

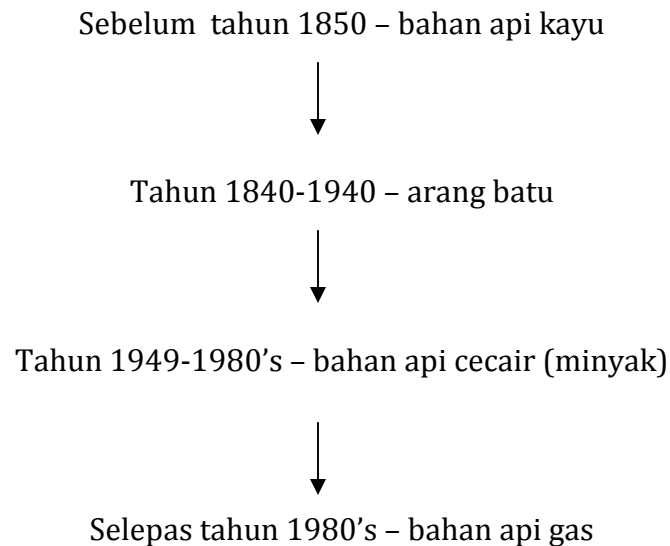
1.0 SUMBER TENAGA DUNIA

Boleh dikelaskan kepada 2 jenis;

1. Tenaga yang boleh dihasilkan semula (renewable)
contoh: penghasilan tenaga elektrik dari hydro, solar dan angin
2. Tenaga yang tidak boleh dihasilkan semula (non renewable)
contoh: hasil dari pembakaran bahan api fosil – kayu, arangbatu, petrol, gas asli

Menghasilkan 90% dari sumber tenaga dunia kini

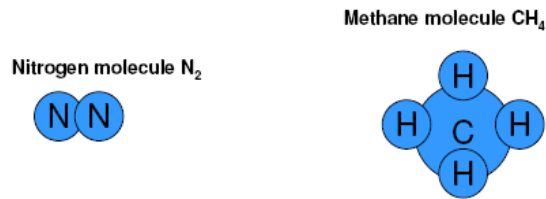
1.1 Sejarah Penghasilan Tenaga Dari Bahanapi Fosil



2.0 BAHANAPI GAS

- Hampir semua bahanapi mempunyai atom karbon dan atom hidrogen yang membentuk sebatian yang dikenali sebagai molekul.

- Kebanyakan molekul-molekul ini wujud sebagai gas pada suhu bilik mengandungi 2 atau lebih atom, seperti oksigen O₂, N₂, metana CH₄

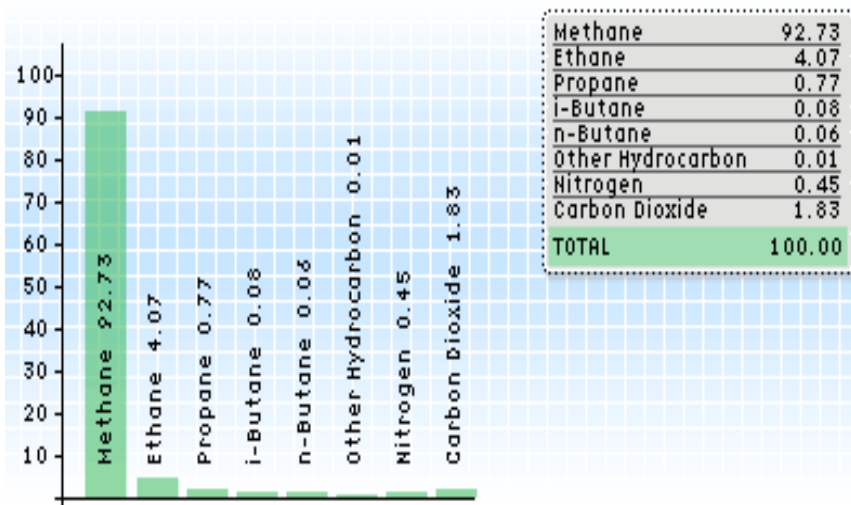


- Setiap molekul bergerak tanpa bersatu atau bertindak balas antara satu sama lain.
- Dua jenis bahanapi yang paling popular adalah gas asli dan petroleum gas cecair (GPC).
- Kedua-duanya biasa wujud sebagai campuran beberapa komponen lain.

2.1 Komponen-Komponen Bahanapi Gas

- Bahanapi gas adalah campuran beberapa komponen hidrokarbon dan sejumlah kecil bahan bukan hidrokarbon seperti karbon dioksida, nitrogen dan sulfur.

Natural Gas Compositon



Jadual 1: Komponen-komponen gas asli

- Campuran komponen-komponen ini akan berlainan dari satu pembekal kepada satu pembekal yang lain bergantung kepada telaga asalnya dan proses penapisan yang dilalui.
- Komposisi campuran bahanapi akan memberi kesan terhadap sifat bahanapi tersebut seperti ketumpatan, nilai kalori, suhu mula nyalaan dan lain-lain.

