

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 MOTOR OTTO^[2]

Motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) adalah mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanis dan prosesnya terjadi di dalam suatu ruang bakar yang tertutup. Energi kimia dalam bahan bakar terlebih dahulu diubah menjadi energi termal melalui proses pembakaran. Energi termal yang diproduksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menggerakkan mekanisme pada mesin seperti torak, batang torak, dan poros engkol.

Berdasarkan metode penyalan campuran bahan bakar—udara, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi *spark ignition engine* dan *compression ignition engine*. Dalam melakukan proses pembakaran tersebut, bagian-bagian motor yang telah disebutkan di atas akan melakukan gerakan berulang yang dinamakan siklus. Setiap siklus yang terjadi dalam mesin terdiri dari beberapa urutan langkah kerja.

Berdasarkan siklus langkah kerjanya, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi motor 2 langkah dan motor 4 langkah. Berdasarkan pembatasan masalah, peralatan uji yang digunakan adalah motor *Otto* berbahan bakar bensin (*spark ignition engine*) dengan sistem 4 langkah. Motor *Otto* merupakan motor pembakaran dalam karena motor *Otto* melakukan proses pembakaran gas dan udara di dalam silinder untuk melakukan kerja mekanis.

Motor *Otto* dengan sistem *Spark Ignition* menggunakan bantuan bunga api untuk menyalakan atau membakar campuran bahan bakar—udara. Bunga api yang digunakan berasal dari busi. Busi akan menyala saat campuran bahan bakar—udara mencapai rasio kompresi, temperatur, dan tekanan tertentu sehingga akan terjadi reaksi pembakaran yang menghasilkan tenaga untuk mendorong torak bergerak bolak-balik. Siklus langkah kerja yang terjadi pada mesin jenis ini dinamakan siklus *Otto* dengan menggunakan bahan bakar bensin.

2.1.1 Siklus Kerja Motor Otto

Komponen-komponen utama dari sebuah motor *Otto* adalah:

1. Katup Masuk (*intake valve*)

Katup masuk adalah katup yang berfungsi untuk mengontrol pemasukan campuran udara-bahan bakar ke dalam silinder mesin dan mencegah terjadinya aliran balik ke dalam saluran masuk campuran udara-bahan bakar (*intake manifold*).

2. Katup Buang (*exhaust valve*)

Katup buang adalah katup yang mengontrol pengeluaran hasil pembakaran dari silinder mesin untuk dibuang keluar dan menjaga agar arah aliran yang mengalir hanya satu arah.

