

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Bakar

Pada umumnya suatu motor diartikan sebuah mesin yang dapat mengubah suatu bentuk energi menjadi kerja mekanik. Sedangkan motor bakar merupakan sebuah mesin yang memperoleh energi untuk kerja mekanik dari proses pembakaran bahan bakar dalam mesin itu sendiri. Oleh karena itu motor bakar kadang-kadang sering disebut dengan mesin kalori dengan pembakaran dalam (*internal combustion engine*) (Wardono, 2004).

Proses pembakaran yang terjadi pada motor bakar adalah suatu reaksi kimia yang berlangsung pada temperatur tinggi dan dalam waktu yang singkat. Reaksi seperti ini disebut reaksi eksoterm di mana dari reaksi ini dihasilkan jumlah panas yang besar. Panas tersebut merupakan aliran tenaga yang kuat untuk mendorong piston, akibatnya piston akan bergerak dan diteruskan ke poros engkol menjadi gerak putar (Arismunandar, 1981).

Motor bakar dapat diklasifikasikan menurut jenis bahan bakarnya menjadi dua jenis, yaitu motor bensin dan motor solar. Selain jenis bahan bakar, komponen lain yang membedakan antara motor bensin dan motor solar adalah adanya injektor pada motor solar dan adanya busi pada motor bensin sebagai pemantik untuk pembakaran. Pada motor bensin udara yang telah bercampur bahan bakar

di hisap ke ruang bakar tetapi pada motor diesel hanya udara saja yang di hisap ke ruang bakar (Wardono, 2004).

1. Motor bensin

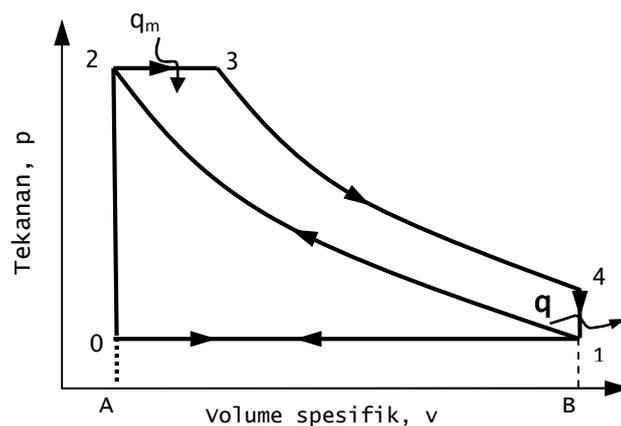
Yang menjadi ciri utama dari motor bensin adalah proses pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam ruang silinder pada volume tetap. Proses pembakaran pada volume tetap ini disebabkan pada waktu terjadi kompresi, di mana campuran bahan bakar dan udara mengalami proses kompresi di dalam silinder, dengan 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 dan tekanan dalam ruang bakar.

2. Motor Diesel

Motor diesel memiliki ciri utama yaitu pembakaran bahan bakar di dalam silinder berlangsung pada tekanan konstan, di mana gas yang di hisap 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. Motor diesel adalah motor pembakaran dalam (*Internal combustion engine*) yang beroperasi dengan menggunakan minyak berat sebagai bahan bakar dengan suatu prinsip bahan bakar tersebut secara spontan terbakar. Motor diesel terdiri atas dua jenis yaitu motor diesel dua langkah dan motor diesel empat langkah (Maleev, 1995).

Proses pembakaran dapat terjadi di dalam silinder motor bakar diesel ini karena bahan bakar solar yang dikontakkan dengan udara terkompresi bertemperatur dan

bertekanan sangat tinggi di dalam silinder, dimasukkan dengan cara disemprotkan pada tekanan tinggi, sehingga dihasilkan butir-butir bahan bakar yang sangat halus. Akibatnya, panas yang terkandung atau diberikan oleh udara terkompresi tadi dapat membakar butir-butir halus bahan bakar ini. Oleh karena itu, pada motor bakar diesel ini tidak dipergunakan busi untuk memantik bahan bakar agar terbakar, seperti halnya pada motor bensin. Untuk lebih jelasnya proses-proses yang terjadi pada motor bakar bensin ini dapat dijelaskan melalui siklus ideal dari siklus udara bahan bakar volume konstan (siklus diesel) seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram P – V dari siklus Tekanan Konstan (Maleev, 1995).

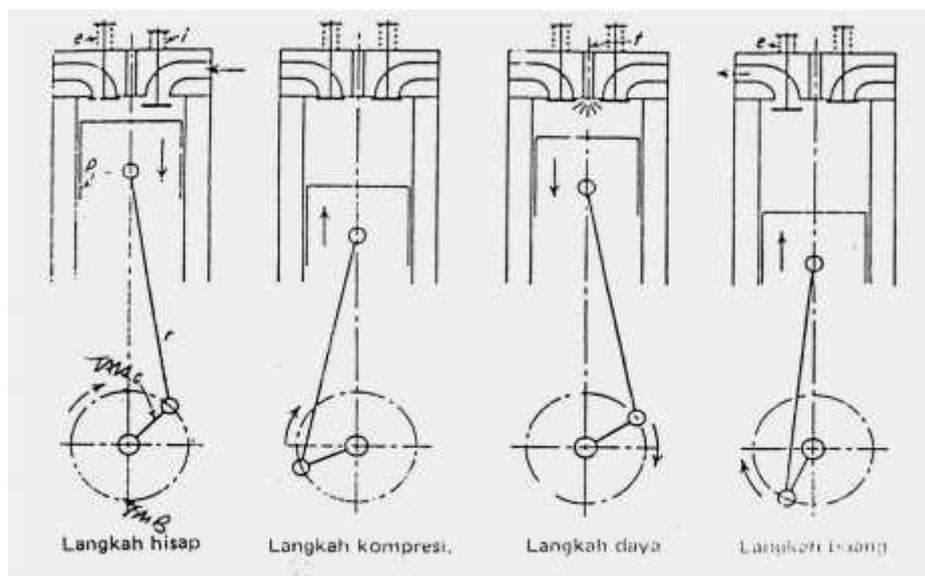
Proses- proses yang terjadi pada siklus udara bahan bakar tekanan konstan (siklus diesel) adalah sebagai berikut (Wardono, 2004) :

1. Langkah isap (0-1) hanya udara segar yang diisap masuk ke dalam silinder.
2. Kemudian udara segar ini dikompres pada langkah kompresi isentropik (1-2). Di akhir langkah kompresi bahan bakar (solar) diinjeksikan dalam bentuk butiran – butiran halus ke dalam silinder menggunakan *injector*/

atomizer bertekanan tinggi dan langsung dikontakkan dengan udara terkompres bertemperatur dan bertekanan tinggi. Sesaat kemudian campuran udara terkompres butir halus bahan bakar ini terbakar dengan sendirinya (*autoignition*).