Jadual 2: Komposisi Gas Asli di Malaysia

Komponen	Simbol	Vol%	
		Sebelum'95	Selepas'95
Nama			
Metana	CH ₄	84.71	92.74
Etana	C ₂ H ₆	10.41	4.07
Propana	C ₃ H ₈	0.98	0.77
I-Butana	C ₄ H ₁₀	0.07	0.08
N-Butana	C ₄ H ₁₀	0.04	0.06
Nitrogen	N ₂	0.39	0.45
Karbon Dioksida	CO ₂	3.36	1.83
Jumlah		100.0	100.0

Jadual 3: Komposisi GPC terdapat di Malaysia

Komponen	Peratus	Isipadu
Nama	Simbol	Vol%
Propana	C ₃ H ₈	30~40
Butana	C ₄ H ₁₀	60~70
Total		100.0

2.2 Sifat/Kandungan Bahanapi Gas

Sifat-sifat atau kandungan bahanapi gas penting dan perlu diketahui untuk merekabentuk proses pembakaran dan penunu

2.2.1 Graviti Tentu. Specific Gravity (SG)

- Ditakrifkan sebagai ketumpatan campuran bahanapi gas berbanding ketumpatan udara pada suhu dan tekanan yang sama (**standard: 15°C dan 101.325 kPa**)

$$SG = \frac{\rho_g}{\rho_a}$$

- Nilai SG bahanapi gas bergantung kepada komponen-komponen yang terdapat di dalamnya. Ianya boleh dikira dengan formula dibawah:

$$SG = \sum Y_i SG_i$$

Dimana Y_i ialah pecahan mol atau % isipadu bahanapi

- SG udara = 1
- Bahanapi yang mempunyai nilai SG yang lebih kecil dari 1 adalah lebih ringan dari udara manakala yang mempunyai nilai SG lebih besar dari 1 adalah lebih berat/tumpat dari udara.
- Oleh itu SG sesuatu bahanapi gas akan menentukan samada gas tersebut akan bebas naik keatas atau berkumpul dibawah apabila dibebaskan atau bocor.

- Ia juga akan memberi kesan terhadap pengaliran gas melalui orifice dan memberi kesan terhadap 'rating of burner' penting untuk penukaran penunu.

contoh: GPC ~ 2.36 (lebih berat) nozzle saiz kecil manakala
gas asli ~ 0.799 (lebih ringan) nozzle besar.

- Juga memberi kesan terhadap pengaliran gas dalam paip dimana penolakan oleh tekanan pada permulaan paip akan menolak gas yang ringan lebih dari gas yang berat

Jadual 4: Spesifik graviti untuk beberapa bahanapi gas

Komponen	Simbol	Berat Relatif (mol)	Berat tentu (kg/Nm ³)	Graviti Tentu (Udara = 1)
Hidrogen	H ₂	2.02	0.0898	0.0695
Carbon monoksida	CO	28.01	1.2501	0.967
Methana	CH ₄	16.04	0.7167	0.555
Ethana	C ₂ H ₄	30.07	1.3567	1.048
Ethylene	C ₄ H ₄	28.05	1.2644	0.975
Propana	C ₃ H ₈	44.10	2.0200	1.554
Propylene	C ₃ H ₆	42.08	1.9149	1.479
Butana	C ₄ H ₁₀	58.12	2.5985	2.085
Carbon dioksida	CO ₂	44.01	1.9768	1.5291
Oksigen	O ₂	32.00	1.4289	1.1053
Nitrogen	N ₂	28.02	1.2507	0.9674
Wap air	H ₂ O	18.02	0.804	0.622
Udara	(1)	28.97	1.2928	1.0000

(1)* N₂ = 1.5606, O₂ = 0.4204, Ar = 0.0093 dan C = 0.0003

Contoh mengira SG bagi gas asli di Malaysia sebelum tahun 1995

Simbol	Komposisi (vol%) (A)	Graviti Tentu (B)	$\frac{A \times B}{100}$
CH ₄	84.75	0.555	0.4704
C ₂ H ₆	10.41	1.048	0.1091
C ₃ H ₈	0.98	1.554	0.0152
I-C ₄ H ₁₀	0.07	2.085	0.0015
N-C ₄ H ₁₀	0.04	2.085	0.0008
N ₂	0.39	0.9674	0.0038
CO ₂	3.36	1.5291	0.0514
Jumlah	100.0	-	0.6522

Oleh itu

Graviti tentu gas asli, SG = 0.6522

Berat tentu gas asli = $0.6522 \times 1.2928 \text{ kg/Nm}^3$

= 0.843 kg/Nm^3

= $0.843 \times \frac{273.15}{273.15+15} = 0.799 \text{ kg/Sm}^3$

SG gas asli < 1

(lebih ringan dari udara maka ia akan naik keatas)

Calculation for LPG (butane 70% and propane 30%)

Simbol	Komposisi (vol%) (A)	Graviti Tentu (B)	$\frac{A \times B}{100}$
C ₃ H ₈	30.00	1.554	0.4662
C ₄ H ₁₀	70.00	2.085	1.4595
Jumlah	100.0	-	1.9257

Oleh itu,

$$\text{Graviti tentu, SG} = 1.9257$$

$$\text{Berat tentu} = 1.9257 \times 1.2928 \text{ kg/Nm}^3$$

$$= 2.490 \text{ kg/Nm}^3$$

$$= 2.360 \text{ kg/Sm}^3$$

SG > 1 (lebih berat dari udara maka ia akan terkumpul dibawah)

2.2.2 Nilai kalori/calorific value (CV)

- Juga dikenali sebagai nilai haba pemanasan
- Ditakrifkan sebagai jumlah haba yang dihasilkan dari pembakaran satu unit berat atau satu unit isipadu bahanapi.
- Unitnya ialah MJ/kg, Kcal/kg atau Kcal/m³, MJ/m³
- Lebih banyak atom karbon dan hidrogen dalam setiap molekul bahanapi maka semakin tinggi pula nilai kalori atau haba pemanasannya.
- Nilai kalori CH₄ < C₂H₆ < C₃H₈ < C₄H₁₀

- Lebih banyak bahan 'inert' dalam setiap molekul bahanapi maka semakin rendah pula nilai kalori atau haba pemanasannya. Inert : N₂, CO₂, H₂O
- Biasanya diberikan dalam nilai 'kasar'(gross) atau 'bersih' (net).