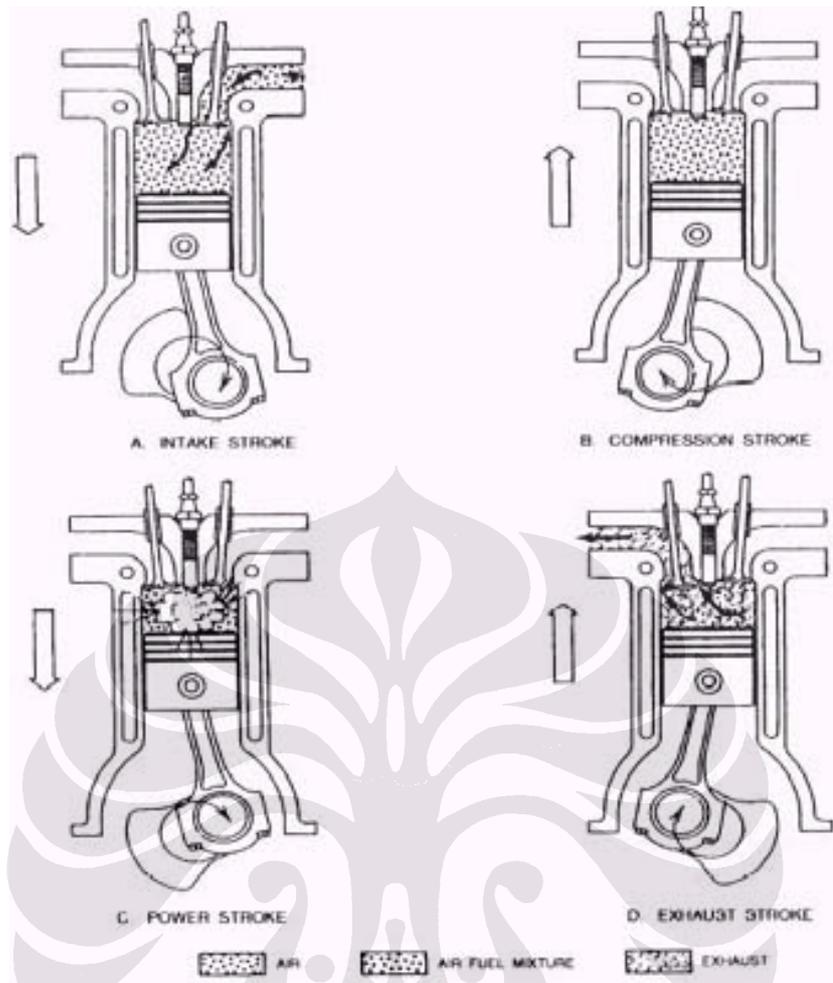
3. Torak

Torak adalah komponen berbentuk silinder yang bergerak naik turun di dalam silinder, dan berfungsi untuk mengubah tekanan di dalam ruang bakar menjadi gerak rotasi poros engkol.

4. Busi

Busi adalah komponen listrik yang digunakan untuk memicu pembakaran campuran udara-bahan bakar dengan menciptakan percikan listrik bertegangan tinggi pada celah elektroda.

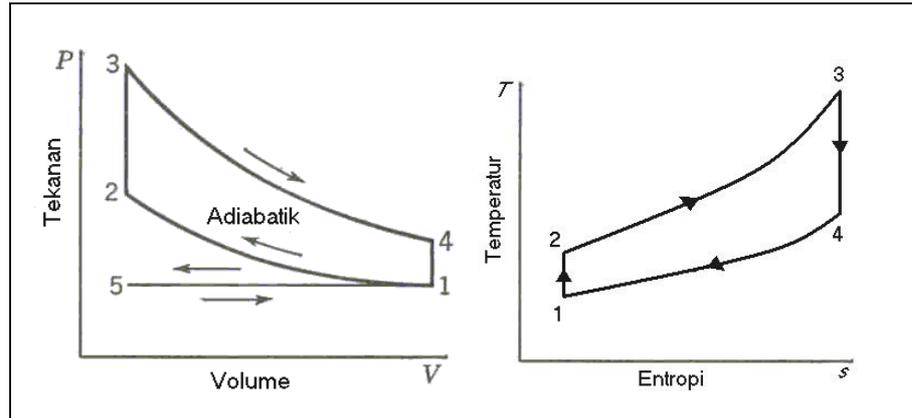
Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) sebanyak 4 kali atau 2 putaran engkol untuk memenuhi 1 siklus kerja. Jarak yang ditempuh torak selama gerakan bolak-balik disebut dengan *stroke* atau langkah torak. Langkah-langkah yang terdapat pada motor bensin 4 langkah adalah langkah isap, kompresi, kerja, dan buang.



Gbr 2.1 Urutan siklus kerja motor bakar 4 langkah.

Pada motor *Otto* 4 langkah ini, gas pembakaran hanya mendorong torak pada langkah ekspansi saja. Oleh karena itu, untuk memungkinkan gerak torak pada tiga langkah lainnya maka sebagian energi pembakaran selama langkah ekspansi diubah dan disimpan dalam bentuk energi kinetis roda gila (*flywheel*).

Siklus kerja motor *Otto* dapat digambarkan pada diagram indikator, yaitu diagram P-V (tekanan-volume) dan diagram T-S (tekanan-entropi). Diagram indikator ini berguna untuk melakukan analisis terhadap karakteristik internal motor *Otto*.



Gbr 2.2. Diagram P-V dan T-S ideal motor Otto empat langkah

Langkah-langkah pada mesin *Otto* 4 langkah dapat dilihat pada gambar 2.1. Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Langkah Isap (*intake*)

Selama langkah isap torak bergerak dari TMA menuju TMB, katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Gerakan torak memperbesar volume ruang bakar dan menciptakan ruang hampa (*vacuum*) dalam ruang bakar. Akibatnya campuran udara dan bahan bakar terisap masuk ke dalam ruang bakar melalui katup masuk. Langkah isap berakhir ketika torak telah mencapai TMB.

2. Langkah kompresi (*compression*)

Selama langkah kompresi katup isap tertutup dan torak bergerak kembali ke TMA dengan katup buang masih dalam keadaan tertutup. Gerakan torak tersebut mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar yang ada di dalam ruang bakar tertekan akibat volume ruang bakar yang diperkecil, sehingga tekanan dan temperatur di dalam silinder meningkat.