3. Proses pembakaran (2-3) ini dianggap terjadi pada tekanan konstan.
4. Selanjutnya terjadi pendorongan piston dari TMA menuju TMB pada langkah ekspansi (3-4), dan diakhiri dengan langkah buang (4-1-0).

Untuk lebih jelasnya, proses-proses yang terjadi pada motor bakar diesel 4-langkah dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Siklus operasi motor bakar diesel 4-langkah (Maleev, 1995).

B. Komponen Utama Motor Bakar 4 Langkah

Meskipun motor bakar sangat sederhana, akan tetapi komponen-komponennya sangat rumit. Pada dasarnya komponen-komponen utama dari motor bakar antara motor bensin dan motor diesel adalah sama, perbedaannya hanya terletak pada komponen untuk sistem pengapian bahan bakar. Sistem pengapian pada motor

bensin dilengkapi dengan karbulator dan busi, sedangkan pada motor diesel menggunakan *injector* atau *atomiser*. Untuk lebih jelasnya komponen-komponen pada motor bakar 4 langkah sebagai berikut (Wardono H, 2004):

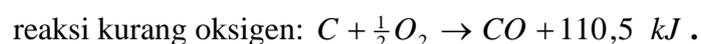
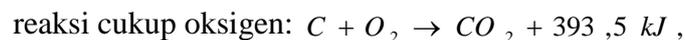
1. Silinder (*cylinder*), sebagai tempat berlangsungnya keempat langkah proses pada motor bensin 4-langkah ini.
2. Piston, yang berfungsi untuk melakukan proses kompresi.
3. Kepala silinder (*head cylinder*), yang berfungsi sebagai penutup ujung atau bagian atas silinder, tempat kedudukan busi serta kedua katup dan saluran (isap dan buang).
4. Saluran isap (*inlet manifold*) dan saluran buang (*exhaust manifold*), yang berfungsi sebagai saluran masuk udara-bahan bakar ke dalam silinder, dan sebagai saluran keluar gas pembakaran ke saluran buang.
5. Batang engkol (*connecting rod*), sebagai penghubung piston dan poros engkol.
6. Poros engkol (*crank shaft*), yang berfungsi sebagai pengubah gerak bolak-balik (*reciprocating*) dari piston menjadi gerak putar poros engkol tersebut.
7. Kerangka mesin atau blok silinder (*crankcase*), sebagai tempat silinder dan poros engkol bertumpu dan juga sebagai tempat penyimpanan minyak pelumas.
8. Roda gaya atau roda gila (*fly wheel*), sebagai energi yang menjaga agar poros engkol dapat tetap berputar untuk menggerakkan torak ketika melakukan langkah buang, langkah isap, dan langkah kompresi.
9. Mekanisme katup, berfungsi sebagai pengatur terbuka atau tertutupnya katup isap atau katup buang.

10. Injektor, berfungsi sebagai penyemprot bertekanan tinggi bahan bakar solar yang akan diinjeksikan kedalam ruang silinder mesin diesel.

C. Proses Pembakaran

1. 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 karbon dan hidrogen. Selama proses pembakaran, butiran minyak bahan bakar menjadi elemen komponennya, yaitu hidrogen dan karbon, hidrogen 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 (Wardono, 2004).

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).

Perbandingan Udara-Bahan Bakar. Secara teoritis, sekitar 14,5 lb udara diperlukan untuk pembakaran 1 lb minyak bahan bakar. Tetapi, dalam keadaan seperti itu, sebagian partikel dari oksigen, yang tercampur nitrogen dan hasil pembakaran, tidak akan mampu berperan serta dalam proses pembakaran, karena sangat singkatnya waktu yang digunakan untuk pembakaran sejumlah karbon monoksida kemudian akan terbentuk atau partikel karbon tetap belum terbakar. Maka, untuk menjamin pembakaran yang sempurna dari bahan bakar dan

menghindarkan rugi panas karena pembentukan karbon monoksida dan karbon yang tidak terbakar, harus terdapat kelebihan udara dalam silinder. Perbandingan berat udara yang ada terdapat berat bahan bakar yang diinjeksikan selama tiap langkah daya disebut perbandingan udara-bahan bakar. Perbandingan ini merupakan faktor yang sangat penting dalam operasi motor bakar. Jika mesin diesel beroperasi pada beban ringan, maka perbandingan udara-bahan bakar sebenarnya adalah beberapa kali lebih besar dari nilai teoritis 14,5. Dengan meningkatnya beban, akan lebih banyak bahan bakar yang diinjeksikan tetapi jumlah udara dalam silinder praktis tetap konstan, sehingga perbandingan udara-bahan bakar menurun. Tetapi meskipun ketika mesin dibebani penuh, perbandingan bahan bakar harus paling tidak 25 sampai 30 persen lebih besar daripada 14,5. Jadi harus banyak terdapat kelebihan udara di atas minimum yang diperlukan untuk pembakaran sempurna dalam silinder (Maleev, 1995).

Hasil Pembakaran. Jika minyak bahan bakar dibakar dalam silinder mesin diesel, maka gas-gas yang timbul setelah pembakaran yang disebut hasil pembakaran, terdiri atas uap air, karbon dioksida, oksigen sisa, dan nitrogen. Juga mungkin mengandung jumlah sangat sedikit dari karbon monoksida, hidrogen dan sedikit gas lain yang terbentuk pada suhu tinggi. *Pembakaran Tidak Sempurna (Asap)*, terdapat kelebihan udara, masih terdapat kemungkinan bahwa sebagian partikel bahan bakar tidak akan bersinggungan dengan oksigen. Tetapi, partikel bahan bakar dipecahkan menjadi molekul hidrogen dan karbon oleh suhu tinggi yang meliputi selama pembakaran dalam mesin diesel. Molekul hidrogen bergabung dengan oksigen secara lebih cepat daripada molekul karbon, sehingga molekul karbon tidak terbakar dan muncul sebagai asap dalam pembuangan atau

diendapkan sebagai jelaga berlemak dalam ruang bakar atau sistem pembuangan. Sejumlah tertentu dari asap juga terbentuk oleh pemecahan dan pembakaran tidak sempurna dari minyak lumas. Tetapi, asap yang terbentuk oleh minyak lumas berwarna biru, sedangkan asap yang terbentuk oleh minyak bahan bakar berwarna kelabu sampai hitam, tergantung pada perbandingan udara-bahan bakar dan kesempurnaan campuran antara bahan bakar dengan udara (Maleev, 1995).