Jadual 5: Nilai kalori untuk beberapa bahanapi gas

Component	Gross CV (pure comp.)	Net CV (pure comp.)	Vol%	Gross CV	Net CV
CH ₄	37840	34024	70	26488	23816
C ₂ H ₆	66802	61028	15	10020	9154
C ₃ H ₈	96147	88361	10	9615	8836
C ₄ H ₁₀	127071	117143	5	6353	5857
Total			100	52476	47664

Jadual 6: Nilai kalori untuk beberapa bahanapi di Malaysia

Nilai kalori	Unit	Gas asli Sebelum '95	Gas asli Selepas '95	LPG
Gross	Kcal/m ³	9582	9253	28059
	Btu/m ³	38024	36718	111345
	Kcal/kg	11992	12487	11889
Net	Kcal/m ³	8644	8333	25844
	Btu/m ³	34302	33067	102556
	Kcal/kg	10816	11246	10951

Jadual 7: Nilai kalori untuk beberapa bahanapi gas

Component		Caloric value per unit volume				Per unit weight	
		Gross	Net	Gross	Net	Gross	Net
Name	Symbol	Kcal/Nm ³ Btu/Nm ³		Kcal/Sm ³ Btu/Sm ³		Kcal/kg Btu/kg	
Hydrogen	H ₂	3053	2573	2893	2439	33998	28653
		12115	10210	11480	9679	134913	113702
Carbon Monoxide	CO	2016	3016	2859	2859	2412	2413
		11968	11968	11345	11345	9575	9575
Methane	CH ₄	9537	8574	9041	8128	13307	11963
		37840	34024	35877	32254	52806	47472
Ethylene	C ₂ H ₄	15179	14211	14389	13471	12005	11239
		60234	56392	57099	53456	47639	44599
Ethane	C ₂ H ₆	16834	15379	15958	14578	12408	11336
		66802	61028	63325	57849	49238	44984
Propylene	C ₂ H ₆	22385	20917	21220	19828	11690	10923
		88829	83004	84206	78683	46389	43345
Propane	C ₃ H ₈	24229	22267	22968	21108	11995	11023
		96147	88361	91143	83762	47599	43742
Butylene	C ₄ H ₈	29110	27190	27595	25775	11602	10837
		115516	107897	10950	102282	46040	43004
N-Butane	C ₄ H ₁₀	32022	29520	30355	27983	12323	11360
		127071	117143	120456	111044	48901	45079
I-Butane	C ₄ H ₁₀	31781	29289	30127	27764	12231	11272
		126115	116226	119552	110175	48536	44730

Contoh pengiraan nilai kalori bahanapi gas

Component	Gross CV (pure comp.)	Net CV (pure comp.)	Vol%	Gross CV	Net CV
CH ₄	37840	34024	70	26488	23816
C ₂ H ₆	66802	61028	15	10020	9154
C ₃ H ₈	96147	88361	10	9615	8836
C ₄ H ₁₀	127071	117143	5	6353	5857
Total			100	52476	47664

2.2.3 Had kebolehbakaran

- Pembakaran berlaku dan berterusan hanya jika campuran bahanapi dan udara berada dalam had yang tertentu iatu had atas dan had bawah
- Had ini dikenali sebagai had kebolehbakaran
- Had kebolehbakaran sesuatu campuran bahanapi gas yang mempunyai berbagai komponen boleh dikira dengan formula di bawah:

$$L = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + \dots)}{\frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \frac{P_3}{N_3} + \dots}$$

Dimana: L ialah had kebolehbakaran campuran bahanapi

P ialah % vol of the gases

N ialah had kebolehbakaran atas/bawah setiap komponen

Had kebolehbakaran NG: 4.3 ~ 14.5

LPG: 1.9 ~ 9.5

Had kebolehbakaran untuk beberapa bahan api gas

Nama gas dan simbol	Had kebolehbakaran			
	Had bawah (%)	A/G ratio	Had atas (%)	A/G ratio
Hydrogen (H ₂)	4.0	10.1	75.6	0.14
Carbon monoxide (CO ₂)	12.5	2.9	74.2	0.15
Methane (CH ₄)	5.0	2.0	15.0	0.60
Ethylene (C ₂ H ₄)	2.7	2.5	34.0	0.14
Ethane (C ₂ H ₆)	3.0	1.9	12.5	0.42
Propylene (C ₃ H ₆)	2.0	2.3	11.1	0.37
Propane (C ₃ H ₈)	2.1	2.0	9.5	0.40
Butylene (C ₄ H ₈)	1.7	2.0	9.7	0.33
N-Butane (C ₄ H ₁₀)	1.9	1.7	8.5	0.35
I-Butane (C ₄ H ₁₀)	1.8	1.8	8.4	0.35
Natural gas	4.3	2.0	14.5	0.54

2.2.4 Suhu Pencucuhan

- Jumlah tenaga haba dari luar yang perlu dibekalkan untuk memulakan tindak balas pembakaran dikenali sebagai 'tenaga pencucuhan' dan suhunya pula dikenali sebagai 'suhu pencucuhan'.
- Suhu pencucuhan yang paling rendah untuk memulakan pembakaran adalah suhu minimum yang diperlukan untuk memulakan pembakaran, jikalau suhu adalah lebih rendah dari suhu minimum ini, maka pembakaran tidak akan berlaku atau pembakaran akan padam.

- Suhu minimum pencucuhan akan berbeza dengan sumber tenaga pencucuhan, nisbah udara, peratusan oksigen, halaju dan suhu campuran dan lain-lain lagi.