3. Pembakaran (*combustion*)

Pada akhir langkah kompresi, busi pijar menyala sehingga campuran udara-bahan bakar yang telah memiliki tekanan dan temperatur tinggi terbakar. Pembakaran yang terjadi mengubah komposisi campuran udara-bahan bakar menjadi produk pembakaran dan menaikkan temperatur dan tekanan dalam ruang bakar secara drastis.

4. Langkah kerja/ekspansi (*expansion/power*)

Tekanan tinggi hasil dari proses pembakaran campuran udara-bahan bakar mengakibatkan torak terdorong menjauhi TMA. Dorongan ini merupakan kerja keluaran dari siklus mesin *Otto*. Dengan Bergeraknya torak menuju TMB, volume silinder meningkat sehingga temperatur dan tekanan dalam ruang bakar turun.

5. Langkah buang (*exhaust*)

Katup buang terbuka ketika torak telah mencapai TMB. Torak terus bergerak kembali menuju TMA sehingga gas hasil pembakaran tertekan keluar dari ruang bakar melalui katup buang.

2.2 PARAMETER PRESTASI MESIN

Karakteristik unjuk kerja suatu motor bakar torak dinyatakan dalam beberapa parameter diantaranya adalah konsumsi bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik, perbandingan bahan bakar—udara, daya keluaran. Berikut ditampilkan rumus-rumus dari beberapa parameter yang digunakan dalam menentukan unjuk kerja motor bakar torak:

Konsumsi Bahan Bakar / Fuel Consumption (FC)

$$BFC = \frac{V_f}{t} \cdot \frac{3600}{1000} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

BFC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

V_f = konsumsi bahan bakar selama t detik (mL)

t = interval waktu pengukuran konsumsi bahan bakar (detik)

Laju Aliran massa Bahan Bakar (\dot{m}_f)

$$\dot{m}_f = \frac{BFC \cdot \rho_f}{3600 \cdot 1000} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

\dot{m}_f = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

BFC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

ρ_f = massa jenis bahan bakar (kg/m^3)

Laju aliran massa Udara (\dot{m}_a)

$$\dot{m}_a = \frac{AFR \cdot BFC \cdot \rho_f}{3600 \cdot 1000} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

AFR = rasio massa udara—bahan bakar ($\text{kg udara / kg bahan bakar}$)

\dot{m}_a = laju aliran massa udara (kg/s)

BFC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

ρ_f = massa jenis bahan bakar (kg/m^3), dalam hal ini adalah bensin = 754,2 kg/m^3

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (BSFC)

$$BSFC = \frac{BFC}{BHP} \cdot \rho_f \dots\dots\dots(2.4)$$

keterangan :

$BSFC$ = konsumsi bahan bakar spesifik (gr/hp.h)

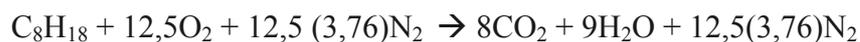
BFC = konsumsi bahan bakar (l/h)

BHP = daya keluaran mesin (hp)

ρ_f = massa jenis bahan bakar (kg/m^3)

2.3 PEMBAKARAN DAN EMISI PADA MOTOR OTTO

Bahan bakar yang digunakan pada Motor Pembakaran Dalam – jenis *Otto* biasanya sejenis Hidro Karbon (HC). Dengan menganggap bahwa bahan bakar yang digunakan adalah *isooctane* maka reaksi pembakaran yang terjadi sebagai berikut :



Nilai 3,76 di dapat dari perbandingan %vol N_2 dengan %vol O_2 pada udara bebas yaitu $79\% / 21\% = 3,76$ dengan menganggap gas lainnya seperti argon, CO_2 dan lainnya sangat kecil.

Reaksi pembakaran tersebut terjadi di dalam ruang bakar pada tekanan dan suhu yang tinggi. Motor Bakar Dalam yang baik mempunyai komposisi gas buang berupa CO_2 , H_2O , N_2 seperti reaksi diatas, namun adakalanya terjadi pembakaran yang kurang sempurna sehingga akan menghasilkan emisi gas berupa CO , HC , Gas tersebut juga bersifat beracun. Agar dapat terjadi pembakaran yang sempurna diperlukan perbandingan yang tepat antara massa bahan-bakar / massa udara (AFR). Jika reaksi tersebut diatas terjadi sempurna maka perbandingannya :

Massa bahan bakar (m_f) adalah 1 kmol (114 kg/kmol) = 114 kg

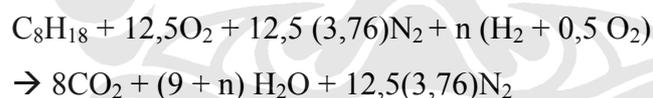
Massa udara (m_a) adalah 12,5 (4,76) kmol (29 kg/kmol) = 1725,5 kg , sehingga AFR untuk reaksi tersebut

$$\text{AFR} = m_a / m_f = 1725,5 / 114 = 15,13.$$

Nilai perbandingan inilah yang nantinya dipakai pada lembar data untuk nilai AFR stoikiometrinya.

