\ H_2O_{(l)} + 572$ kJ (286 kJ/mol) (3)

Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada temperatur 560°C (http://id.wikipedia.org/wiki/Hidrogen).

## L. Air

Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia $H_2O$ : satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) and temperatur 273,15 K (0 °C). Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting, yang memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik (Achmad, 1992).

Molekul air dapat diuraikan menjadi unsur-unsur asalnya dengan mengaliri arus listrik. Proses ini disebut elektroliis air. Pada katoda, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, kemudian tereduksi menjadi gas $H_2$

dan ion hidrokida ($OH^-$). Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen ($O_2$), melepaskan 4 ion $H^+$ serta mengalirkan elektron ke katoda. Ion $H^+$ dan $OH^-$ mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air. Reaksi keseluruhan yang setara dari elektrolisis air dapat dilihat pada persamaan.

$$2H_2O_{(l)} \longrightarrow 2H_{2(g)}+O_{2(g)} \qquad (1)$$

Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen dan hidrogen peroksida ($H_2O_2$) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen (Achmad, 1992).

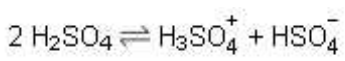
Penguraian air berdasarkan persamaan termokimia adalah perubahan panas yang dikaitkan dengan suatu reaksi kimia. Suatu reaksi yang membebaskan kalor adalah reaksi eksoterm, dan suatu reaksi yang menyerap kalor adalah reaksi endoterm. Sehingga perubahan kalor dalam suatu reaksi kimia disebut perubahan entalpi. Penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen merupakan reaksi endoterm (Wood, 1984).

$$H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \qquad \Delta H = + 285{,}83 \text{ KJ}$$

## M. Asam Sulfat

Asam sulfat adalah asam mineral yang kuat dengan rumus molekul $H_2SO_4$. $H_2SO_4$ ini adalah cairan yang sangat polar, memiliki dielektrik konstan sekitar 100. $H_2SO_4$ memiliki konduktivitas listrik tinggi, yang disebabkan oleh disosiasi melalui protonating sendiri, proses yang dikenal sebagai

*autoprotolysis*. Asam sulfat murni adalah sangat korosif tidak berwarna, cairan kental. Garam-garam dari asam sulfat disebut sulfat. Asam sulfat larut dalam air pada semua konsentrasi.



Reaksi hidrasi asam sulfat sangat eksotermik. Asam sulfat adalah zat pendehidrasi yang sangat baik dan digunakan untuk mengeringkan buah-buahan. Afinitas asam sulfat terhadap air cukuplah kuat sedemikiannya ia akan memisahkan atom hidrogen dan oksigen dari suatu senyawa. Sebagai contoh, mencampurkan pati $(C_6H_{12}O_6)_n$ dengan asam sulfat pekat akan menghasilkan karbon dan air yang terserap dalam asam sulfat (yang akan mengencerkan asam sulfat) (wikipedia.org). $H_2SO_4$ adalah anion bisulfat dan $SO_4^{2-}$adalah anion sulfat. Afinitas asam sulfat untuk air cukup kuat bahwa hal itu akan menghapus hidrogen dan atom oksigen dari senyawa lain, misalnya, pati pencampuran $(C_6H_{12}O_6)_n$ dan asam sulfat pekat akan menghasilkan karbon unsur dan air yang diserap oleh asam sulfat (yang menjadi sedikit diencerkan). Pengaruh ini dapat dilihat ketika asam sulfat pekat yang tumpah di atas kertas, selulosa bereaksi untuk memberikan penampilan yang dibakar.

## N. Kalium Hidroksida

Kalium hidroksida (KOH) ialah senyawa kimia yang merupakan besi logam yang amat beralkali. Senyawa ini kekadang juga disebut sebagai potasy

kaustik, *lai potasy*, dan kalium hidrat. Karakteristik dari KOH ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1.Karakteristik KOH

| | |
|---|---|
| Pemantapan fasa | 2.044 g/sm$^3$, pepejal |
| Keterlarutan dalam air | 1100 g/L (25 °C) |
| Titik lebur | 406 °C |
| Titik didih | 1320 °C |
| Tekanan wap | 1.3hPa (719 ° C) |

Kalium hidroksida ialah salah satu bahan kimia perindustrian utama yang digunakan sebagai dasar dalam berbagai proses kimia, termasuk:

- penyalutan kopolimer ester akrilat
- minyak-minyak penyabunan untuk sabun cair
- bahan bantu perumusan untuk makanan
- agen pengawal pH
- damar-damar polietilena
- pemprosesan tekstil

Sebagian jenis ini juga digunakan untuk serbuk-serbuk pencuci, setengah pembersih gigi palsu, bahan cuci bukan fosfat, serta bahan-bahan pencuci parit atau pipa.

Bagi orang biasa, salah satu kegunaan KOH yang amat penting adalah untuk bateri alkali yang menggunakan larutan KOH sebagai elektrolit. Oleh itu, kalium hidroksida membantu membekalkan kuasa untuk lampu suluh, pengesan asap, dan barang-barang kegunaan rumah yang dikuasai oleh baterai. Kalium hidroksida juga merupakan bahan punar tak isotropi untuk

silikon (bahan punar ini mendedahkan satah-satah oktahedron). Teknik ini boleh juga mewujudkan piramid dan lubang punaran berbentuk tetap untuk kegunaan seperti MEMS.

Kekuatan basa sangat bergantung pada kemampuan basa tersebut melepaskan ion OH- dalam larutan dan konsentrasi larutan basa tersebut. Basa kuat bersifat korosif. Contoh senyawa yang tergolong basa kuat adalah natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), dan kalsium hidroksida (Ca(OH)2), sedangkan ammonia (NH3) tergolong sebagai basa lemah. Kaustik merupakan istilah yang digunakan untuk basa kuat (Wordpress.com, 2008).

Katalis homogen yang banyak digunakan pada reaksi elektrolisis adalah katalis basa/alkali seperti kalium hidroksida (KOH) dan natrium hidroksida (NaOH) (Darnoko, D., 2000). Penggunaan katalis homogen ini mempunyai kelemahan yaitu: bersifat korosif, berbahaya karena dapat merusak kulit, mata, paru-paru bila tertelan, sulit dipisahkan dari produk sehingga terbuang pada saat pencucian,mencemari lingkungan, tidak dapat digunakan kembali (Widyastuti, L., 2007). Keuntungan dari katalis homogen adalah tidak dibutuhkannya suhu dan tekanan yang tinggi dalam reaksi. Sedangkan jenis katalis heterogen yang dapat digunakan pada reaksi elektrolisis adalah CaO, MgO. Keuntungan menggunakan katalis ini adalah: mempunyai aktivitas yang tinggi, kondisi reaksi yang ringan, masa hidup katalis yang panjang biaya katalis yang rendah, tidak korosif, ramah lingkungan dan menghasilkan

sedikit masalah pembuangan, dapat dipisahakan dari larutan produksi sehingga dapat digunakan kembali. (Bangun, N., 2008).