2. Pembakaran Yang Tidak Normal Pada Motor Diesel

Bila bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder, maka bahan bakar akan bercampur dengan udara panas akibat dikompresikan oleh torak. Beberapa saat setelah terjadi proses penguapan, pencampuran dan oksidasi bahan bakar, barulah terjadi pembakaran. Selang waktu antara bahan bakar diinjeksikan dan terjadinya penyalaan disebut kelambatan penyalaan. Faktor ini sangat penting pada pembakaran motor diesel. Kelambatan penyalaan yang pendek adalah yang terbaik. Bahan bakar yang diinjeksikan selama waktu itu segera terbakar. Begitu terjadi penyalaan segera terjadi kenaikan tekanan. Kelambatan penyalaan yang pendek, naiknya tekanan perlahan-lahan (letupan halus). Kelambatan penyalaan yang panjang menimbulkan getaran yang keras sewaktu terjadi letupan. Bila penyalaan terjadi setelah bahan bakar selesai diinjeksikan kenaikan tekanan sangat curam dan getaran menghasilkan gelombang-gelombang tekanan dan penyebab terjadinya *knocking* pada motor diesel.

Kemungkinan penyebab-penyebab terjadinya *knocking* adalah (Soenarta, 1985).

1. Penyalaan spontan dari bahan bakar

Untuk motor diesel penggunaan bahan bakar yang mudah menyala dan kelambatan penyalaan yang pendek sangat efektif untuk mencegah terjadinya *knocking*. Jenis bahan bakar semacam ini disebut bahan bakar dengan angka cetana yang tinggi.

2. Kompresi, tekanan dan suhu

Tekanan dan suhu yang tinggi, memperpendek kelambatan penyalaan. Pada saat pertama ingin dihidupkan, motor masih dingin, kemungkinan motor tidak dapat dihidupkan. Dalam keadaan *idle*, cenderung terjadi *knocking* karena bahan bakar yang terbakar sedikit dan udara pengisian dingin serta kelambatan penyalaan yang panjang.

3. Busi pijar (*glow plug*)

Pada motor-motor kecil terutama tipe ruang bakar kamar muka (*precombustion chamber*), udara kompresi ditekan masuk dalam suatu ruang dengan bentuk yang rumit, karena itu suhu udara menjadi turun, sehingga bahan bakar akan sulit menyala pada saat motor dihidupkan (Soenarta, 1985).

D. Bahan Bakar

Bahan bakar sangat erat kaitannya dengan proses pembakaran. Proses pembakaran akan berlangsung dengan baik, cepat, mulus, hemat, dan bersih apabila bahan bakar yang digunakan memiliki kualitas yang baik. Bahan bakar untuk motor diesel sebagian besar terdiri dari senyawa hidrokarbon dan senyawa non hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon yang dapat ditemukan dalam bahan bakar diesel antara lain parafinik, naftenik, olefin dan aromatik. Sedangkan untuk

senyawa non hidrokarbon terdiri dari senyawa yang mengandung unsur non logam, yaitu S, N, O dan unsur logam seperti vanadium, nikel dan besi.

Karakteristik yang umum perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar diesel antara lain sebagai berikut :

1. Viskositas

Viskositas adalah tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan terhadap gaya gravitasi dan biasanya dinyatakan dalam waktu dan pada jarak tertentu. Semakin rendah viskositas yang dimiliki suatu benda maka akan semakin encer dan daya alirnya akan semakin tinggi pula. Karakteristik ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja dari injektor/nosel dari motor diesel. Viskositas bahan bakar untuk motor diesel berkisar antara 1,4 - 26,4 mm²/s (ASTM D-975: 1991).

2. Berat Jenis (*specific gravity*)

Berat jenis merupakan sifat minyak yang penting yang memiliki nilai dalam perdagangan. Berat jenis biasa disebut juga sebagai gravitasi jenis yaitu suatu perbandingan berat dari bahan bakar minyak dengan berat dari air pada volume yang sama, dengan suhu yang sama pula. Berat jenis standar untuk bahan bakar motor diesel pada suhu 60°F berkisar antara 0,84 – 0,92 kg/lit (Pertamina: 2011).

3. Angka Setana (*Cetane Number*)

Angka setana merupakan angka yang menyatakan kualitas pembakaran dari bahan bakar motor diesel, yang digunakan untuk mencegah terjadinya “*Diesel knock/fuel knock*” atau suara ledakan di dalam ruang bakar. (ASTM D-975:1991).

4. Nilai Kalori

Nilai kalori adalah besarnya panas yang diperoleh dari pembakaran suatu jumlah bahan bakar tertentu di dalam zat asam. Makin tinggi berat jenis minyak maka nilai kalorinya makin rendah. Standar nilai kalor pembakaran untuk motor diesel adalah 9350,62 kkal/kg (ASTM D-975: 1991).

5. Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang merupakan bilangan yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga bahan bakar tersebut dapat mengalir dengan sendirinya karena gravitasi. Titik tuang sangat penting karena berhubungan dengan mudah atau sulitnya bahan bakar dipompa apabila suhunya telah di bawah titik tuangnya. Titik tuang untuk bahan bakar solar adalah 18°C (Pertamina : 2011).

6. Titik Didih

Titik didih minyak bervariasi sesuai dengan gravitasinya. Untuk wilayah yang memiliki gravitasi API rendah, maka minyak tersebut akan memiliki nilai titik didih yang tinggi karena mempunyai berat jenis yang tinggi. Titik didih pada bahan bakar untuk motor diesel adalah 288-338°C (ASTM D-975: 1991).

7. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah suhu terendah dari bahan bakar minyak yang dapat menimbulkan nyala api dalam sekejap apabila pada permukaan bahan bakar minyak tersebut dipercikkan api. Minyak yang mempunyai gravitasi API yang tinggi maka titik didihnya rendah sehingga titik nyalanya juga rendah.

Untuk keamanan maka titik nyala yang diijinkan bahan bakar motor diesel adalah 38 - 55°C (ASTM D-975: 1991).

8. Kadar Abu

Kadar abu adalah sisa bahan bakar minyak yang tertinggal setelah minyak tersebut terbakar pada proses pembakaran.

9. Air dan Endapan

Bahan bakar yang terlalu banyak mengandung air ataupun endapan akan menyebabkan bahan bakar tersebut tidak dapat untuk terbakar sempurna.

Kadar air dan sedimen yang diijinkan untuk bahan bakar motor diesel berkisar antara 0,05 – 0,5% volume (ASTM D-975: 1991).