2.3.1 Pembakaran Dengan Penambahan Gas Elektrolisa

Dalam percobaan yang dilakukan dengan penambahan gas elektrolisa air, bahan bakar yang masuk ke ruang bakar bukan hanya bensin saja melainkan bensin dan gas elektrolisa air ($\text{H}_2 + 0,5 \text{O}_2$) dan dengan asumsi bahwa jumlah gas $\text{H}_2 + \text{O}_2$ yang di hasilkan reaktor elektrolisa air adalah proporsional, maka stoikiometri pembakaran yang terjadi adalah:



Dengan menambah sejumlah $n \text{H}_2 + 0,5 \text{O}_2$, dimana nilai n adalah jumlah mol gas elektrolisa yang masuk ke ruang bakar. Penambahan gas elektrolisa ini secara ideal tidak mempengaruhi AFR standarnya, karena oksidator gas H_2 telah setimbang dari yang dihasilkan oleh reaktor elektrolisa air.

2.4 TERBENTUKNYA POLUTAN PADA ALIRAN GAS BUANG

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor di bedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti karbon monoksida (CO), sulfur oksida (So_x), nitrogen oksida (NO_x) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuangkan ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O_3) dan

peroksiasetil nitrat (PAN) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.

2.4.1 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida selalu terdapat didalam gas buang pada saat proses penguraian dan hanya ada pada knalpot kendaraan. CO merupakan produk dari pembakaran yang tidak tuntas yang disebabkan karena tidak seimbangnya jumlah udara pada rasio udara-bahan bakar (AFR) atau waktu penyelesaian pembakaran yang tidak tepat ^(Mathur). Pada campuran kaya, konsentrasi CO akan meningkat dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna untuk menghasilkan CO₂. Pada beberapa hasil, konsentrasi CO yang terukur lebih besar dari konsentrasi kesetimbangan. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi pembentukan yang tidak sempurna pada langkah ekspansi ^(Benson).

Untuk menurunkan emisi CO dapat dilakukan dengan menjalankan mesin dengan campuran kurus yang menyebabkan hilangnya tenaga atau dengan cara menambahkan alat pada knalpot untuk mengoksidasi CO yang dihasilkan mesin. Secara teoritis, kadar CO pada gas buang dapat dihilangkan dengan menggunakan AFR lebih besar dari 16:1. Namun pada kenyataannya kadar CO akan selalu terdapat pada gas buang walaupun pada campuran yang kurus sekalipun.

Persentase CO pada gas buang meningkat pada saat *idle* dan menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan dan pada saat kecepatan konstan. Pada saat perlambatan dimana terjadi penutupan *throttle* yang menyebabkan berkurangnya suplai oksigen ke mesin akan mengakibatkan tingginya kadar CO yang dihasilkan.

2.4.2 Hidrokarbon (HC)

Emisi hidrokarbon yang tidak terbakar merupakan hal berkaitan langsung dengan pembakaran yang tidak sempurna. Bentuk emisi hidrokarbon dipengaruhi oleh banyak variable disain dan operasi. Salah satunya dapat disebabkan karena penyalaan yang tidak stabil (*misfire*). Oksidasi dari hidrokarbon merupakan proses rantai dengan hasil lanjutan berupa aldehid ^(Benson). Beberapa jenis aldehid bersifat stabil dan keluar bersama gas buang. Sumber utama dari pembentukan hidrokarbon adalah *wall quenching* yang diamati pada saat api menjalar kearah

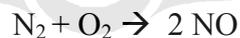
dinding, terdapat lapisan tipis yang tidak terjadi reaksi kimia kecuali terjadinya pemecahan bahan bakar. Lapisan tipis ini mengandung hidrokarbon yang tidak terbakar atau disebut juga *quench distance*.