Jadual 8: Suhu minimum pencucuhan untuk beberapa bahanapi

Name of gas	Symbol	Min ignition temperature (°C)	
		JGA	PPD
Hydrogen	H ₂	530	560
Carbon monoxide	CO ₂	610	605
Methane	CH ₄	645	595
Ethylene	C ₂ H ₄	540	425
Ethane	C ₂ H ₆	530	515
Propylene	C ₃ H ₆	455	455
Propane	C ₃ H ₈	510	470
Butylene	C ₄ H ₈	445	440
N-Butane	C ₄ H ₁₀	490	460
I-Butane	C ₄ H ₁₀	490	460
Natural gas			630~730

JGA-Japan Gas Association, PPD-Physical Property Data

- Ianya tidak sama dengan pencucuhan hasil dari pemanasan campuran hingga ianya terbakar yang dinamakan auto-ignition.
- Suhu auto ignition untuk gas asli ialah 760°C

2.2.5 Halaju Pembakaran

- Juga dikenali sebagai halaju api
- Ia merupakan kadar kelajuan permukaan api membakar ke dalam bahanapi yang belum terbakar
- Bahanapi yang belum terbakar mestilah sesuai untuk pembakaran
- Halaju pembakaran untuk campuran bahanapi dan udara bergantung kepada tekanan, suhu, nisbah udara/gas, cara campuran dan lain-lain
- Halaju pembakaran untuk beberapa bahanapi

Jadual 9: Halaju pembakaran untuk beberapa bahanapi

		Max. flame Speed (cm/s)	Air ratio at max Flame speed	
Hydrogen	H ₂	282.0	0.58	42.0%
Carbon monoxide	CO ₂	43.2	0.47	47.0%
Methane	CH ₄	39.2	0.90	10.5%
Ethylene	C ₂ H ₄	68.1	0.83	7.8%
Ethane	C ₂ H ₆	42.6	0.90	6.2%
Propylene	C ₃ H ₆	46.0	0.89	5.0%
Propane	C ₃ H ₈	45.5	0.96	4.2%
Butylene	C ₄ H ₈	46.5	0.94	3.6%
N-Butane	C ₄ H ₁₀	37.5	1.0	3.1%
I-Butane	C ₄ H ₁₀	37.5	1.0	3.1%
Natural gas		About 39	0.9	0.9%

- Halaju pembakaran akan bertambah dengan bertambahnya oksigen level dalam udara

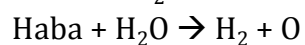
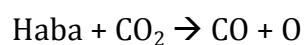
2.2.6 Suhu Nyalaan

- Suhu nyalaan merujuk kepada haba yang dilepaskan semasa proses pembakaran
- Suhu nyalaan yang paling tinggi boleh dicapai adalah melalui pembakaran adiabatik (tiada pemindahan haba)
- Suhu ini dikenali sebagai suhu nyalaan adiabatik atau suhu nyalaan teoritikal
- Suhu nyalaan sebenar adalah suhu pembakaran teoritikal-kejatuhan suhu oleh 'dissociation' dan pemindahan haba ke sekitar

Jadual 10: Suhu nyalaan untuk beberapa bahanapi

	Dissociation Not Considered (°C)	Dissociation Considered (°C)
H ₂	2250	2109
CO	2390	2108
CH ₄	2050	1951
C ₂ H ₆	2120	1985
C ₂ H ₂	2650	2250
C ₃ H ₈	2150	1992
C ₃ H ₁₀	2200	1993
Natural gas	2045	
LPG	2170	

- Dissociation adalah proses terbalik dari proses pembakaran – iatu pemecahan hasil pembakaran



2.2.7 Nombor Wobbe

- Juga dikenali sebagai Index Wobbe (WI)

$$WI = \frac{CV}{\sqrt{SG}}$$

- Bahanapi gas yang mempunyai Index Wobbe yang sama boleh ditukar ganti penggunaannya tanpa membuat perubahan kepada sistem penunu.

Jadual 11: Wobbe Index

Family	Nombor Wobbe (MJ/m ³)	Jenis gas
1 st	22.4 – 30.0	GPC Town gas
2 nd	39.1-45 (group L) 45.7- 55 (group H)	Gas asli Sub gas asli
3 rd	73.5-87.5	Propane, Butane

PEMBAKARAN BAHANAPI FOSIL

- Pembakaran bahan api fosil yang baik memerlukan kesemua kriteria dibawah dipenuhi.
- Cara penyediaan campuran bahanapi adalah sangat penting untuk proses pembakaran dan juga untuk pembakaran di industri.
- Bahanapi pepejal, cecair dan gas memerlukan penyediaan campuran bahanapi yang berbeza, oleh itu ia juga memerlukan mekanisma penyediaan campuran yang berbeza. Sifat-sifat pembakarannya turut berbeza.

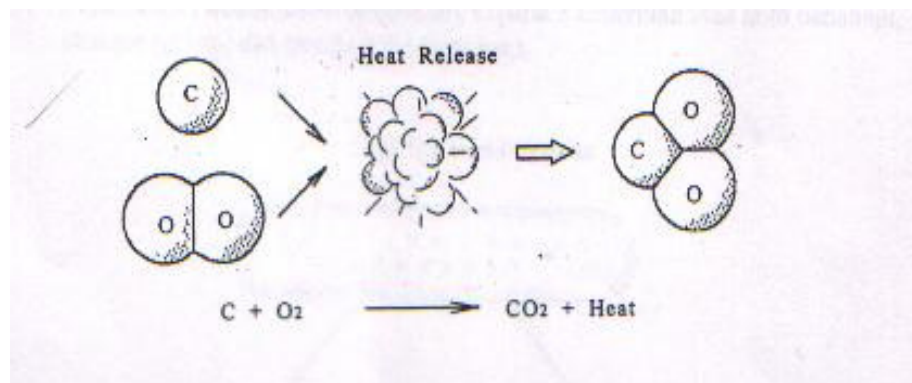
- Hampir kesemua penghasilan tenaga dari bahanapi fosil memerlukan proses pembakaran