10. Kadar Residu Karbon (*Carbon Residue*)

Kadar residu karbon menunjukkan kadar fraksi hidrokarbon yang mempunyai titik didih lebih tinggi dari range bahan bakar. Adanya fraksi hidrokarbon ini menyebabkan menumpuknya residu karbon dalam ruang pembakaran yang dapat mengurangi kinerja mesin. Pada temperatur tinggi deposit karbon ini dapat membara, sehingga menaikkan temperature silinder pembakaran. Kadar karbon yang diijinkan untuk bahan bakar motor diesel berkisar antara 0,15 – 0,35% wt (ASTM D-975: 1991).

11. Kandungan Belerang (*sulfur content*)

Sulfur pada bahan bakar solar akan menambah deposit pada silinder dan torak yang cepat merusak silinder dan pegas torak. Jika bahan bakar minyak mempunyai kandungan sulfur yang besar maka akan menyebabkan terjadinya keausan pada bagian mesin yang dikarenakan keberadaan oksida belerang yang terkandung di dalamnya. Persentase Sulfur ini pada

prakteknya bila dibawah 1% tidak menyebabkan kerusakan pada mesin. Kandungan belerang yang diijinkan untuk motor Diesel adalah 0,5 – 2% wt (ASTM D-975: 1991).

Bahan bakar minyak ada yang berbau sedap dan tidak sedap. Hal ini dipengaruhi oleh molekul aromatik. Bahan bakar minyak yang berasal dari Indonesia biasanya berbau tidak sedap karena mengandung senyawa Nitrogen atau Belerang ataupun juga H₂S.

12. Warna

Warna pada bahan bakar minyak berhubungan dengan berat jenisnya. Warna ini disebabkan adanya berbagai kotoran dan endapan. Minyak yang memiliki berat jenis yang tinggi warnanya cenderung coklat kehitam-hitaman. Sedangkan minyak yang memiliki berat jenis yang rendah warnanya akan cenderung hitam kecoklat-coklatan.

Tabel 1. Standar Mutu Bahan Bakar Diesel.

Sifat	Jenis minyak diesel		
	Mesin putaran tinggi	Mesin industri	Mesin putaran rendah dan sedang
Angka setane	40	40	30
Titik didih (°C)	288	288-388	-
Viskositas pada (38° mm ² /s)	1,4 - 2,5	2,0 – 4,3	5,8 – 26,4
Titik nyala (°C)	38	52	55
Kadar sulfur (% berat)	0,50	0,50	2,0
Kadar air dan endapan (% volume)	0,05	0,05	0,5
Kadar abu (% berat)	0,01	0,01	0,1
Ramsboton residu karbon dalam 10%, residu destilasi (% massa)	0,15	V 0,035	-

Sumber : *American Standard for testing and mineral* (ASTM) D-975, 1991.

1. Solar

Bahan bakar solar adalah bahan bakar minyak hasil sulingan dari minyak bumi mentah bahan bakar ini berwarna kuning coklat yang jernih (Pertamina: 2011). Penggunaan solar pada umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi (di atas 1000 rpm), yang juga dapat digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran langsung dalam dapur-dapur kecil yang terutama diinginkan pembakaran yang bersih. Minyak solar ini biasa disebut juga *Gas Oil, Automotive Diesel Oil, High Speed Diesel* (Pertamina: 2011).

Mesin-mesin dengan putaran yang cepat (>1000 rpm) membutuhkan bahan bakar dengan karakteristik tertentu yang berbeda dengan minyak Diesel. Karakteristik yang diperlukan berhubungan dengan *auto ignition* (kemampuan menyala sendiri), kemudahan mengalir dalam saluran bahan bakar, kemampuan untuk teratomisasi, kemampuan lubrikasi, nilai kalor dan karakteristik lain (Pertamina: 2011).

Bahan bakar solar mempunyai sifat-sifat utama, yaitu :

- a. Tidak mempunyai warna atau hanya sedikit kekuningan dan berbau.
- b. Encer dan tidak mudah untuk menguap pada suhu normal.
- c. Mempunyai titik nyala yang tinggi (40°C sampai 100°C).
- d. Terbakar secara spontan pada suhu 350°C.
- e. Mempunyai berat jenis sekitar 0,82-0,86.
- f. Mampu menimbulkan panas yang besar (10.500 kcal/kg).
- g. Mempunyai kandungan sulfur yang lebih besar dari pada bensin.

Tabel 2. Spesifikasi Bahan Bakar Solar

NO	Karakteristik	UNIT	Batasan		Metode Uji ASTM/lain	
			MIN	MAX	ASTM	IP
1	Angka Setana		45	-	D-613	
2	Indeks Setana		48	-	D4737	
3	Berat Jenis pada 15 ⁰ C	kg/m ³	815	870	D-1298 / D-4737	
4	Viskositas pada 40 ⁰ C	mm ² /sec	2.0	5.0	D-445	
5	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0.35	D-1552	
6	Distilasi : T95	°C	-	370	D-86	
7	Titik Nyala	°C	60	-	D-93	
8	Titik Tuang	°C	-	18	D-97	
9	Karbon Residu	merit	-	Kelas I	D-4530	
10	Kandungan Air	Mg/kg	-	500	D-1744	
11	Biological Growth	-	Nihil			
12	Kandungan FAME	% v/v	-	10		
13	Kandungan Metanol & Etanol	% v/v	Tak Terdeteksi		D-4815	
14	Korosi bilah tembaga	Merit	-	Kelas I	D-130	
15	Kandungan Abu	% m/m	-	0.01	D-482	
16	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0.01	D-473	
17	Bilangan Asam Kuat	mgKOH/gr	-	0	D-664	
18	Bilangan Asam Total	mgKOH/gr	-	0.6	D-664	
19	Partikulat	Mg/l	-	-	D-2276	
20	Penampilan Visual	-	Jernih dan terang			
21	Warna	No.ASTM	-	3.0	D-1500	

Sumber : Pertamina 2011

E. Sistem Elektrolisis Air

Proses elektrolisis air adalah menguraikan H₂O menjadi H dan O₂ dengan bantuan elektroda yang diberi tegangan listrik.

1. Air (H₂O)

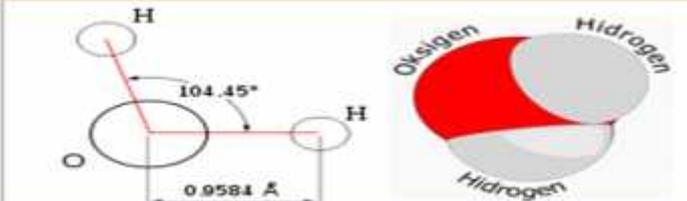
Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia H₂O: satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan temperatur 273,15 K (0°C). Zat 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 (<http://id.wikipedia.org/wiki/Air>).

Molekul air dapat diuraikan menjadi unsur-unsur asalnya dengan mengalirinya arus listrik. Proses ini disebut elektrolisis air. Pada katoda, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, kemudian tereduksi menjadi gas H₂ dan ion hidroksida (OH⁻). Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O₂), 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.