Besarnya *quench distance* ini bervariasi antara 0,008 sampai 0,038 cm yang dipengaruhi oleh temperature campuran, tekanan, AFR, temperature permukaan dinding dan endapan pembakaran. Besarnya konsentrasi hidrokarbon didalam gas buang sama dengan besar konsentrasi CO, yaitu tinggi pada saat campuran kaya dan berkurang pada titik temperatur tertinggi.

2.4.3 Nitrogen Oksida (NO_x)

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor di bedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O₃) dan peroksi asetil nitrat (PAN) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.

Komponen utama dari NO_x adalah nitrogen oksida (NO) yang dapat dikonversikan lagi menjadi nitrogen dioksida (NO₂) dan nitrogen tetraoksida (N₂O₄). Oksida-oksida nitrogen (NO_x) biasanya dihasilkan dari proses pembakaran pada suhu tinggi dari bahan bakar gas, minyak atau batu bara. Suhu yang tinggi pada ruang bakar akan menyebabkan sebagian N₂ bereaksi dengan O₂. Jika terdapat N₂ dan O₂ pada temperatur lebih dari 1800 °C, akan terjadi reaksi pembentukan gas NO sebagai berikut:



Di udara, NO mudah berubah menjadi NO₂. Komposisi NO_x di dalam gas buang terdiri dari 95 % NO, 3—4 % NO₂, dan sisanya adalah N₂O serta N₂O₃.

Tidak seperti gas polutan lainnya yang mempunyai daya destruktif yang tinggi terhadap kesehatan manusia, NO merupakan gas inert dan ‘hanya’ bersifat racun. Sama halnya dengan CO, NO mempunyai afinitas yang tinggi terhadap oksigen dibandingkan dengan hemoglobin dalam darah. Dengan demikian pemaparan terhadap NO dapat mengurangi kemampuan darah membawa oksigen

sehingga tubuh kekurangan oksigen dan mengganggu fungsi metabolisme. Namun NO₂ dapat menimbulkan iritasi terhadap paru-paru.

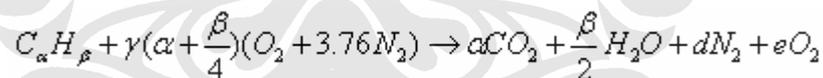
2.4.4 Udara Berlebih (Excess Air)

Perhitungan-perhitungan pembakaran harus terkait dengan persyaratan perlengkapan pembakaran aktual di mana perlengkapan tersebut masih laik pakai. Nilai udara stoikiometri mendefinisikan suatu proses pembakaran dengan efisiensi 100%, sehingga tidak ada lagi udara yang terbuang. Pada kenyataannya, untuk mencapai pembakaran sempurna, harus disediakan sejumlah udara yang lebih besar daripada kebutuhan stoikiometri. Hal ini dikarenakan sulitnya mendapatkan pencampuran yang memuaskan antara bahan bakar dengan udara pada proses pembakaran aktual. Udara perlu diberikan dalam jumlah berlebih untuk memastikan terbakarnya seluruh bahan bakar yang ada secara sempurna.

$$\% \text{ udara teoritis} = \left(\frac{m_{\text{udara}}}{m} \right) 100 = \left(\frac{N_{\text{udara}}}{N} \right) 100$$

$$\% \text{ udara lebih} = \% \text{ udara teoritis} - 100 \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan udara berlebih, pembakaran terjadi pada kondisi bahan bakar yang “kurus” (*lean*). Sehingga udara berlebih (*excess air*) yang belum bereaksi muncul pada produk pembakaran.



Untuk pembakaran bahan bakar yang berwujud gas, total kebutuhan udara yang diperlukan cukup 5% di atas kebutuhan stoikiometri. Sehingga nilai γ adalah $(100 + 5) \% = 1,05$

2.5 ELEKTROLISA AIR^[1]

Elektrolisa air adalah proses pemecahan air (H₂O) menjadi oksigen (O₂) dan gas hidrogen (H₂) dengan cara melewatkan arus listrik pada air. Proses elektrolisis ini digunakan pada industri yang membutuhkan gas hidrogen.