Proses Pembakaran

- Pembakaran ditakrifkan sebagai satu proses yang pantas dimana bahanapi bercantum/bertindak balas dengan *oksigen* dan membentuk/menerbitkan cahaya dan haba
- Biasanya bekalan oksigen diperolehi dari udara. Udara mempunyai 21% oksigen dan 79% nitrogen

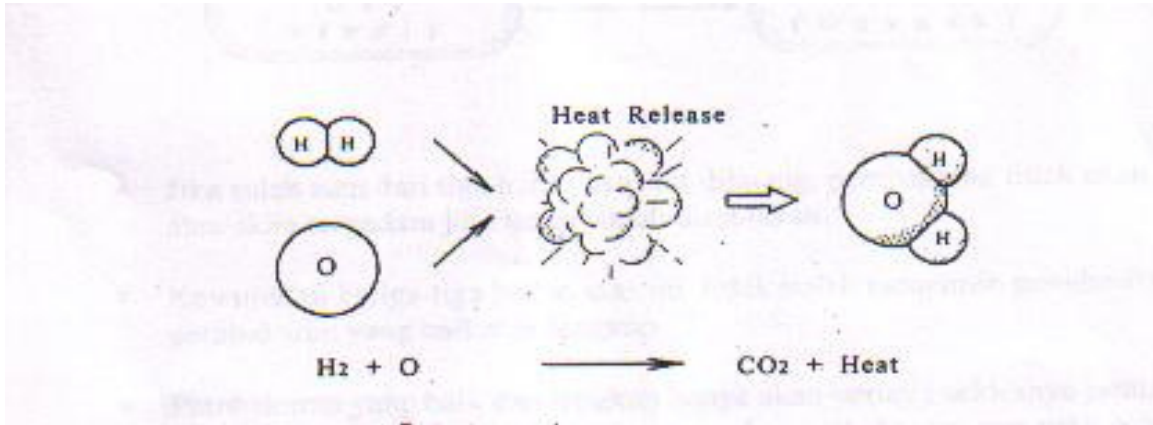
Bahanapi + oksigen → Haba/cahaya + hasil pembakaran

- Bahanapi - gas asli, minyak, arangbatu, diesel
- Oksigen - dari udara
- Hasil pembakaran - carbon dioksida, carbon monoksida
- Contoh nya molekul wap air (H₂O) dan karbon dioksida (CO₂) serta hasil sampingan (byproduct) bergantung kepada proses pembakaran tersebut.

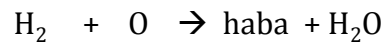


Karbon + oksigen → haba + karbon dioksida





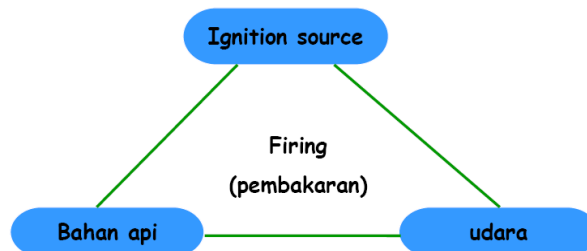
Hidrogen + Oksigen → haba + air



- Hasil sampingan pembakaran adalah karbon monoksida (CO), Aldehydes (H) dan bahanapi yang tak terbakar. Ini disebabkan oleh pembakaran yang tidak lengkap
- Juga terdapat Nitrogen Oksida (NO_x) dan Sulfur Oksida (SO_x)

Keperluan Asas Pembakaran

- Pembakaran hidrokarbon bergantung kepada 3 keperluan asas iaitu bahan api, oksigen (udara) dan tenaga haba (ignition).



- Jika salah satu dari tiga bahan asas ini dibuang, pembakaran tidak akan berlaku atau akan terpadam jika ianya sudah dimulakan
- Kewujudan ketiga-tiga bahan asas ini tidak boleh menjamin penghasilan pembakaran yang baik dan lengkap
- Pembakaran yang baik dan lengkap hanya akan berlaku sekiranya jumlah oksigen (udara) yang betul dicampurkan dengan bahanapi dan suhu nya dinaikkan kepada suhu minimum mula nyalaan dan keadaan ini mestilah ditetapkan sepanjang proses pembakaran.

4.0 KATEGORI PROSES PEMBAKARAN

- Terdapat 3 jenis proses pembakaran yang ditentukan oleh bekalan udara (oksigen)
 - Pembakaran unggul (stoikiometrik)
 - Pembakaran lengkap (bahan api lemah)
 - Pembakaran tak lengkap (bahan api kaya)

Pembakaran unggul (Perfect)

- Juga dikenali sebagai pembakaran 'stoikhiometrik'
- Pembakaran bahanapi yang lengkap dan jumlah bekalan udara adalah tepat (kiraan kimia) dengan keperluan untuk proses pembakaran tersebut.
- Semua oksigen yang dibekalkan habis digunakan untuk bertindak balas dengan semua bahanapi – tiada oksigen yang berlebihan dalam hasil pembakaran dan tiada bahanapi yang berlebihan.
- Hasil pembakaran adalah:

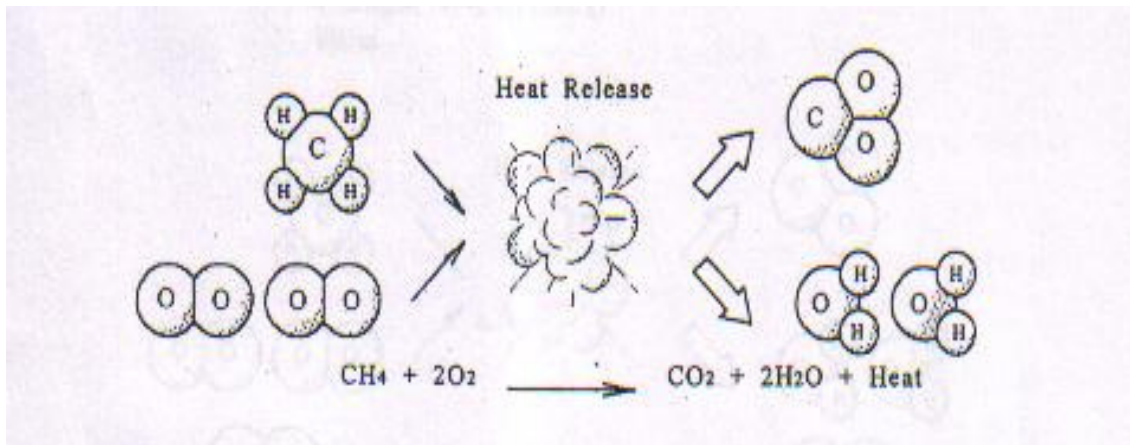
Karbon dioksida CO_2

Air H_2O

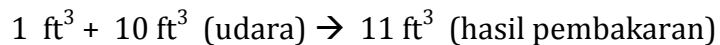
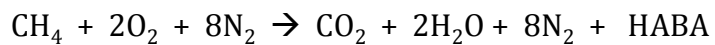
Nitrogen N_2 (dari udara)

Haba

- tidak menghasilkan 'byproduct'



Persamaan (gas asli):



- Dimana 1 mol metana yang dicampurkan dengan 2 mol oksigen dalam pembakaran unggul menghasilkan 1 mol karbon dioksida dan 2 mol air
- Manakala 8 mol nitrogen (dari udara) tidak bertindak balas dan hasilnya tetap 8 mol nitrogen
- Pembakaran unggul tidak dapat dilakukan dalam 'normal practice', sebaliknya pembakaran lengkap adalah pilihan hampir semua proses pembakaran

Pembakaran Lengkap, bahan api lemah

- Juga dikenali sebagai 'fuel lean' atau 'positive excess air'
- Untuk memastikan pembakaran yang lengkap terhasil, bekalan oksigen mesti dibekalkan secara berlebihan.

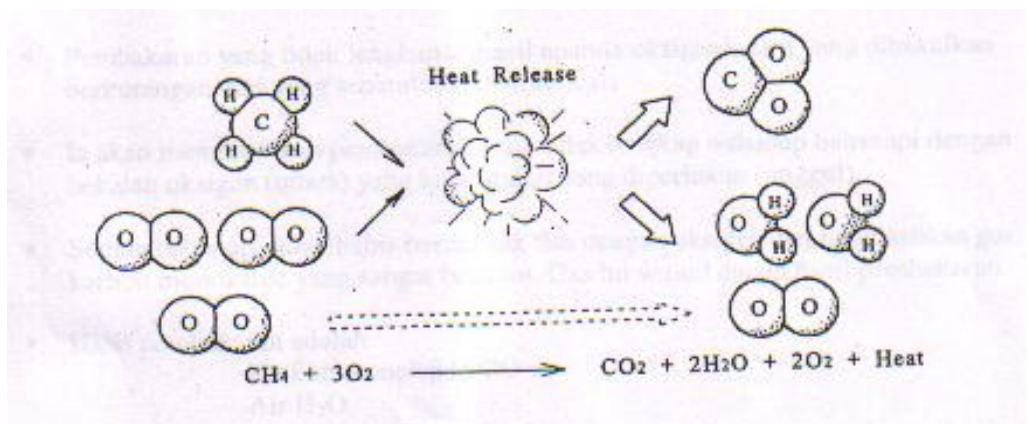
- Ia akan menghasilkan pembakaran yang lengkap terhadap bahanapi dengan bekal oksigen (udara) yang berlebihan dari yang diperlukan (unggul).
- Semua bahanapi akan habis bertindak balas dengan oksigen tetapi terdapat oksigen yang tidak bertindak balas dengan bahanapi kerana berlebihan. Ia akan wujud dalam hasil pembakaran
- Hasil pembakaran adalah:

Karbon dioksida CO₂

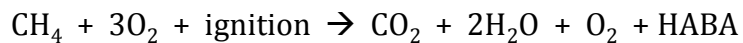
Air H₂O (dari udara)

Nitrogen N₂ (dari udara)

Haba



Persamaan (gas asli)



- Di mana 1 mol metana yang dicampurkan dengan 3 mol oksigen dalam pembakaran menghasilkan 1 mol karbon dioksida, 2 mol air dan 1 mol oksigen yang tidak bertindak balas. Oksigen ini dipanggil sebagai oksigen berlebihan (excess O₂)
- Lebih tinggi peratusan lebih oksigen atau udara dalam hasil pembakaran, akan menurunkan kecekapan pembakaran kerana lebih oksigen ini akan

menyerap haba yang terhasil dari tindakbalas pembakaran yang sepatutnya digunakan untuk pemanasan atau pengeringan

- Peratusan lebih udara boleh dikira berdasarkan peratusan CO₂ atau dengan peratusan O₂

$$\% \text{ lebih udara} = \frac{[(\% \text{CO}_2 \text{ unggul} - \% \text{CO}_2 \text{ sebenar}) \times 90]}{\% \text{CO}_2 \text{ sebenar}}$$

Dimana, % CO₂ unggul ialah 12%
90 ialah pemalar untuk kebanyakan bahan api gas

atau

$$\% \text{ lebih udara} = \left[\frac{\% \text{O}_2}{(21\% - \% \text{O}_2)} \right] \times 100\%$$

Dimana, % O₂ dalam hasil pembakaran
21% oksigen dalam udara

Pembakaran lengkap

- Pembakaran lengkap sangat penting dari aspek ekonomi bahan api dan keselamatan kerana ia boleh mengelakkan kejadian letupan dan penghasilan gas-gas beracun dari pembakaran tak lengkap.