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 (<http://id.wikipedia.org/wiki/Air>).

Air	
	
Informasi dan sifat-sifat	
Nama sistematis	air
Nama alternatif	aqua, dihidrogen monoksida, Hidrogen hidroksida
Rumus molekul	H_2O
Massa molar	18.0153 g/mol
Densitas dan fase	0.998 g/cm ³ (cairan pada 20 °C) 0.92 g/cm ³ (padatan)
Titik lebur	0 °C (273.15 K) (32 °F)
Titik didih	100 °C (373.15 K) (212 °F)
Kalor jenis	4184 J/(kg·K) (cairan pada 20 °C)

Gambar 3. Informasi dan sifat-sifat air (<http://id.wikipedia.org/wiki/Air>).

2. Prinsip Elektrolisis

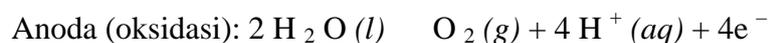
Sumber daya listrik dihubungkan ke dua elektroda, atau dua pelat (biasanya terbuat dari beberapa logam inert seperti platinum atau stainless steel) yang ditempatkan di dalam air. Hidrogen akan muncul di bagian katoda (elektroda bermuatan negatif, di mana elektron akan memasuki air), dan oksigen akan muncul di bagian anoda (elektroda bermuatan positif). Jumlah hidrogen yang dihasilkan adalah dua kali jumlah mol oksigen, dan keduanya sebanding dengan jumlah total muatan listrik yang dialirkan (Wikipedia : 2012).

3. Persamaan Reaksi Elektrolisis

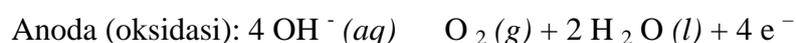
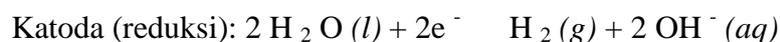
Dalam reaksi penguraian air, pada katoda bermuatan negatif reaksi reduksi berlangsung, dengan elektron (e^-) dari katoda yang diberikan pada kation hidrogen untuk membentuk gas hidrogen (Wikipedia : 2012):



Pada anoda bermuatan positif, reaksi oksidasi terjadi menghasilkan gas oksigen dan memberikan elektron pada anoda.



Reaksi setengah yang sama juga dapat seimbang dengan dasar reaksi yang tercantum di bawah ini (Wikipedia : 2012).



Dengan menjumlahkan kedua reaksi setengah di atas maka diperoleh:



Jumlah molekul hidrogen yang dihasilkan adalah dua kali jumlah oksigen. Dengan asumsi suhu dan tekanan yang sama untuk kedua gas, gas hidrogen yang dihasilkan adalah dua kali volume gas oksigen yang dihasilkan. Jumlah elektron yang menguraikan air adalah dua kali jumlah molekul hidrogen yang dihasilkan (Wikipedia : 2012).

4. Faktor-faktor yang mempengaruhi elektrolisis

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis antara lain adalah (Wahyudi, 2010):

a. Energi Penguraian air

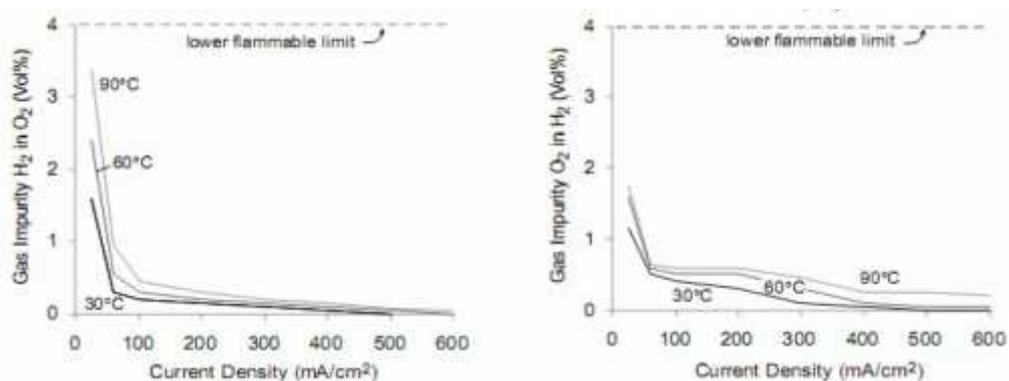
Secara konvensional diperlukan energi sebesar 237,13 kJ untuk menghasilkan 1 mol hidrogen (H_2) atau 2 gram $H_2 = 22,4$ liter H_2 . (Archer Energy System, Inc).

b. 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 kestabilan molekul air menjadi ion H dan OH yang lebih mudah dielektrolisis. Dengan kata lain energi untuk menguraikan air menjadi lebih rendah.

c. Penggunaan energi panas

Pada pengoperasian elektrolisis dengan suhu $830^\circ C$, 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 4. Grafik Persentase Gas Elektrolisis pada Beberapa Tingkatan Suhu (Wahyudi, 2010).

d. 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.

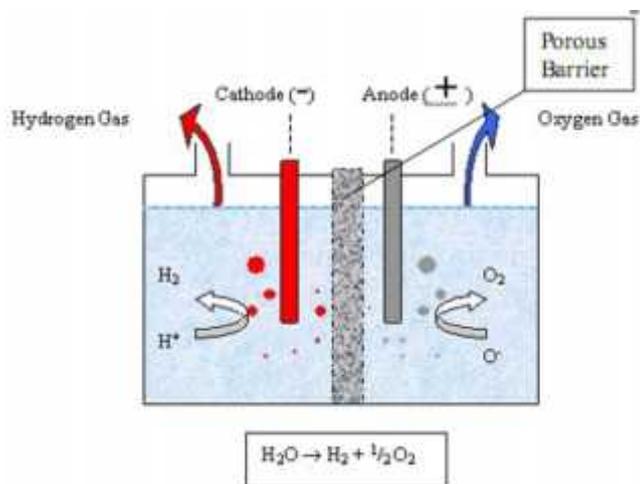
e. Tegangan dan arus elektrolisis

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°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/cm², jika intensitas dinaikkan akan memberi peluang korosi pada elektroda.

f. Fluida elektrolisis

Dalam produksi gas hidrogen, elektrolisis 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 konduktivitas optimal dan tidak menimbulkan

korosi pada elektroda stainless steel. Reaksi kimia pada proses elektroliser alkalin ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 5. Proses Elektroliser Alkalin (Wahyudi, 2010).