Arus listrik dihubungkan pada dua elektroda, atau dua buah plat, (biasanya dari bahan logam seperti platinum atau stainless steel) yang ditempatkan didalam air. Hidrogen akan timbul pada katoda (elektroda negative, dimana elektron

dipompakan pada air), dan oksigen akan timbul pada anoda (elektroda positif). Pembentukan hidrogen dua kali lebih banyak dari oksigen, dan keduanya proporsional pada jumlah arus listrik yang dialirkan. Elektrolisis pada air murni memiliki laju yang sangat lambat, dan hanya terjadi melalui proses ionisasi secara sendirinya (*self-ionization of water*). Air murni memiliki konduktivitas listrik sekitar satu juta kali dari air laut. Dan dapat meningkat secara cepat dengan menambahkan elektrolit seperti garam, asam atau basa).

Elektrolisis pertama kali dilakukan oleh William Nicholson dan Anthony Carlisle sekitar tahun 1800.

2.5.1 Pelepasan dan Penangkapan Elektron

Pada peristiwa oksidasi Fe menjadi Fe_2O_3 , atom Fe melepaskan elektron menjadi ion Fe^{3+} . Jadi pengertian oksidasi dapat diperluas menjadi pelepasan elektron. Sebaliknya pada peristiwa reduksi Fe_2O_3 menjadi Fe, ion Fe^{3+} menangkap elektron menjadi atom Fe. Maka pengertian reduksi juga dapat diperluas menjadi peristiwa penangkapan elektron.

Dengan pengertian yang lebih luas ini, konsep oksidasi dan reduksi tidaklah terbatas pada reaksi-reaksi yang melibatkan oksigen saja.

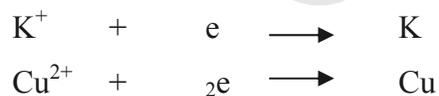
Oksidasi adalah reaksi pelepasan elektron.

Contoh reaksi oksidasi :



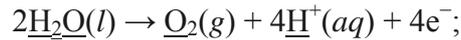
Reduksi adalah reaksi penerimaan atau penangkapan elektron.

Contoh reaksi reduksi :

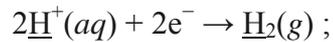


Pada reaksi oksidasi, elektron berada di ruas kanan
 Pada reaksi reduksi,, elektron berada di ruas kiri

Perlu diingat bahwa “melepaskan elektron” berarti memberikan elektron kepada atom lain. Sedangkan “menangkap elektron” berarti menerima elektron dari atom lain. Jadi peristiwa oksidasi suatu atom selalu disertai oleh peristiwa reduksi atom yang lain. Sebagai contoh, kita lihat reaksi oksidasi



Reaksi ini harus mempunyai pasangan berupa reaksi reduksi agar jelas kepada siapa elektron itu diberikan, misalnya :



Dengan demikian, kedua reaksi diatas masing-masing baru merupakan setengah reaksi, sedangkan reaksi lengkapnya adalah :



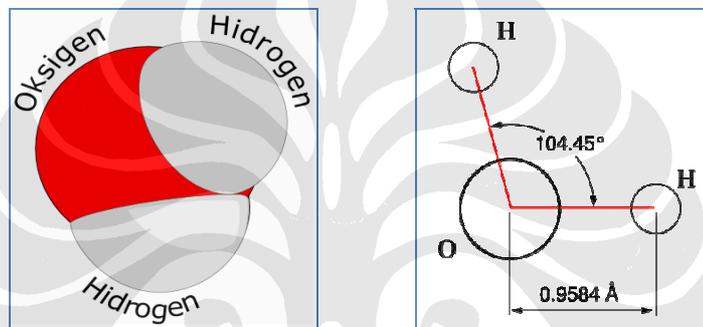
Reaksi lengkap ini disebut reaksi redoks (singkatan dari reduksi-oksidasi) sebab mengandung dua peristiwa sekaligus : H_2O teroksidasi menjadi O_2 dan 4H^+ tereduksi menjadi 2H_2 . Zat yang mengalami oksidasi (melepaskan elektron) disebut reduktor (pereduksi), sebab ia menyebabkan zat lain mengalami reduksi, sebaliknya zat yang mengalami reduksi disebut oksidator (pengoksidasi). Pada contoh reaksi diatas : H_2O merupakan reduktor, sedangkan 4H^+ merupakan oksidator.