Pembakaran tak Lengkap, bahan api kaya

- Juga dikenali sebagai 'fuel rich' atau 'negative excess air'
- Pembakaran yang tidak lengkap terhasil apabila oksigen/udara yang dibekalkan berkurangan dari yang sepatutnya. (theoretical)
- Ia akan menghasilkan pembakaran yang tidak lengkap terhadap bahan api dengan bekalan oksigen (udara) yang kurang dari yang diperlukan (unggul).

- Semua bahan api tidak habis bertindakbalas dengan oksigen dan menghasilkan gas karbon monoksida yang sangat beracun. Gas ini wujud dalam hasil pembakaran.

- Hasil pembakaran adalah:

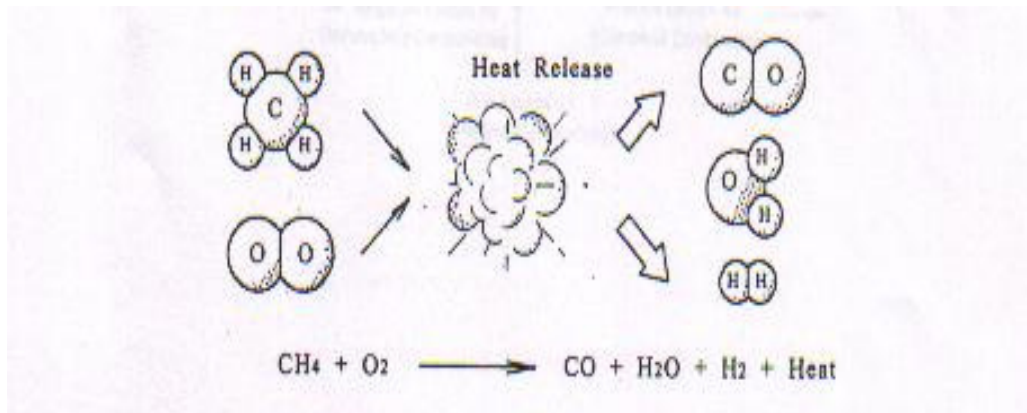
Karbon monoksida, CO

Air H₂O (dari udara)

Nitrogen N₂ (dari udara)

Lain-lain hasil

Haba

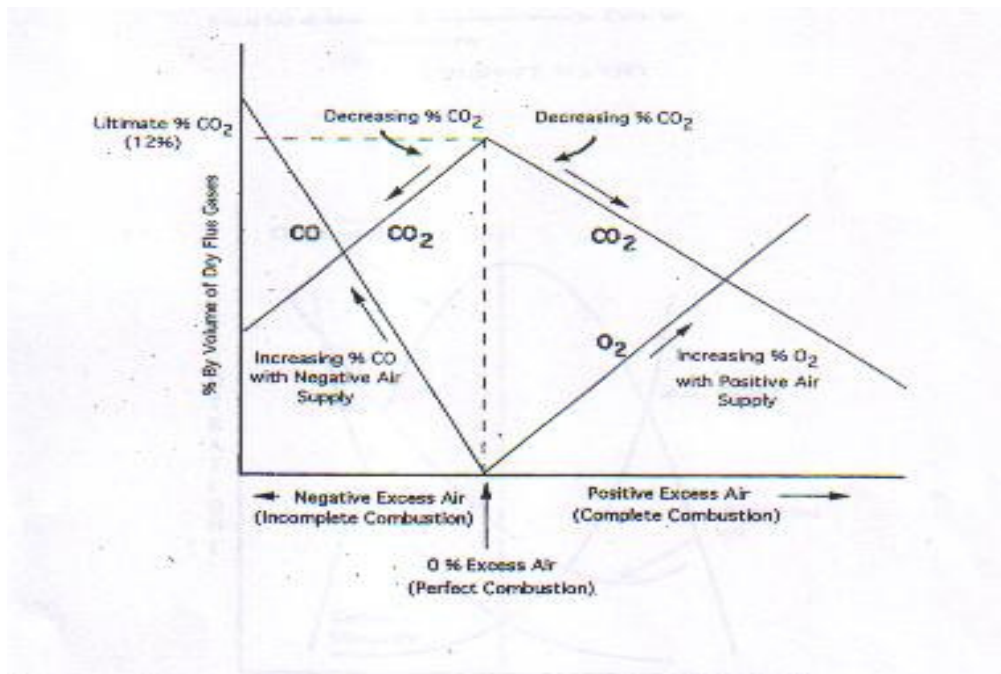


Persamaan (gas asli)

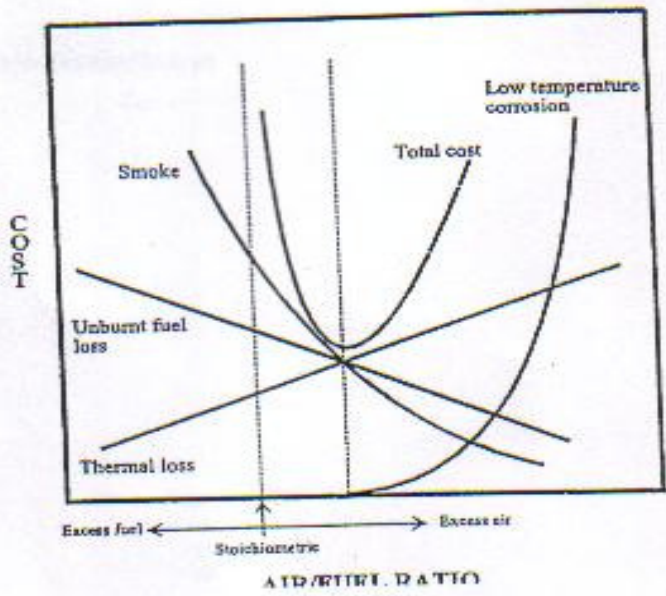


- Di mana 1 mol metana yang dicampurkan dengan 1 mol oksigen dalam pembakaran menghasilkan 1 mol karbon monoksida, 1 mol air dan 1 mol hidrogen.
- Lebih tinggi peratusan kekurangan oksigen oksigen atau udara dalam campuran bahan api akan menghasilkan lebih banyak gas karbon monoksida.