5. HHO (*Oxyhydrogen*)

Oxyhydrogen adalah campuran dari gas hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂), biasanya dalam rasio molar 2:1 propulsi yang sama seperti air. Campuran gas digunakan untuk obor untuk pengolahan bahan tahan api dan campuran gas yang pertama yang digunakan untuk pengelasan. Dalam prakteknya rasio molar 4:1 atau 5:1 hidrogen: oksigen (Wikipedia:2012).

a. Sifat-sifat *Oxyhydrogen*

Oxyhydrogen akan terbakar ketika dibawa ke temperatur penyalanyaanya (*autoignition temperature*). Untuk campuran stoikiometri pada tekanan atmosfer normal, autosulutannya terjadi pada sekitar 570°C (1065°F). Pada suhu dan tekanan normal, *oxyhydrogen* bisa terbakar bila kandungan hidrogennya antara 4% sampai 95% volume (Wikipedia:2012).

Ketika dinyalakan, campuran gas melepaskan energi dan mengubah menjadi uap air yang menopang reaksi yaitu 241,8 kJ dari energi (LHV) untuk setiap mol H₂ yang di bakar. Jumlah energi panas yang dilepaskan tidak tergantung pada cara pembakaran, namun suhu api bervariasi. Suhu maksimum sekitar 2800°C di capai dengan campuran stoikiometri murni, sekitar 700° lebih panas dari hidrogen yang menyala di udara (Wikipedia:2012).

b. Produksi *Oxyhidrogen*

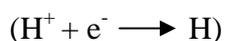
Oxyhidrogen dapat diperoleh dari reaksi elektrolisis air dengan persamaan kimia berikut (Tjatur:2009).



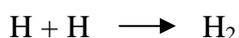
Terjadi tekanan listrik pada elektroda negatif (katoda) untuk mendorong elektron ke dalam air dan pada anoda (elektroda positif) terjadi penyerapan elektron. Molekul air dekat katoda terbagi menjadi ion hidrogen positif (H⁺) dan ion hidroksida (OH⁻).



H⁺ merupakan proton terbuka, bebas untuk menangkap elektron e⁻ dari katoda, kemudian menjadi atom hidrogen biasa dan netral.

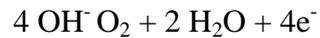


Atom hidrogen ini berkumpul dengan atom hidrogen lain dan membentuk molekul gas dalam bentuk gelombang dan kemudian naik ke permukaan.



Elektroda positif telah menyebabkan ion hidroksida (OH⁻) untuk bergerak ke anoda. Ketika mencapai anoda, anoda melepas kelebihan elektron yang diambil

oleh hidroksida dari atom hidrogen sebelumnya, kemudian ion hidroksida bergabung dengan molekul hidroksida yang lain dan membentuk 1 molekul oksigen dan 2 molekul air:



Molekul oksigen ini sangat stabil dan kemudian gelembungnya naik ke permukaan. Demikian seterusnya dan terjadi pengulangan proses. Reaksi-reaksi di katoda (reduksi) hanya bergantung pada jenis kation dalam larutan. Jika kation berasal dari logam dengan potensial elektrode lebih kecil/rendah maka air yang akan tereduksi (Tjatur:2009).

6. Elektroliser

Elektroliser adalah sebuah alat yang berbentuk tabung (reaktor) yang digunakan untuk proses elektrolisis air (H_2O).

a. Komponen penunjang proses elektrolisis

1. Tabung elektroliser

Tabung elektroliser merupakan tempat penampungan larutan elektrolit, sekaligus tempat berlangsungnya proses elektrolisis untuk menghasilkan gas hidrogen dan oksigen. 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 (Sudirman, 2008).

2. 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 ke dalam 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 (Sudirman, 2008).

3. Elektrolit

Elektrolit digunakan untuk menghasilkan gas HHO pada proses elektrolisis. Elektrolit terdiri dari air murni atau aquades dan katalisator. Katalisator akan larut dalam air murni dan menyatu membentuk larutan elektrolit. Katalis yang digunakan pada proses elektrolisis adalah sodium bikarbonat, kalium hidroksida (KOH), asam sulfat dan soda kue (Sudirman, 2008).

4. *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 ke dalam 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 (Sudirman, 2008).

Keuntungan menggunakan *vaporiser* sebagai berikut (Sudirman, 2008):

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 (Sudirman, 2008).

b. 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 dengan tegangan sebesar 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 berwarna putih. Inilah proses produksi gas hidrogen-hidrogen oksida (HHO) berlangsung.

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 campuran bahan bakar dan udara dari karburator atau EFI. Setelah itu terjadi proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin (Sudirman, 2008).

Keuntungan menggunakan gas HHO sebagai berikut (Sudirman, 2008):

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 angka 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).

c. *Troubleshooting* (gangguan) yang terjadi pada unit elektroliser dan cara mengatasinya (Hidayatullah, 2008):

1. Level air terlalu rendah
 - Menambahkan air, dilakukan ketika mesin sedang mati
 - Tidak menambahkan air ke dalam botol yang panas, membiarkan dingin terlebih dahulu
2. Botol elektroliser kepanasan
 - Mengurangi perbandingan elektrolit, seperempat sendok teh katalis maka unit elektrolisa akan segera dingin dan ini adalah kombinasi minimal. Satu sendok teh katalis akan menyebabkan botol elektrolisa menjadi panas (tapi menghasilkan gas HHO yang maksimal)
3. Gas HHO tidak keluar
 - Memeriksa sekeringnya
 - Jika sekeringnya tidak bermasalah, maka periksa kabel. Ukuran tegangan antara terminal pada elektroliser harus terbaca 12 volt.
 - Tiap elektroda yang berasal dari terminal positif atau negatif harus hanya satu, jangan ada yang putus atau rusak.

4. Gelembung terlalu sedikit atau banyak
 - Mengatur tutup *bubbler* dan gelembung yang sedikit adalah tingkat yang ideal.
5. Produksi gas HHO yang rendah
 - Mengetahui perbandingan yang cocok antara air dan *elektrolite*-nya.
6. Air terlihat kotor
 - Jika air elektrolisa kelihatan sangat kotor dalam beberapa hari pemakaian hal ini disebabkan karena air yang digunakan dalam unit HHO ini mungkin menggunakan air biasa atau air isi ulang.
7. Pengiritan tidak sesuai harapan
 - Selang vacum HHO tersumbat, sehingga berdampak pada arus gas HHO menuju mesin.
8. Kegagalan kabel di elektroliser
 - Menggunakan kawat *stainless steel* di spiral menjadi empat kawat menjadi satu agar dapat memperpanjang usia anoda.

F. Fuel Cell

Fuel cell adalah sebuah alat konversi energi elektrokimia. Sebuah *fuel cell* mengubah bahan kimia hidrogen dan oksigen menjadi air, dan dalam proses tersebut menghasilkan energi listrik. Sebuah *fuel cell* menghasilkan tegangan DC (arus searah) yang bisa digunakan untuk menggerakkan motor, menyalakan lampu atau pun sejumlah aplikasi elektikal yang lainnya (Mulyono, 2009).