Reduktor = Zat yang mengalami oksidasi
Oksidator = Zat yang mengalami reduksi

2.6 Karakteristik 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.

SIFAT-SIFAT AIR	
Nama lain	Aqua, dihidrogen monoksida, hidrogen hidroksida
Rumus molekul	H ₂ O
Masa molar	18.0153 g/mol
Densitas dan fase	0.998 g/cm ³ (cairan pada 20 °C) 0.92 g/cm ³ (padatan)
Titik beku	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)



Alasan mengapa hidrogen berikatan dengan oksigen membentuk fasa berkeadaan cair, adalah karena oksigen lebih bersifat elektronegatif ketimbang elemen-elemen lain tersebut (kecuali fluor). Tarikan atom oksigen pada elektron-elektron ikatan jauh lebih kuat dari pada yang dilakukan oleh atom hidrogen, meninggalkan jumlah muatan positif pada kedua atom hidrogen, dan jumlah muatan negatif pada atom oksigen. Adanya muatan pada tiap-tiap atom tersebut membuat molekul air memiliki sejumlah momen dipol. Gaya tarik-menarik listrik antar molekul-molekul air akibat adanya dipol ini membuat masing-masing molekul saling berdekatan, membuatnya sulit untuk dipisahkan dan yang pada akhirnya menaikkan titik didih air. Gaya tarik-menarik ini disebut sebagai ikatan hidrogen.

Air sering disebut sebagai pelarut universal karena air melarutkan banyak zat kimia. Air berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar. Dalam bentuk ion, air dapat

dideskripsikan sebagai sebuah ion hidrogen (H^+) yang berasosiasi (berikatan) dengan sebuah ion hidroksida (OH^-)

2.6.1 Hidrogen

Hidrogen 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 amu, hidrogen adalah unsur teringan di dunia. Hidrogen juga adalah unsur paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta

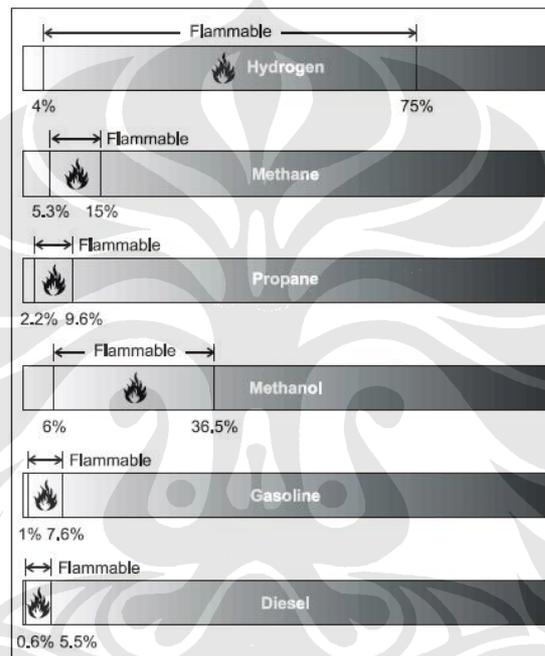
Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H_2 di udara bebas. Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada temperatur $560\text{ }^\circ\text{C}$. Lidah api hasil pembakaran hidrogen-oksigen murni memancarkan gelombang ultraviolet dan hampir tidak terlihat dengan mata telanjang. Oleh karena itu, sangatlah sulit mendeteksi terjadinya kebocoran hidrogen secara visual.

SIFAT KIMIA DAN FISIKA HIDROGEN	
<u>Fase Massa jenis</u>	gas
<u>Massa jenis</u>	(0°C ; $101,325\text{kPa}$) $0,08988\text{ g/L}$
<u>Titik lebur</u>	$14,01\text{ K}$ ($-259,14\text{ }^\circ\text{C}$, $-434,45\text{ }^\circ\text{F}$)
<u>Titik didih</u>	$20,28\text{ K}$ ($-252,87\text{ }^\circ\text{C}$, $-423,17\text{ }^\circ\text{F}$)
<u>Kalor peleburan</u>	(H_2) $0,117\text{ kJ/mol}$
<u>Kapasitas kalor</u>	($25\text{ }^\circ\text{C}$) (H_2) $28,836\text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$
<u>Suhu kritis</u>	$32,19\text{ K}$
<u>Tekanan kritis</u>	$1,315\text{ MPa}$
<u>Densitas kritis</u>	$30,12\text{ g/L}$

Untuk mempersingkat penjelasan, maka keunggulan-keunggulan Hidrogen jika dibandingkan bahan bakar lain dijelaskan dengan mengunakan tabel-tabel seperti yang tercantum di bawah ini ;

Fuel	Octane Number
Hydrogen	130+ (lean burn)
Methane	125
Propane	105
Octane	100
Gasoline	87
Diesel	30

Tabel 2.1 Nilai oktan berbagai bahan bakar



Tabel 2.2 Sifat kemampuan bakar berbagai jenis bahan bakar

Dari keterangan 2 buah tabel di atas yang membandingkan nilai-nilai berbagai bahan bakar, maka sudah dapat dipastikan bahwa Hidrogen merupakan bahan bakar yang sangat baik.