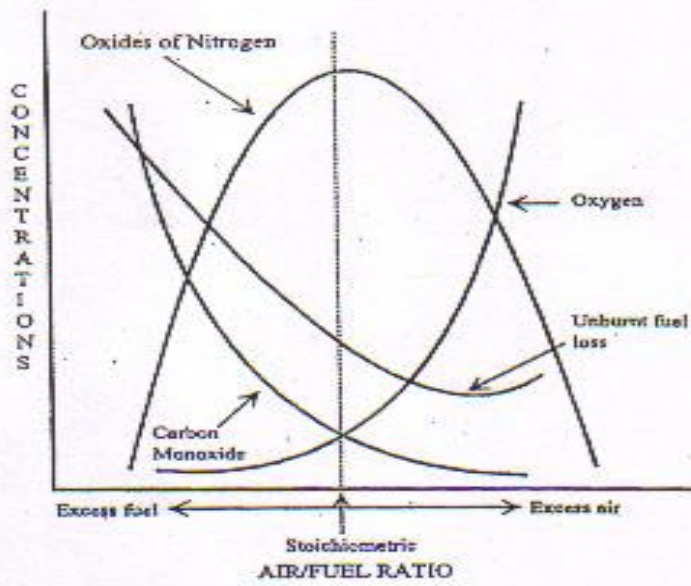
- Dua faktor penting untuk mengelakkan terhasilnya pembakaran tak lengkap adalah faktor ekonomi dan keselamatan.
 - Untuk faktor ekonomi, bahanapi yang tidak terbakar akan terbang dan merugikan serta ia akan menurunkan kecekapan pembakaran kerana ia akan menyerap haba yang terhasil dari tindakbalas pembakaran yang sepatutnya digunakan untuk pemanasan atau pengeringan.
 - Untuk faktor keselamatan pula, CO merupakan gas yang sangat berbahaya iaitu beracun.



Rajah 1 - Graf Peratusan CO_2 berbanding Peratusan Udara Lebihan



Rajah 2 - Graf Kos berbanding Nisbah Udara/Bahan Api



Rajah 3 - Graf Kepekatan berbanding Nisbah Udara/Bahan Api

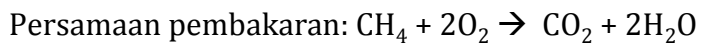
PENGIRAAN PROSES PEMBAKARAN

Udara teori (theoretical air) adalah jumlah udara yang tepat digunakan mengikut kiraan kimia untuk pembakaran yang lengkap.



Theoretical oxygen (oksigen teori) adalah 2 Nm^3 per 1 Nm^3 metana

Kerana kadaran oksigen didalam air adalah lebih kurang 21% secara kiraan isipadu, udara teori yang diperlukan boleh dikira seperti berikut;



Udara teori yang diperlukan untuk 1 Nm^3 metana adalah

$$2 \text{ Nm}^3 \times 100/21 = 9.52 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

NISBAH UDARA/GAS

$$\text{Nisbah udara/gas} = A_a / A_t$$

dimana

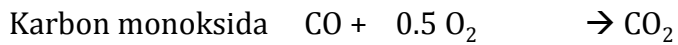
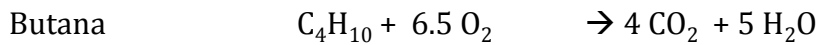
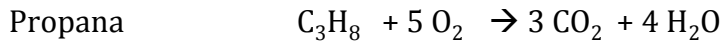
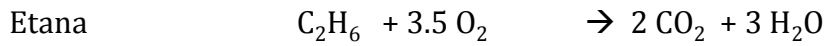
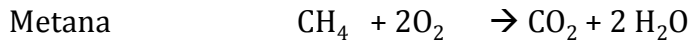
A_a ialah isipadu udara sebenar semasa pembakaran

A_t ialah udara teori yg diperlukan oleh bahan api

Kadang kala nisbah udara yang berlebihan juga akan digunakan. Nisbah udara berlebihan dapat dikira dengan menggunakan formula dibawah;

$$\begin{aligned} \text{Nisbah udara berlebihan} &= (\text{nisbah udara/gas}) - 1 \\ &= A_a / A_t - 1 \end{aligned}$$

Contoh persamaan pembakaran



Pengiraan teori oksigen dan udara teori yang diperlukan bagi gas asli sebelum '95;

Nilai kalori	Unit	Gas asli Sebelum '95	Gas asli Selepas '95	LPG
Gross	Kcal/m ³	9582	9253	28059
	Btu/m ³	38024	36718	111345
	Kcal/kg	11992	12487	11889
Net	Kcal/m ³	8644	8333	25844

Oksigen teori yg diperlukan adalah 2.115 m³/m³.

Udara teori yang diperlukan boleh dikira menggunakan 21% oksigen yang terkandung di dalam atmosfera seperti berikut:

$$2.115 \text{ m}^3 \times 100/21 = 10.07 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Udara dan oksigen teori yg diperlukan untuk gas petroleum cecair juga boleh dikira seperti berikut:

Nilai kalori	Unit	Gas asli Sebelum '95	Gas asli Selepas '95	LPG
Gross	Kcal/m ³	9582	9253	28059
	Btu/m ³	38024	36718	111345
	Kcal/kg	11992	12487	11889
Net	Kcal/m ³	8644	8333	25844

Oksigen teori adalah $5.8221 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Udara teori yg diperlukan ialah $100/21 \times 5.8221 = 27.72 \text{ m}^3/\text{m}^3$