1. Hidrogen

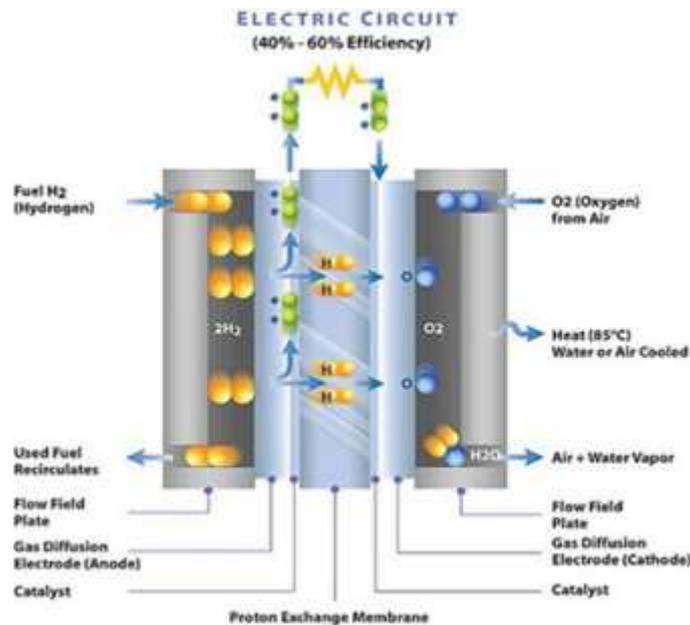
a. Pengertian Hidrogen

Hidrogen mempunyai lambang kimia H, merupakan unsur paling sederhana dilihat dari segi susunan proton dan elektronnya. Satu atom hidrogen hanya memiliki satu proton dan satu elektron. Gas hidrogen merupakan molekul diatomik, dimana tiap molekul tersusun atas 2 atom hidrogen, yang secara kimia dirumuskan dengan H₂. Hidrogen merupakan gas paling banyak terdapat di alam semesta dan keberadaannya di matahari diperkirakan mencapai 75% dari total massa matahari (Mulyono, 2009). Gas hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa dan tidak beracun. Hidrogen merupakan unsur teringan, dengan berat jenis 0,08988 g/L pada kondisi standar. Sifat lain dari hidrogen yang kurang menguntungkan adalah mudah terbakar dan mudah meledak. Nyala pembakaran hidrogen murni dengan oksigen murni berwarna ultraviolet yang hampir tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Oleh karena itu, perlu penekanan aspek keselamatan pada proses-proses yang melibatkan hidrogen (Mulyono, 2009).

Hidrogen mempunyai kandungan energi tertinggi per satuan berat dibandingkan dengan semua jenis bahan bakar, yaitu sebesar 120 MJ/kg. Sebagai pembandingan, kandungan energi gas alam adalah 54,4 MJ/kg, LPG 48,8 MJ/kg, bensin 45,6 MJ/kg, solar 45,3 MJ/kg, arang 30,0 MJ/kg, dan kayu kering 15,5 MJ/kg (Kelly-Young dkk, 2007). Seperti halnya listrik, hidrogen disebut sebagai pembawa energi bukan sebagai sumber energi, karena energi yang terkandung dalam hidrogen dapat dengan mudah untuk dimanfaatkan (Mulyono, 2009).

b. Penggunaan Hidrogen

Hidrogen dapat digunakan baik langsung sebagai bahan bakar untuk mesin (termasuk kendaraan bermotor dan mobil) maupun sebagai bahan bakar untuk *fuel cell* (sel bahan bakar) penghasil listrik. Sel bahan bakar adalah alat yang bekerja secara elektrokimia, menggunakan hidrogen dan oksigen untuk menghasilkan listrik, air, dan sejumlah panas sehingga sama sekali tidak dihasilkan zat pencemar lingkungan. Di sini, energi kimia hidrogen diubah langsung menjadi listrik dan panas menggunakan proses yang terjadi pada suhu rendah dengan efisiensi 2 atau 3 kali lebih besar dari teknologi pembakaran lainnya. Pembangkit listrik pada pembangkit konvensional menggunakan bahan bakar fosil, mempunyai efisiensi 33%-35%, tetapi pembangkitan listrik dengan sel bahan bakar mempunyai efisiensi 60% atau lebih (Mulyono, 2009).



Gambar 6. Sel bahan bakar (Mulyono, 2009).

Selain sebagai bahan bakar mesin dan sel bahan bakar, hidrogen banyak digunakan sebagai bahan bakar roket, tenaga pendorong pesawat ruang angkasa,

dan industri kimia. Hidrogen diperkirakan akan menjadi pemasok energi utama untuk pembangkitan listrik dengan sel bahan bakar, sebagai bahan bakar mesin kendaraan dan untuk penggunaan-penggunaan lainnya di abad ke-21 karena ramah lingkungan dan kemudahannya dikonversi menjadi energi. Penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar sama sekali tidak memberi kontribusi terhadap efek rumah kaca, hujan asam, dan kerusakan lapisan ozon. Jadi, penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar tidak mempunyai kontribusi terhadap kerusakan lingkungan (Mulyono, 2009).

2. *Water Injection*

Temperatur yang tinggi pada mesin dapat menyebabkan kerusakan pada mesin sehingga performansi mesin menurun. Mesin yang menggunakan turbo atau Supercharger temperatur pada ruang bakar meningkat bisa mencapai 1100°C.

Water injection disingkat *Wa-i*, yaitu menginjeksi air ke dalam ruang bakar mesin. *Wa-i* bekerja dengan cara menurunkan temperatur ruang bakar. Air yang bercampur dengan bensin dan udara di ruang bakar dapat menurunkan temperatur yang tinggi hasil kompresi piston mesin sehingga dapat memperlambat terbakarnya bensin (Saftari, 2006).

Keuntungan menggunakan *Wa-i* :

1. Memungkinkan untuk menyetel campuran bahan bakar seirit mungkin.
2. Memungkinkan untuk menyetel *timing* pengapian lebih maju untuk mendapatkan torsi lebih besar.
3. Menjaga ruang bakar tetap bersih, karena selalu terbilas oleh uap air.

4. Mencegah penumpukan karbon di ruang bakar.
5. Menjaga stabilitas suhu mesin.
6. Mencegah terjadinya *knocking/pinging* (ngelitik).
7. Menurunkan kadar polusi NO_x karena suhu ruang bakar tidak tinggi.
8. Bisa menggunakan premium tanpa gejala ngelitik.
9. Dapat dicampur dengan alkohol/methanol untuk mendapatkan nilai oktan yang lebih tinggi.