2.6.2 Oksigen

Oksigen atau zat asam adalah unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O dan nomor atom 8. Elemen sangat biasa dan ada di mana-mana, ditemukan tak hanya di Bumi tetapi di seluruh alam semesta. Di Bumi, ia biasanya berikatan dengan elemen lain secara kovalen atau ionik. Oksigen adalah satu dari dua komponen utama udara. Ia dihasilkan oleh tanaman

selama fotosintesis, dan sangat diperlukan untuk pernafasan aerobik pada hewan dan manusia.

SIFAT KIMIA DAN FISIKA OKSIGEN	
<u>Fase Massa jenis</u>	<u>gas</u>
<u>Massa jenis</u>	(0 °C; 101,325 kPa) 1,429 g/L
<u>Titik lebur</u>	54,36 <u>K</u> (-218,79 °C, -361,82 °F)
<u>Titik didih</u>	90,20 <u>K</u> (-182,95 °C, -297,31 °F)
<u>Kalor peleburan</u>	(O ₂) 0,444 kJ/mol
<u>Kapasitas kalor</u>	(25 °C) (O ₂) 29,378 J/(mol·K)
<u>Suhu kritis</u>	(O ₂) 6,82 kJ/mol

2.7 HUKUM-HUKUM FISIKA DAN KIMIA

2.7.1 Hukum Kekekalan Energi

" Energi tidak dapat diciptakan dan juga tidak dapat dimusnahkan "

Jadi perubahan bentuk suatu energi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain tidak merubah jumlah atau besar energi secara keseluruhan. Rumus atau persamaan mekanik (berhubungan dengan hukum kekekalan energi) :

$$E_m = E_p + E_k \dots\dots\dots(2.6)$$

keterangan

E_m = energi mekanik

E_p = energi kinetik

E_k = energi kinetik

2.7.2 Hukum Kekekalan Massa (Hukum Lavoiser)

"Massa zat-zat sebelum dan sesudah reaksi adalah tetap".

Contoh:

hidrogen + oksigen → hidrogen oksida

(4g) (32g) (36g)

2.7.3 Persamaan-Persamaan Gas Ideal

Untuk gas ideal berlaku persamaan :

$$PV = nRT \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana:

P = tekanan gas (atmosfir)

V = volume gas (liter)

n = mol gas

R = tetapan gas universal = 0.082 lt.atm/mol Kelvin

T = suhu mutlak (Kelvin)

Perubahan-perubahan dari P, V dan T dari keadaan 1 ke keadaan 2 dengan kondisi-kondisi tertentu dicerminkan dengan hukum-hukum berikut:

2.7.3.1 Hukum Boyle

Hukum ini diturunkan dari persamaan keadaan gas ideal dengan

$$n_1 = n_2 \text{ dan } T_1 = T_2 ; \text{ sehingga diperoleh : } P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Contoh:

Berapa tekanan dari 0.5 mol O₂ dengan volume 10 liter jika pada temperatur tersebut 0.5 mol NH₃ mempunyai volume 5 liter dan tekanan 2 atmosfer ?

Jawab:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$2.5 = P_2 \cdot 10 \rightarrow P_2 = 1 \text{ atmosfer}$$

2.7.3.2 Hukum Gay-Lussac

"Volume gas-gas yang bereaksi dan volume gas-gas hasil reaksi bila diukur pada suhu dan tekanan yang sama, akan berbanding sebagai bilangan bulat dan sederhana".

$$\text{Jadi untuk: } P_1 = P_2 \text{ dan } T_1 = T_2 \text{ berlaku : } V_1 / V_2 = n_1 / n_2$$

2.7.3.3 Hukum Boyle –Gay Lussac

Hukum ini merupakan perluasan hukum terdahulu dan diturunkan dengan keadaan harga $n = n_2$ sehingga diperoleh persamaan:

$$P_1 \cdot V_1 / T_1 = P_2 \cdot V_2 / T_2 \dots\dots\dots(2.8)$$

2.7.3.4 Hukum Avogadro

Yaitu : “*Pada suhu dan tekanan yang sama, gas-gas yang volumenya sama mengandung jumlah partikel yang sama pula.*”

Contoh :

Pada pembentukan molekul H_2O