Kerugian menggunakan *Wa-i* antara lain :

1. Karena tidak terjadi *knocking/pinging* (ngelitik), menjadi susah bagi kita untuk mendeteksi kualitas bahan bakar.
2. Knalpot relatif perlu perhatian dari kemungkinan berkarat.
3. Bisa membatalkan kontrak servis bagi mobil baru yang masih dalam garansi servis.
4. Ada kerja ekstra untuk selalu memantau kondisi tangki air (Saftari, 2006).

3. *Brown Gas*

Brown gas adalah campuran gas hidrogen-hidrogen-oksigen (HHO) yang diperoleh dari proses penguraian atau elektrolisis air (H₂O). 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.

Gas brown 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. Yang pertama tentunya proses penguraian air menjadi gas brown. Kemudian yang kedua adalah pembakaran gas brown itu sendiri yang menghasilkan energi. Selain dari energi, hasil pembakaran gas brown juga menghasilkan uap air dan tidak memproduksi gas-gas polutan berbasis karbon (Meyer dalam Pradana, 2009).

Untuk menghasilkan *brown gas* dibutuhkan sebuah generator. Dan untuk membuat 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.

G. Katalisator

Katalisator adalah zat yang ditambahkan ke dalam suatu reaksi yang mempunyai tujuan memperbesar kecepatan reaksi. Dalam proses elektrolisis, katalisator yang dapat dipakai antara adalah kalium hidroksida (KOH), asam sulfat (H_2SO_4), soda kue, dan lain-lain. Katalisator yang digunakan dalam proses elektrolisis nantinya dapat mempermudah penguraian air menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2).

Fungsi katalis adalah memperbesar kecepatan reaksi (mempercepat reaksi) dengan jalan memperkecil energi pengaktifan suatu reaksi dan dibentuknya tahap-tahap

reaksi yang baru. Dengan menurunnya energi pengaktifan maka pada suhu yang sama reaksi dapat berlangsung lebih cepat (Arijanto, 2010).

a. Kalium Hidroksida (KOH)

Kalsium hidroksida adalah senyawa kimia dengan rumus kimia $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Kalsium hidroksida dapat berupa kristal tak berwarna atau bubuk putih. Kalsium hidroksida dihasilkan melalui reaksi kalsium oksida (CaO) dengan air. Senyawa ini juga dapat dihasilkan dalam bentuk endapan melalui pencampuran larutan kalsium klorida (CaCl_2) dengan larutan natrium hidroksida (NaOH). Pada temperatur $512\text{ }^\circ\text{C}$ kalsium hidroksida dapat terurai menjadi kalsium oksida dan air (Wikipedia, 2012). Kalium Hidroksida merupakan senyawa kimia alkali kaustik yang kuat dan mudah larut dalam air. Jenis senyawa ini dapat mudah bereaksi dengan asam dan lembab di udara. KOH bersifat korosif terhadap logam seperti, seng, aluminium, timah dan timbal. Sifat kimia dan aplikasinya mirip dengan natrium hidroksida. Pemanfaatan kalium hidroksida antara lain untuk pupuk fosfat, agrokimia, sabun dan pewarna (Arijanto, 2010). Karakteristik dari KOH ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Karakteristik KOH

Pemantapan fasa	2.044 g/sm^3 , pepejal
Keterlarutan dalam air	1100 g/L ($25\text{ }^\circ\text{C}$)
Titik lebur	$406\text{ }^\circ\text{C}$
Titik didih	$1320\text{ }^\circ\text{C}$
Tekanan wap	1.3hPa ($719\text{ }^\circ\text{C}$)

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 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), sedangkan ammonia (NH_3) 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 dipisahkan dari larutan produksi sehingga dapat digunakan kembali (Bangun, N., 2008).

Basa kuat adalah jenis senyawa sederhana yang dapat mendeptonasi asam sangat lemah di dalam reaksi asam-basa. Contoh paling umum dari basa kuat adalah hidroksida dari logam alkali dan logam alkali tanah seperti NaOH dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Berikut ini adalah daftar basa kuat:

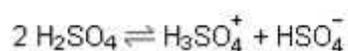
- Kalium hidroksida (KOH)
- Barium hidroksida ($\text{Ba}(\text{OH})_2$)

- Caesium hidroksida (CsOH)
- Natrium hidroksida (NaOH)
- Stronsium hidroksida (Sr(OH)₂)
- Kalsium hidroksida (Ca(OH)₂)
- Magnesium hidroksida (Mg(OH)₂)
- Litium hidroksida (LiOH)
- Rubidium hidroksida (RbOH)

Kation dari basa kuat di atas terdapat pada grup pertama dan kedua pada daftar periodik (alkali dan alkali tanah). Asam dengan pK_a lebih dari 13 dianggap sangat lemah, dan basa konjugasinya adalah basa kuat. Beberapa basa kuat seperti kalsium hidroksida sangat tidak larut dalam air. Hal itu bukan suatu masalah – kalsium hidroksida tetap terionisasi 100% menjadi ion kalsium dan ion hidroksida. Kalsium hidroksida tetap dihitung sebagai basa kuat karena kalsium hidroksida 100% terionisasi (Wikipedia, 2012).

b. Asam Sulfat (H₂SO₄)

Asam sulfat adalah asam mineral yang kuat dengan rumus molekul H₂SO₄. H₂SO₄ ini adalah cairan yang sangat polar, memiliki dielektrik konstan sekitar 100. H₂SO₄ 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.



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.

H. Parameter Prestasi dan Operasi Motor Diesel 4-Langkah

Parameter prestasi yang cukup berperan adalah daya engkol sebagai kerja yang dihasilkan oleh motor bakar, dimana semakin besar daya engkol yang dihasilkan semakin baik kinerja dari motor bakar. Untuk mengetahui besarnya daya engkol dari motor bakar 4 langkah digunakan persamaan (Wardono, H dkk. 2004):

$$bP = \frac{2f \cdot N \cdot T_{AP}}{60.000}, kW \dots\dots\dots(1)$$

$$T_{AP} = 1,001 \cdot T_{RD}, Nm \dots\dots\dots(2)$$

Laju pemakaian bahan bakar per 8 ml Bahan Bakar, *mf* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut (Wardono, H dkk. 2004):

$$m_f = \frac{sgf \times 8.10^{-3}}{t}, \text{ kg / jam} \dots\dots\dots(3)$$

Untuk pemakaian bahan bakar spesifik engkol, *bsfc* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Wardono, H dkk. 2004):

$$bsfc = \frac{m_f}{bP}, \text{ kg/kW.detik} \dots\dots\dots(4)$$